

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ**

А.Г. Бетехтин

МИНЕРАЛОГИЯ КУРСЫ

Оқулық

**Қазақша аударған
Әділхан Бекділдаұлы БАЙБАТША**

Алматы, 2012

ӘОЖ 549 (075.8)
КБЖ 26.31 я 73
Б 49

Пікір жазғандар:

геология-минералогия ғылымдарының докторы **Х.А. Беспәев**;
геология-минералогия ғылымдарының докторы **Н. Сеитов**;
геология-минералогия ғылымдарының докторы **А.Т. Бекботаев**.

Қазақшаға аударған:

геология-минералогия ғылымдарының докторы **Ә.Б. Байбатша**

Бетехтин А.Г.

Б 49 **Минералогия курсы:** оқулық/Ауд. Ә.Б. Байбатша. – Алматы: ҚазҰТУ, 2012. - 672 б.

Үш рет басылып шыққан және көптеген шетел тілдеріне аударылған бұл оқулық минералогия бойынша ең қажет құрал болған және болып қала береді де. Бұл басылым минимал өзгертулермен және толықтырулармен баспаға даярланған. Толықтырулар минералогияның және шекаралас ғылымдардың дамуынан туындаған деректердің жаңаруына байланысты. Минералдар туралы жалпы сипатты мәліметтер нақтыланған, Минералдардың кристалдық құрылымына және химизмінің ерекшеліктеріне, олардың морфологиясына және зерттеу әдістеріне арналған тараулар кеңейтілген. Бірқатар минералдардың кристалхимиялық формулаларына түзетулер енгізілген, симметриясының нүктелік және кеңістіктік топтарының халықаралық символдары келтірілген. Барлық тараулары бойынша ұсынылатын әдебиеттер тізімі жаңартылған және толықтырылған.

Геология мамандықтарында оқитын студенттер үшін және минералогияға қызығатындардың барлығына.

ӘОЖ 549 (075.8)
КБЖ 26.31 я 73

ISBN 978-601-217-353-6

© Издательство КДУ, 2012
© Оқулықтың қазақша аудармасы
Қазақстан Республикасы Жоғары
оқу орындарының қауымдастығы,
2012

МАЗМҰНЫ

АЛҒЫ СӨЗ

Жалпы бөлік

КІРІСПЕ

Минералогия және минерал туралы түсінік.....

Минералогияның даму тарихындағы ең маңызды сәттер.....

Минералдардың және минералогиялық зерттеулердің өнеркәсіптегі мәні.....

1-ТАРАУ. ЖЕР ҚЫРТЫСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚҰРАМЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ...

2-ТАРАУ. МИНЕРАЛДАРДЫҢ КОНСТИТУЦИЯСЫ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІ.....

2.1. Жалпы мағлұмат

2.2. Минералдардың химиялық құрамы және формуласы.....

2.3. Минералдардың физикалық қасиеттері.....

Минералдар кристалының морфологиялық ерекшеліктері.....

Мөлдірлігі.....

Минералдардың түсі.....

Сызық түсі.....

Жылтырлығы және сыну көрсеткіші.....

Жіктілігі және омырылымы.....

Қаттылығы.....

Морттығы, майырылғыштығы, серпімділігі.....

Меншікті салмағы.....

Магниттілігі.....

Радиобелсенділігі.....

Минералдардың басқа қасиеттері.....

3-ТАРАУ. ТҮБЕГЕЙЛІ МИНЕРАЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ ТУРАЛЫ.....

4-ТАРАУ. ТАБИҒАТТА МИНЕРАЛДАРДЫҢ ЖАРАЛУЫ.....

4.1. Жалпы жағдайлар.....

4.2. Минералжаралудың геологиялық процестері.....

Эндогендік минералжаралу процестері.....

Экзогендік минералжаралу процестері.....

Өңірлік метаморфизм және онымен байланысты минералжаралу процестері.....

Сипаттау бөлігі

МИНЕРАЛДАР ЖІКТЕЛІМІ ЖӘНЕ АТАЛЫМЫ.....

I БӨЛІМ. СОМТУМА ЭЛЕМЕНТТЕР ЖӘНЕ ИНТЕРМЕТАЛ ҚОСЫЛЫСТАРЫ.....

1. Алтын тобы.....
2. Темір-платина тобы.....
3. Осмий-рутений (осмийлі иридий) тобы.....
4. Шаламеталдар тобы.....
5. Күкірт тобы.....
6. Көміртек тобы.....

II БӨЛІМ. СУЛЬФИДТЕР, СУЛЬФОТҰЗДАР ЖӘНЕ СОЛАРҒА ҰҚСАС ҚОСЫЛЫСТАР.....

- 1-КЛАСС. Күкіртті және соларға ұқсас қарапайым қосылыстар.....
 1. Халькозин тобы.....
 2. Галенит тобы.....
 3. Сфалефит тобы.....
 4. Пирротин әулеті.....
 5. Халькопирит тобы.....
 6. Ковеллин тобы.....
 7. Аурипигмент тобы.....
 8. Антимонит тобы.....
 9. Молибденит тобы.....
 10. Пирит тобы.....
 11. Скуттерудит тобы.....
- 2-КЛАСС. Сульфотұздар.....
 1. Тетраэдрит (солғын кендер) тобы.....
 2. Энаргит тобы.....
 3. Бурнонит тобы.....
 4. Прустит тобы.....
 5. Қорғасын сульфотұздары.....

III БӨЛІМ. ГАЛОИД ҚОСЫЛЫСТАРЫ (ГАЛОГЕНИДТЕР ЖӘНЕ ГАЛОГЕНТҰЗДАР).....

- 1-КЛАСС. Фторидтер.....
- 2-КЛАСС. Хлоридтер, бромидтер және иодидтер.....
 1. Галит тобы.....
 2. Хлораргирит тобы.....

IV БӨЛІМ. ОКИСЕЛДЕР (ОКСИДТЕР).....

- 1-КЛАСС. Қарапайым және күрделі окиселдер.....

1. Мұз тобы.....
2. Куприт тобы.....
3. Цинкит әулеті.....
4. Корунд-ильменит әулеті
5. Браунит тобы.....
6. Шпинелидтер әулеті
7. Рутил тобы.....
8. Колумбит-танталит тобы
9. Перовскит тобы
10. Пироклор тобы
11. Уранинит тобы
12. Кремнийтотық әулеті
- 2-КЛАСС. Гидроокиселдер немесе гидроксил ұстамды окиселдер.....
 1. Брусит тобы.....
 2. Гиббсит тобы.....
 3. Лепидокрокита-гётит тобы.....
 4. Псиломелан тобы

V БӨЛІМ. ОТТЕК ТҰЗДАРЫ (ОКСИТҰЗДАР)

- 1-КЛАСС. Нитраттар
- 2-КЛАСС. Карбонаттар
- Сусыз карбонаттар
1. Кальцит әулеті.....
2. Малахит тобы
- Сулы карбонаттар.....
- 3-КЛАСС. Сульфаттар
1. Барит тобы.....
2. Ангидрит және гипс.....
3. Сілті металдар сульфаты
4. Екі валентті металдардың сулы сульфаттары.....
5. Алунит тобы.....
6. Ашугастар тобы.....
- 4-КЛАСС. Хроматтар.....
- 5-КЛАСС. Молибдаттар және вольфраматтар.....
 1. Вольфрамит тобы.....
 2. Шеелит тобы
 3. Сулы молибдаттар және вольфраматтар.....
- 6-КЛАСС. Фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар.....
 - Сусыз фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар.....
 1. Монацит тобы
 2. Апатит тобы
 3. Амблигонит-триплит тобы
 - Сулы фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар.....
 1. Вивианит тобы.....

2. Скородит тобы.....
 3. Уранды слюдалар тобы.....
 4. Бирюза тобы.....
- 7-КЛАСС. Бораттар.....
- Сусыз бораттар.....
 - Сулы бораттар.....
- 8-КЛАСС. Силикаттар және алюмосиликаттар.....
- А класшасы. Кристалл құрылымдарында оқшауланған SiO_4 тетраэдрлері бар силикаттар.....
1. Циркон тобы.....
 2. Оливин тобы.....
 3. Виллемит тобы.....
 4. Топаз тобы.....
 5. Кианит тобы.....
 6. Ставролит тобы.....
 7. Анартас тобы.....
 8. Титанит тобы.....
- Ә класшасы. Кристалл құрылымдарында оқшауланған SiO_4 тетраэдрлер тобы бар силикаттар.....
- а. Оқшауланған Si_2O_7 топтары бар силикаттар.....
 - ә. Сақина анион радикалды силикаттар.....
- Б класшасы. Кристалл құрылымдарында SiO_4 тетраэдрлерінің үзіліссіз тізбектері немесе таспалары бар силикаттар.....
1. Жекелеген анион тізбекті силикаттар.....
 2. Қосарланған анион тізбекті силикаттар.....
 3. Жоғарыпериодты жекелеген тізбекті силикаттар.....
 4. Кремнийоттек тетраэдрлері тарамдалған тізбекті силикаттар...
- В класшасы. Кристалл құрылымдары SiO_4 тетраэдрлерінен тұратын үзіліссіз қабатты силикаттар.....
1. Тальк-пирофиллит тобы.....
 2. Слюдалар тобы.....
 3. Морт слюдалар тобы.....
 4. Хлориттер тобы.....
 5. Серпентин-каолинит тобы.....
 6. Аллофан тобы.....
 7. Гидрослюдалар және соларға ұқсас минералдар.....
 8. Пренит тобы.....
- Г класшасы. Кристалл құрылымдары $(\text{Si},\text{Al})\text{O}_4$ тетраэдрлерінен тұратын үзіліссіз үшөлшемді қаңқалы силикаттар.....
1. Далашпаттар тобы.....
 2. Скаполит тобы.....
 3. Лейцит тобы.....
 4. Нефелин тобы.....
 5. Содалит тобы.....
 6. Канкринит тобы.....

- 7. Гельвин тобы
- 8. Цеолиттер тобы.....

Қорытынды бөлігі

1-ТАРАУ. ЖЕР ҚЫРТЫСЫНЫҢ МИНЕРАЛДЫҚ ҚҰРАМЫ....

**2-ТАРАУ. ТАУЖЫНЫСТАРДАҒЫ ЖӘНЕ РУДА
КЕНОРЫНДАРЫНДАҒЫ МИНЕРАЛДАР БІРЛЕСТІГІ.....**

МИНЕРАЛОГИЯ БОЙЫНША ӘДЕБИЕТТЕР

- 1. Оқулықтар және оқу құралдары.....
- 2. Әдістемелік әдебиеттер
- 3. Анықтамалықтар.....
- 4. Жалпы, құрылымдық және генетикалық минералогия мәселелері бойынша жинақтар мен монографиялар.....
- 5. Минералдардың жекелеген кластарының және топтарының минералогиясы бойынша жинақтар мен монографиялар
- 6. Аймақтық минералогия бойынша топтамалар және монографиялар..
- 7. Мерзімдік басылымдар.....

**ЕҢ БАСТЫ МЕТАЛДАР (ЭЛЕМЕНТТЕР) БОЙЫНША
ЕҢ МАҢЫЗДЫ МИНЕРАЛДАР ТІЗІМІ**

ПӘНДІК КӨРСЕТКІШ

АЛҒЫ СӨЗ

Академик Анатолий Георгиевич Бетехтиннің *Минералогия курсы* бірінші рет 1951 жылы жарық көріп, көп мәрте (1961 жылға дейін) қайта басып шығарылған және КСРО жоғары оқу орындарында минералогияны оқыту бойынша негізгі жетекшілер қатарына кірген. Ол бірқатар шет тілдеріне (неміс, қытай, румын, поляк және басқа) аударылған. Тек оқулық болып қана қоймай, ғылым және өндіріс қызметкерлері үшін пайдалы қазбалардың көптеген түрлері сипатталған жақсы анықтамалық та болды.

Осы қайта басылған оқулықта редакторлар автордың стилін және оқулықтың негізгі мазмұнын барынша сақтауға тырысқан. *Жалпы бөлімі* минералогия туралы қазіргі түсініктерге сәйкес айтарлықтай толықтырылған. *Кіріспесінде* минералогияның негізгі түсініктері нақтыланған және осы ғылымның тарихы бойынша бөлім кеңейтілген. *I тарауға* әр түрлі элементтер минералы түрлерінің санына, сондай-ақ Жердің ішкі құрылысына қатысты өзгерістер енгізілген. *II тарау* минералдар конституциясының изоморфизм, полиморфизм және политипия сияқты ерекшеліктері туралы мәліметтермен елеулі толықтырылған. Минералдар кристалы морфологиясының мәселелері толықтау қарастырылған. Минералогиялық зерттеулер әдістеріне арналған *III тарау* электрондық-зондылық талдау және спектроскопияның қилы түрлері туралы мәліметтермен толықтырылған.

Сипаттау бөлігінің кіріспе бөлімінде минералдар жіктелімі туралы түсінік беріліп, минерал түрлерін және минералдар аталымын ажыратудың қазіргі ережелері туралы мәліметтермен сүйемелденеді. Дербес авторлық жіктелім іс жүзінде өзгерістерге ұшырамаған. Минерал түрлерінің кеңейтілген жиынтығын қамтитын кейбір бөлінген топтар әулет ретінде қарастырылады. Астрофиллит, пренит, датолит сияқты бірқатар минералдар қазіргі кезде құрылымы туралы нақтыланған мәліметтердің болуына байланысты жіктелімде жаңа орын алды. Турмалин тобындағы минералдардың құрылымы қайта хатталған. Кейбір минералдардың сипаттамасында олардың кеңістіктік топтары және химиялық формулалары нақтыланған, изоморфтық қатарларының ақырғы мүшелерінің аты көрсетілген. Көптеген минералдар үшін олардың Россия аумағындағы кенорындарда орналасуы туралы мәліметтер толықтырылған. *Қорытынды бөлігіне* айтарлықтай толықтырулар енгізілген. Кітаптың барлық бөлімдеріндегі бұрынғы басылымдарда келтірілген суреттер жаңаларға алмастырылған.

Осы қайта шығарылған *Минералогия курсының* редакторлары кітап студенттерге, магистранттарға, докторанттарға, жоғары оқу орындарының оқытушыларына, өндіріс геологтарына ғана пайдасы болып қоймайды, сондай-ақ Анатолий Георгиевич Бетехтиннің естелігіне де лайық деп үміттенеді.

Б.И. Пирогов, Б.Б. Шкурский, Ә.Б. Байбатша

ЖАЛПЫ БӨЛІК

КІРІСПЕ

Минералогия және минерал туралы түсінік

Минералогия геологиялық ғылымдар қатарына жатады. Бұл ғылымның аты дәл мағынасында *минералдар туралы ілім* дегенді білдіреді. *Минерал* термині көне «минера» сөзінен (лат. *minera* – руда, пайдалы қазба) сөзінен шығады. Бұл оның кен өндірудің дамуымен байланысты пайда болғанын көрсетеді.

Түйсікпен минералдарды бір-бірінен химиялық құрамы және физикалық қасиеттері (түсі, жылтырлығы, қаттылығы, т.б.) бойынша ажыратылатын таужыныстар мен рудалардың құрамдас бөліктері ретінде анықтауға болады. Мысалы, биотитті гранит болса, ол таужыныс ретінде құрамы әр түрлі басты үш минералдан: ашық түсті далашпаттан, сұр кварцтан және қара слюдадан (биотиттен) тұрады. Магнетитті теміртастың тұтас кені магнетиттің кристалл түйірлерінен тұратын мономинералды дерлік агрегаттан тұрады.

Минералогия тарихында *минерал* түсінігінің мазмұнын анықтау бойынша мәселе жиі даулы болған. Осыған байланысты, бұл ғылым нысандарының шеңбері көп дүркін өзгерген және оның шегаралары соңына дейін анықталған деуге келмейді.

Қазіргі кезде минералогияның көптеген нысандары мынадай: *минерал – кристалл күйде болатын немесе болған біркелкі табиғи қатты дене* деген анықтамаға сай келеді. Осылайша минералдың анықталған түсінігі *минерал индивидуіне (дарағына) – табиғи шектелген денеге сай келеді және минералогияның табиғатта кездесетін нақты жекелеген нысандарының барлық түрлерін қамтиды*. Минералдар қатарына әдетте битум типті жоғары молекулалы органикалық жаралымдар кірмейді, өйткені олар көпшілік жағдайда кристалдылық пен біркелкілік талаптарына сай келмейді. Дегенмен тұз сияқты органикалық қосылыстардың кейбіреулері минералдар қатарында қарастырылады. Олар, мысалы, минералогтар дәстүрлі зерделеп келген опал және аллофан сияқты жекелеген аморфты жаралымдар болып келеді.

Генетикалық көзқарастан минералдар табиғи *химиялық қосылыстар және қарапайым заттар* болып табылып, жер қыртысында және оның жапсарлас қабаттарында (организмдер тіршілігі өнімдерін қоса алғанда) орын алатын түрлі физикалық-химиялық процестердің табиғи өнімдеріне жатады. Минералдарға жоғарыда келтірілген біркелкілік пен кристалдылық талаптарына сай келетін ғарыштық нысандар да жатады.

Сан қилы синтетикалық өнімдер, яғни лабораторияларда және завод жағдайларында жасанды алынатын химиялық қосылыстар минералдар деп атала алмайды. Жасанды немесе синтетикалық деп өздерінің құрамы және

кристалдық құрылысы бойынша табиғиларға сай келетіндер ғана шартты түрде минералдар аталады.

Минералдардың табиғатта жаралу жағдайларына жүргізілген байқаулар және де эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, әр минерал физикалық-химиялық жағдайлардың (қысым, температура және жүйедегі химиялық компоненттердің концентрациясы) белгілі бір интервалында пайда болады. Мұнда жекелеген минералдар сыртқы ортаның әрекеті (мысалы, тотығу немесе тотықсыздану процестері кезінде, температураның немесе қысымның төмендеуі немесе жоғарылауы кезінде және т.б.) олардың орнықты күйінің шегінен асып кеткенге дейін ғана өзгеріссіз сақталады. Сондықтан геохимиялық процестер дамуының тарихи жолында көптеген минералдар өзгеріске, бүлінуге немесе жаңа жасалынатын жағдайларға төзімді басқа минералдармен алмасуға ұшырайды.

Минералдарды табиғи физикалық-химиялық жүйелердің бөлігі ретінде қарастыра отырып, оларды химиялық термодинамиканың түсініктеріне мейлінше сай *табиғи қатты фазалар (Дж. Гиббс түсінігінде)* ретінде анықтауға болады. Тек бір айта кететіні, кейбір минералдар табиғатта өздерінің орнықтылық өрісінен тыс жағдайда метатұрақты күйінде ұзақ уақыт сақтала алады (мысалы, алмас).

Қазіргі кезде белгілі минералдардың елеулі саны минералдық шикізат ретінде маңызды практикалық мәнге ие (әрине, олардың пайдалы қазбалар кенорны деп аталатын белгілі бір бөлікшелердегі шоғырлары, егер олар өндірістік мөлшерде және кенорынды игеру барысында кенішті қамтамасыз ету үшін қоры жеткілікті болған жағдайда). Бір минералдар (кендер) құрамында руданы металлургиялық өңдеу кезінде айырып алынатын қандай да бір өнеркәсіптік металдар (темір, марганец, мыс, қорғасын, мырыш, қалайы, вольфрам, молибден, т.б.) болады. Басқа минералдар (алмас, хризотил-асбест, кварц, далашпаттар, слюдалар, гипс, сода, мирабилит және басқа сияқтылар) өздерінің құнды физикалық және химиялық қасиеттеріне байланысты белгілі бір мақсатта шикізат күйінде қолданылады немесе өнеркәсіпте қажет синтетикалық қосылыстар, құрылыс материалдарын және басқалар алу үшін пайдаланылады.

Осылайша, минералогия табиғи химиялық қосылыстар (минералдар) туралы ғылым ретінде олардың құрамын, кристалдық құрылымын, қасиеттерін, жаралу жағдайларын және практикалық мәнін өзара байланыста зерделейді. Осыған сәйкес бұл ғылымның мәселелері де бір жағынан – онымен сыбайлас ғылымдармен (физика, химия, кристаллохимия, т.б.), ал екінші жағынан – іздеу-барлау ісінің практикалық талабымен тығыз байланысты болуы тиіс.

Қазіргі кезде минералогияның ең басты мәселелеріне жататындар:

1) минералдардың физикалық және химиялық қасиеттерін олардың химиялық құрамымен және кристалдық құрылысымен өзара байланыста оларды өнеркәсіптің түрлі салаларында практикалық пайдалану және минералдық шикізаттың жаңа түрлерін анықтау мақсатында жан-жақты зерделеу және тереңдете танымдау;

2) минералдар бірлестігінің және рудалар мен таужыныстардағы минералдар комплестері жаралуы реттілігінің заңдылықтарын, минералдардың пайда болу жағдайларын және минералжаралу процестерінің (генезисінің) тарихын айқындау, сондай-ақ осы заңдылықтарды әр түрлі пайдалы қазба кенорындарын іздеу мен барлау кезінде пайдалану мақсатында зерделеу.

Минералогиялық зерттеулер осы мәселелерді шешу кезінде дәл ғылымдардың (физика, химия, кристаллохимия, кристаллография, коллоидтық химия және физикалық химия) заңдарына таянады. Минералогияның деректері өз кезегінде геохимия, петрография, пайдалы қазба кенорындары туралы ілім сияқты ғылымдарда, сондай-ақ іздеу-барлау ісінде және бірқатар техникалық ғылымдарда (металлургия, рудаларды байыту және т.б.) пайдаланылады.

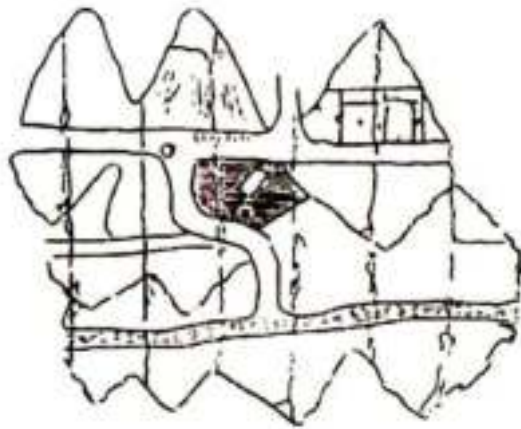
Минералдардың табиғаты туралы түсініктер, яғни минералогияның мазмұны тарихи қалыптасқан және геология мен жалпы жаратылыстану салаларындағы білімнің дамуы барысында өзгеріп отырған. Минералогияның ғылым ретінде дамуына ықпал еткен жаратылыстану тарихындағы басты оқиғаларды қарастырайық.

Минералогияның даму тарихындағы ең маңызды кездер

Минералогияның туындау кезеңі. Минералдарға пайдалы қазба ретінде қызығушылық өте көне заманда, тарихи (жазба) кезең басталғаннан әлдеқайда бұрын-ақ туындаған. Минералогиялық білімнің кеңеюі материалдық мәдениет дамуы тарихымен тығыз байланысты. Мұнда аса маңызды рөлді кен өндіру атқарған, әсіресе қола және темір ғасырларында. Археологиялық деректерге жүгінсек, кен өндірісімен айналысқан ең көне мәдениетті халықтар қатарына далалықтар (қазақтар), қытайлар, вавилондықтар (бабылдықтар), мысырлықтар, гректер және басқалар кіреді.

Адамдар ең көне замандарда сомтума металдардан (мыс, алтын, күміс) басқа мыс, қалайы және темір қосылыстарына бай рудаларды білген және таба алған. Адамдар осы рудаларды өндіруді, олардан металдар балқытып алуды және алғашында әшекейлер, содан соң өмір үшін ұдайы күресте өте қажет қару, ал ақыр соңында еңбек құралдарын жасауды біртіндеп үйренген. Сол кездерде металдармен қатар түрлі әсем тастарды білген және жинаған. Бұл тастар өзінің әсемдігімен тәнті етіп қоймай, түрлі нанымдар туындатқан.

Әрине, көне тұрғындар жекелеген пайдалы қазбалардың кейбір қасиеттерін практикалық жолмен білген. Олар сондай-ақ рудалардың таралуы мен жатысының эмпирикалық заңдылықтарын білген және жаңа кенорындарды іздеу мен игеру кезінде пайдаланған. Мысырда кен-өндіріс жұмыстары Рамзес II заманында-ақ белсенді жүргізілгенін куәландыратын тарихи мәліметтер бар (*1-сурет*). Көне кен үңгімелері көп жерлерде бүгінгі күндерге дейін жеткен. Әрине, рудалар мен минералдардың жаралуы туралы ғылыми түсініктер ол кезде әлі болған жоқ.



1-сурет. Тура папирусындағы Вади-Мийа (Мысыр) көне алтын кенішінің бейнесі

Бейорганикалық табиғи денелер және оларды жіктеуге әрекет туралы алғашқы әдеби ескертпелерді біз ежелгі грек ғалымы әрі философы *Аристотельден* (б.э.д. 384–322 жж.) табамыз. Ол минералдық жаралымдарды,

металдар сияқты, металлоидтар тобына жатқызған. Оның шәкірті *Теофраст* (б.э.д. 371–286 жж.) минералогия мәселелеріне «тастар туралы» арнайы трактат арнап, онда практикалық сипатта 16 минерал түрін, негізінен асылтастарды хаттаған. Кейінірек Рим натуралисті Үлкен Плиний (ол 79 жылы Везувий жанартауы атқылаған кезде мерт болған) төрт трактат жазып, оларда сол кезде минералдар туралы белгілі болғандардың барлығын жазған, тіпті қияли әңгімелерді де енгізген.

Ортағасырлық кезеңнің басында ғылыми жасампаздықтың айқын өрлеуі Шығыстың араб елдерінде орын алып, ежелгі Грекия мен ежелгі Индия мәдениетін жалғастырған. Қазір анықталғандай, мұнда араб ғылымын дамытуға сол кезде Бағдат халифатына қараған Орта Азия халықтарынан шыққан ғалымдар зор ықпал жасаған. Минералогия саласында XI ғасыр басындағы аса дарынды жаратылыстанушы, Хорезмнен шыққан ұлы ғалым, математик және астроном *Бируни* (972–1048) болған. Ол асыл тастар туралы еңбегінде өз заманы үшін минералдардың тамаша сипаттамасын берген және айрықша маңыздысы, минералогия тарихында алғаш рет минерал түрлерін анықтағанда салыстырмалы қаттылығы мен меншікті салмағы сияқты физикалық константаларды қолданған. Сол кездегі ғалымдардың ішіндегі ұлылардың біріне Бұхарадан шыққан *Авиценна – Ибн Сина* (980–1037) жатады. Ол өзінің «Тастар туралы трактатында» сол кездегі белгілі минералдардың жіктелімін жасап, оларды төрт класқа бөлген: 1) тастар мен жерлер; 2) жанғыш және күкіртті қазбалар; 3) тұздар; 4) металдар.

Ортағасырлық Еуропадағы жаратылыстану да антикалық авторлар ықпалында болған. Сол замандағы минералогиялық әдебиетті көрсететін жалғыз ғана *лапидарий* (лат. *lapis* – тас) деп аталған жерлерде негізінен тастардың сиқырлы қасиеттерінің фантастикалық сипаты келтірілген.

Осылайша, минералогия ғылым ретінде алғашқы уақыты бойынша үлкен даму кезеңінде нышалық күйде болып, ол ортағасырларда аяқталған.

Минералдар деп негізінен рудалар аталған. Олардың жіктелімі өте қарапайым болған. Химиялық элементтер түсініктері, тіпті химияның өзі де әлі болмаған. Мұнан шығатыны, минералдардың химиялық табиғаты туралы түсініктер әлі бола алмады. Химия тек орта ғасырлардың соңында алхимия түрінде ғана пайда болып, онымен айналысу XVIII ғ. дейін жалғасқан. Сол заманда минералдарды зерделеумен негізінен алхимиктер айналысқан. Солардың ішінде германдық Альберт Магнусты (шамамен 1193–1280) атап айту қажет, ол күшәланың және «Металдар туралы» және «Улар туралы» трактаттардың авторы.

Минералогияның ғылым ретінде дамуының бастапты кезеңі. Шамамен XV ғасырдың екінші жартысында, қайта өрлеу заманынан бастап, әсіресе XVIII–XIX ғасырларда сауда капиталының буырқана өрлеу жағдайында, жаратылыстану өзінің қуатты даму фазасына енеді. Бірқатар ғылымдардың, әсіресе математиканың, физиканың, биологияның, геологияның даму деңгейі күрт көтеріле бастады. Жаратылыстанушылар ғылыми фактілерді жинақтауды, табиғат құбылыстарының заңдылықтарын зерттеуді және ғылыми эксперименттерді жүргізуді саналы түрде қолға ала бастады.

XVI ғасырдың өзінде Еуропа әдебиетінде минералогия бойынша бірқатар маңызды еңбектер жарық көрді. Мәселен, италиялық *В. Бирингуччио* (1538 жылы қайтыс болған) және Чехияда яхимдік емші *Георгий Агрикола (Бауэр)* (1490–1555) бір-бірімен байланыссыз минералогиялық білімнің сол кездегі аса мазмұнды жинағын берді. Оған Саксония, Чехия (Рудалы таулар), Италия және Еуропаның басқа елдеріндегі руда кенорындарын игеру кезінде кен практикасында жиналған білім негіз болды.

Алхимиядан бас тартқан Агрикола руда кенорындарында әр түрлі минералдардың болу жағдайлары саласында көптеген дәл байқаулар жүргізді. Ол осы жұмыстарының нәтижесінде минералдардың жіктелімін жасады. Бұл жіктелім жалпы түрде жоғарыда айтылған Авиценнаның жіктелімінен біршама ғана айрықшаланғанымен, әлдеқайда терең даярланған. Агрикола минерал жаралымдарын жанғыш қазбалар, жерлер, тұздар, асыл тастар, металдар және минералдық қоспалар деп бөлген. Ең маңыздысы, ол минералдардың диагностикалық белгілерін (түсі, мөлдірлігі, жылтырлығы, дәмі, иісі, салмағы, қаттылығы және т.б.) толық сипаттаған. Бірақ онда минералдардың химиялық құрамы туралы деректер жоқ. Ол өзінің еңбектерінде руда кенорындарының генезисі мәселелерінде қамтиды. Агриколаның еңбектері бірқатар ұрпақтың минералогиялық зерттеулеріне үлкен ықпал жасады.

Батыс Еуропада минералогияның болашақ дамуының негізгі көп бөлігі табиғи минерал индивидтерінен тұратын кристалдарды зерттеген кезде XVII ғасырда салынды. Кристалдардың физикалық қасиеттерін зерттеуге елеулі үлес қосқан және олардың ішкі құрылысы кейде данышпандық сәуегейлер айтқан ғалымдар арасында *И. Кеплердің, Н. Стенонның, И. Ньютонның, Р. Гуктің және Х. Гюйгенстің* атын атауға болады.

Россияда кен өнеркәсібі дамуындағы және сонымен бірге пайдалы қазбалар саласындағы танымдардағы айқын прогресс феодалдық монархия кезеңінде, негізінен Иван IV (XVI ғасыр) уақытында байқалды. Осы кезеңде Москва Русінің қуаты артуына байланысты, әсіресе Оралдың арғы жағында – Сібірде татар үстемдігі жойылғаннан кейін минералдық шикізатқа қажеттілік айтарлықтай арта түсті. Бірақ кен ісі дамуындағы күрт үрдіс Петр заманында, яғни XVIII ғасырдың басында орын алды. Мұнда осыған дейін игерілмей белгісіз жатқан Оралдың минералдық байлығы зор рөл атқарады. 1700-ші жылдардың ең басында Петр I Оралға тулалық ұсталарды, солардың ішінде ағайынды Демидовтарды да жіберді. Солардың күш салуымен, жергілікті кен білгірлерінің көмегімен бірқатар жерлерде темір және мыс руда кенорындары ашылды. Олардың кейбіреулері қазірге дейін пайдаланылуда (2-сурет). Ортаңғы Оралда ондаған темір жасайтын заводтар (Каменский, Невьянский, Төменгі Тагил және т.б.) салынған. Осылайша Оралда кен-завод ісінің берік бастауы қаланды, ол кейін өнеркәсіпте жетекші орын алды.



2-сурет. Төменгі Татил мыс кенішінің карьері XIX ғасырда

Россияда минералогияның дамуының басы дарынды орыс ғалымы *М.В. Ломоносовтың* (1711–1765) есімімен байланысты. Бұл айрықша талантты және жан-жақты оқымысты тұлға, Архангельск губерниясының қарапайым шаруасының ұлы, академияда жұмыс жасаған ғалым-немістерден әлдеқайда озық тұрғанымен қоймай, Еуропаның үздік ойшылдарынан да алға түсіп кеткен. Ол өзінің «Корпускулдық философиясын» басшылыққа ала отырып кристалл зат құрылысының теориясы туралы пікір айтқан. Сонымен бірге газдардың кинетикалық теориясын, жылудың механикалық теориясын дамытып, осы жетістіктерімен өзінің замандастарынан 100 жылдай алға шығып кеткен. Ол талантты химик ретінде химиялық процестердің сандық талдауын қолданған, органикалық заттардың жануында ауаның рөлін анықтаған және Лавуазьеден көш ілгері бұрын заттың сақталу заңын айтқан.

М.В. Ломоносов минералогияның мәселелерімен тікелей өзінің ғылыми өмірінің екінші жартысында айналысқан. Ол 1742 жылдың өзінде

минералдарды зерделеуге және Ғылым академиясы минералогиялық мұражайының каталогын жасауға кіріскен. Қайтыс болар алдында мәні бойынша айрықша маңызды «Россия минералогиясының жалпы жүйесін» құрастыруды қолға алған. Ломоносов 1761 жылы сенатқа минералдарды «әр түрлі құмды, түрлі тастарды, түрлі сазды олардың түсіне қарай барша ел бойынша жинап, оларды зерделеу үшін Петербурге жіберу жобасын ұсынған. Ал 1763 жылы завод ұстаушыларға «Осы Россия минералогиясын құрастыру үшін олар өздеріндегі өнеркәсіптік металдардың түрлі рудаларын жіберуге тырыссын» деген жолдауын жасаған. өкінішке орай ғалымның кездейсоқ өлімі оған өзінің идеясын іске асыруға мүмкіндік берген жоқ.

Ломоносов отаны Россияның жалынды патриоты болғандықтан, өзінің жазған геологиялық еңбектерін («Слово о рождении металлов от трясения Земли», «О слоях земных» және т.б.) орыс тілінде баспадан шығарған. Осы еңбектерінде рудаларды іздеу бойынша көптеген практикалық нұсқаулар беріледі. Айта кететіні, Ломоносов кен өнеркәсібі кәсіпорындарымен тығыз байланысты болып, олардың дамуына үлкен ықпал жасаған.

Батыс Еуропада ол кезде басты рөлді Швеция атқарған. Мұнда кен өнеркәсібі және металлургия кең дамыған еді. XVIII ғасырдың ортасына қарай, мұнда швед минералогтарының тұтас тобы алға шықты. Олардың ішінде М.В. Ломоносовтың замандастары болған Линней мен Кронштедт деген ғалымдарды атауға болады. *К. Линней* (1707–1778) белгілі «Табиғат жүйесі» еңбегінің авторы, өзінің өсімдіктер мен жануарлар жүйелігіне ұсынғандай минералдарға да қосарланған аталым (тек және түр) қолдануға әрекет жасаған. *А. Кронштедт* (1702–1765) минералогия саласынан қазба организмдерді алып тастап, біршама келелі іс атқарды. Бұл ғалым дәнекерлеу түтікшесі әдісін әзірлеуге және минералдардың химиялық құрамын зерделеуге де үлкен назар аударған.

XVIII ғасыр соңында Еуропаның барлық басты елдерінде өнеркәсіптік капиталдың дамуымен, мәдениет пен ғылымның барлық салаларында жаңа қуатты өрлеу орын алады. Осы заманғы бірқатар өте ірі өнертапқыштық саласындағы жаңалықтардың арқасында, техника нағыз төңкерісті басынан өткереді. Химияның және физиканың жетістіктеріне байланысты минералогияның дамуында жаңа, жарқын білінген процесс байқалады.

Әр түрлі металл пайдалы қазбаларына бай Саксонияда кен өнеркәсібінің дамуына байланысты XVIII ғасыр ағымында минералогиялық зерттеулер де ұдайы жалғасқан. Минералогтардың Фрайберг мектебі ұйымдастырылып, оның басында *А.Г. Вернер* (1750–1817) және кейінірек *А.И. Брейтгаупт* (1781–1873) болды. Бұл мектеп бірқатар көршілес елдерде минералогияның дамуына өзінің ықпатын тигізді.

Вернердің өзі минералогияға принциптік жаңалықты өте аз жасаған. Оның сіңірген еңбегіне шәкірттерінің өздерінің алдындағы және замандастарының жетістіктерін пайдаланып жасағандарын ғана жатқызады. Олар минералдардың түбегейлі хатталуына, сыртқы белгілеріне, кристаллографиялық деректеріне көп көңіл бөлген. Кристаллографияның

негізін Вернердің замандастары – француз ғалымы *Роме де-Лиль* (1736–1790) және *Р.Ж. Гаюи* (1743–1822) қалаған.

Батыста минералогияның ары қарай ілгерілеуі ХІХ ғасырдың бірінші жартысында химияның ғылым ретінде толық ресімделуіне байланысты. Химияға қосқан маңызды үлеске минералдарды дұрыс жүйелеу мүмкіндігін қамтамасыз еткен швед ғалымы *И.Я. Берцелиус* (1779–1848) енгізген қышқылдар мен негіздер түсінігі жатады. Оның шәкірті *Э. Митчерлих* (1794–1863) минералогияның дамуы үшін орасан зор мәнге ие болған екі жаңалық ашқан: 1) ол 1819 жылы тәжірибелік жолмен аралас кристалдар алып, изоморфизм құбылысын анықтаған; 2) ал 1821 жылы полиморфизмді – құрамы бірдей, бірақ құрылымы бөлек заттардың болуын ашқан. Сол жылдардағы кристаллографтардың кристалдардың ішкі құрылысын түсіндіруге түсініктеме беруге күш салуы кристалл торы концепциясын әзірлеуге әкелді. Оны жасауға ағылшын *У. Волластан* (1766–1828), француздар *Г. Делафос* (1796–1878) және *О. Браве* (1811–1863) еңбек сіңірген.

Россияда бұл кезде минералогиялық білімнің дамуы өз бетінше жүрген және жақын арада биік деңгейге шырқағаны сондай, ол барша Батыс Еуропаның назарын өзіне аударған. Мұнда ХVІІІ ғасырдың екінші жартысында Ғылым Академиясының ұйымдастырылуымен байтақ елдің түпкір-түпкіріне, негізінен Орал мен Сібірге жасалған ғалымдардың орасан үлкен сапалары зор рөл атқарған. Бұл экспедициялар сол кезде қарқынды дами бастаған. Отандық өнеркәсіптің қажеттілігінен туындаған еді. Баспада Россия империясының географиясы, этнографиясы, фаунасы, флорасы және минералдық байлығы бойынша іргелі хаттаулар жарық көре бастады.

Петербургте 1773 жылы әлемдегі ең көне оқу орындарының бірі – Жоғары кен училищесі (Қазір Кен университеті) құрылған. Оның түлектерінің көбі минералогияның дамуына ірі үлес қосқан ерен ғалымдар, профессорлар және академиктер болды. Минералдық байлықтар ашудағы үлкен жетістіктермен екі ғылыми қоғамның – 1765 жылы еркін экономика қоғамының және 1817 жылы минералогия қоғамының құрылуы да байланысты. Осы екі қоғам Россияда минералогиялық білімнің таралуына үлкен ықпал жасады.

Минералдық кенорындарды ашуда жергілікті энтузиастар – қарапайым шаруалар мен кен іскерлері көп рөл атқарды. Олардың күш салуымен ХVІІІ ғасыр соңында және ХІХ ғасырдың бірінші жартысында асыл тастардың (турмалин, топаз, тау хрусталі, зүмрат, малахит, т.б.) көптеген кенорындары, Оралда алғаш рет ашылған алтын, платина кенорындары, темір, мыс, қорғасын, күміс және т.б. кенорындары ашылған. Осы ашылымдардың барлығы, әсіресе халықаралық көрмелерге жіберілген жаңа минералдар шет елдерде кең қолдауға ие болды және ірі үлес ретіне әлемдік ғылым тарихына кірді.

Осы кезде орыс минералогтары арасында В.М. Севергин және Д.И. Соколов сияқты тамаша ғалым-жаратылыстанушылар алға шықты.

В.М. Севергин (1765–1826) М.В. Ломоносовтың ізбасары және еңбектерін жалғастырушы ретінде минералогиядағы әр текті схоластикамен, әсіресе Вернердің неміс мектебінің жалғастырушыларына тән теріс көзқарастармен берілмес күрес жүргізді. Севергиннің ірі еңбегіне оның Ломоносовтың «Общая система Российской минералогии» жасау идеясын академиялық экспедициялар жинаған орасан зор материалды қорытындылай отырып іске асырғаны жатады. Севергин 1809 жылы «Опыт минералогического землеописания Государства Росийского» кітабының екі томын жарыққа шығарды. Ол жекелеген минералдар бойынша мәліметтерді «сол бойынша осыған дейін байтақ Россия Империясының алқаптарында ашылған байлықтарды бір қарап-ақ көруге болады деп айтарлықтай жүйелік ретке» келтіруге тырысты. Севергиннің көптеген еңбектерінің арасында айрықша назар аударатындары: «Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел» (1798), «Пробирное искусство или руководство к химическому испытанию металлических руд» (1801), «Подробный словарь минералогический» (1807), «Новая система минералов, основанная на наружных отличительных признаках» (1816). Бұл еңбектер елдегі минералогиялық мәліметтері көпшілікке насихаттау және тарату ісінде зор рөл атқарды. Осы ғалым енгізген көптеген терминдер минералогиялық және химиялық әдебиеттерде нық орын алды. Севергин аса оқымысты химик ретінде минералдарды зерделеген кезде олардың сыртқы физикалық қасиеттеріне ғана емес, сондай-ақ химиялық белгілеріне де назар аударған.

Д.И. Соколов (1788–1852) ғылым академиясының құрметті мүшесі, талантты профессор ретінде айрықша белгілі болған, 33 жыл бойы 1773 жылы негізі қаланған Петербург кен корпусында (қазір Кен университеті) минералогия және басқа геология курстарын оқытқан. Ол 1819 жылы ашылған Петербург университетінде геологияның алғашқы оқытушыларының бірі болған. Ол практикалық геологияның кен мекемелерінде жұмыс жасаған көптеген аса көрнекті өкілдерін және бірқатар университеттерде кафедраларды басқарған ғалымдардың тұтас тобын тәрбиелеген. Оның жазып шығарған «Руководство к минералогии» (1832) екі томдығы оқушылар үшін үлгілі құрал болған. Ол осы құралдың алғы сөзінде: «Мен алдымен өзімнің минералогиялық шығармаларымда орыс минералдар кенорындары туралы мүмкіндігінше толық әрі дұрыс мәліметтер болсын деп тырыстым, өйткені олар шетел минералогияларында әрдайым қысқа және қате беріледі», - деп жазған. Д.И. Соколовқа, сондай-ақ В.М. Севергинмен қатар минералогиялық білімді әрдайым тыңдаушылардың үлкен қауымын қамтыған көпшілік лекциялары арқылы насихаттаудың зор еңбегі тән.

Шамамен XIX ғасыр ортасында минералогия минералдар туралы ғылым ретінде толық қалыптаса бастады. Ағылшын геологы *Г. Сорбидің* 1858 жылы минералогиялық және петрографиялық зерттеулер практикасына үйектеуші (поляризациялық) микроскопты енгізуі үлкен мәнге ие болды. Бұл әдіс минералдарды диагностикалауға кристалоптикалық константаларды пайдалануға мүмкіндік берді. Осыған дейін минералдар деп саналып жүрген

бірақ таужыныстардың атауы микроскоптық зерттеулерден кейін минералогиялық аталымдардан алынып тасталды. Минералдар белгілі бір қасиеттерге ие кристалды индивидтер ретінде зерттеушілердің назарын көптеп аударып бастады. Вернер мектебінің ізбасарлары жасаған минералдар туралы бұрынғы көп сөзді пікірлердің орнына минералдардың дәл кристаллографиялық пішіндерінің, физикалық және химиялық ерекшеліктерінің толық химиялық талдамалық сипаттамасы пайда болды. Россияда бұл кезең машиналық техника енгізілуі және ірі өндіріс негізінде дами бастаған капитализм үшін тежеуіш болған шаруашылық қоғамның ыдырау кезеңіне сәйкес келді. Өнеркәсіптің күрт артқан талаптары ғылымның дамуына, соның ішінде минералогияға да қолайлы негіз жасады.

Академик *Н.И. Кокшаров* (1818–1892) осы кезеңде орыс минералогтарының жарқын өкілдерінің бірі болды. Оның есімі шет елде кең танылған орыс минералогиясының көркеюімен байланысты. Кокшаров кенорындар минералдарының дәл зерделенуі және жүйеленуі бойынша зор жұмыс атқарады. Оның негізінен Орал материалы бойынша кристалдарды сипаттаудың және өлшеудің дәлдігінен қазірге дейін ешкім аспаған көптеген мәліметтері минералогияның барлық оқулықтары мен анықтамалықтарына енген. Көп жылдық зерттеулер нәтижелері «Материалы для минералогии России» (1852-1892) атты көрнекті ең бір томдық еңбек болып жарық көрген. Ғалым өзінің барша еңбек жолында әрекеті сол кезде көркею сатысына жеткен минералогиялық қоғаммен өте тығыз байланысты болған. Н.И. Кокшаровтың ғылыми жетістіктері шет тілде оны он шетел академиясының мүшесі ретіне сайлануымен танылған.

Академик П.В. Еремеев (1830-1899) – Н.И. Кокшаровтың замандасы, сол заманғы минералдар зерттеушілерінің аса көрнекті өкілі. Ол ұзақ уақыт бойы Кен институтында минералогия пәнінің оқытушысы болған. Ол да Кокшаров сияқты Минералогиялық қоғамға түскен жаңалықтардың барлығын зерттеуге өте белсенді қатысқан. Ол өзінің минералдардың физиографиясын, әсіресе қосақтарды және псевдоморфозаларды зерттеген көптеген еңбектерімен отандық минералогияның дамуына ірі үлес қосқан.

Көптеген зерттеушілер (*акад. Т.Е. Ловиц* (1757–1804), *Н. Вокелен* (1763–1829), *Р.Ф. Герман* (1805–1879), *С. Теннант* (1761–1826), *Г. Розе* (1795–1864), *Г.И. Гесе* (1802–1850), т.б.) жүргізген минералдардың толық химиялық талдаулары жинақталған сайын ғалымдардың назарын минералдардың химиялық негіздегі жүйелену мәселесі аударып бастайды.

Бірақ минералдардың ұтымды жіктелемі дарынды орыс ғалымы *Д.И. Менделеев* (1834–1907) жасаған *химиялық элементтердің периодтық жүйесі* пайда болғаннан кейін ғана мүмкін болды. Периодтық заңның зор мәні оның жаратылыстану ғылымдары саласындағы көптеген қазіргі аса ұлы жетістіктерге негіз болып қалануымен атап көрсетіледі.

Минералогия дамуының қазіргі кезеңі. XIX ғасыр соңында және XX ғасыр басында капиталистік өндірістің (ең алдымен металл өнеркәсібінің) қуатты өсуі техниканың дамуына әкелді және минералдық шикізатты аса елеулі пайдалануды талап етті. Бұл, әрине, ғылымның дамуында, соның

ішінде кристаллографияның, минералогияның, сонымен қатар физиканың, химияның, физикалық химияның және т.б. да дамуында көрініс тапты.

Кристаллография саласындағы ең ірі жетістіктер дарынды орыс ғалымы акад. *Е.С. Федоровтың* (1853–1919) есімімен байланысты. Ол қатал математикалық талдау жолымен *кристалдар құрылысының теориясына* келіп, 1890 жылы әлемдік мәнге ие «Симметрия правильных систем фигур» атты классикалық еңбегін жариялаған. Бұл кітапта жалғыз ғана болуы мүмкін симметрияның 230 кеңістіктік тобы берілген. Осыдан бір жылдан кейін (1891) неміс математигі *А. Шенфлис* (1853–1928) дәл осы кеңістіктік топтардың қорытындысын жариялап, оған кейін *Е.С. Федоровтың* көрсетулеріне сәйкес қосымшалар енгізген. Осылайша бұл зерттеулердегі басымдық орыс ғалымына беріледі, мұны Шенфлистің өзі де мойындаған.

Е.С. Федоровтың келесі ең ірі жетістігі минералдарды микроскоптық зерделеу саласына қатысты. Ол жұқа шлифтердегі кристалл түйірлерін зерттеудің өзі арнайы құрастырған үстелше көмегімен әмбебап оптикалық әдісін жасаған, ал осы қондырғы «Федоров үстелшесі» деп аталып кеткен.

Минералогияның дамуына *Д.И. Менделеев* ашқан периодтылық заңы және химиялық элементтердің периодтық жүйесін жасау айрықша рөл атқарды.

Минералдар жер қыртысында орын алатын *химиялық реакциялардың өнімі* болып табылады деген пікір аса көрнекті орыс жаратылыстанушысы Москва университетінің профессоры академик *В.И. Вернадскийдің* (1863–1945) көптеген еңбектерінде өте айқын көрініс тапқан. Оның өзі орыс ғылымының *Д.И. Менделеев, Н.А. Меншуткин, В.В. Докучаев, А.П. Карпинский* сияқты майталмандарынан оқып білім алған және шын мәнінде отандық минералогияның нағыз реформаторы саналады. *Вернадский* минералогияны «жер қыртысының химиясы» деп қарастырып, минералогиялық зерттеулер саласында жаңа бағыт жасады. Ол әлем ғылымының ең жаңа жетістіктері негізінде минералдардың химиялық конституциясы мәселелеріне, минералдар парагенезисі мәселелеріне және минералдардың табиғатта жаралу жағдайларын тарихи жағынан зерделеуге көп назар аударған. *Вернадский* 1891 жылы тәжірибелік жолмен алюмосиликаттарда төрт валентті кремнийдің қышқыл функциясы рөлін атқаратын үш валентті алюминиймен алмаса алатын жағдайын дәлелдеген. 30 жыл өткеннен кейін осы жағдай (ереже) далашпаттарды рентгенметриялық зерттеулермен толық қуатталып қана қойған жоқ, ары қарай басқа алюмосиликаттардың құрылымын зерделеуге де көмектесті.

В.И. Вернадскийдің минералогиясы елінде минералогиялық білімнің дамуына жаңа леп әкеліп, бұл жағынан шет елдерден озып кеткен. 1908-1914 жылдар кезеңінде жан аямай жасаған зор еңбектің нәтижесі ретінде оның Россия минералогиясы бойынша сомтума элементтер класына арналған «Опыт описательной минералогии» атты классикалық монографиясының бірінші томы жарық көрді. Өкінішке орай бұл еңбек «История минералов в земной коре» еңбегі сияқты ғалымның көзі тірі кезінде аяқталмай қалды.

Вернадский өзінің зор эрудициясы және әдеби мұраны жетік білуі нәтижесінде бірқатар өте қызғылықты қорытындылаулар жасап, бұл еңбектері өзі өмірге әкелген білімнің жаңа саласына – *геохимияға* негіз болып қаланды. Жер қыртысындағы химиялық процестер бойынша қорытындылаудың алғашқы әрекеттерін ХІХ ғасыр ортасында *К.Бишоф* (1792–1870) және *Эле де Бомон* (1798–1874) жасаған болатын. Геохимияның дамуына В.И. Вернадскиймен қатар В.М. Гольдшмидт (1888–1947) және әсіресе кеңестік ғалым академик А.Е. Ферсман үлкен үлес қосты.

В. Рентген (1845–1923) 1895 жылы катод сәулелерді зерделеу барысында Х-сәулелерді (қазір рентген сәулесі деп аталады) ашып, минералдық затты зерттеудің жаңа әдістемесінің дамуына бастама жасады. Е.С. Федоровпен белсенді хат жазысып тұрған неміс кристалхимигі П. Гроттың (1843–1927) бастамасымен кристалдардың торлы құрылысы гипотезасын рентген сәулесін қолданып тексеру үшін эксперименттер дайындалды. Неміс физигі *М. Лауэ* (1879–1960) 1912 жылы ашқан кристалл арқылы өткен кездегі рентген сәулесінің дифракциясы құбылысын ашуы және осы бағытта орыс ғалымы *Г.В. Вульфтің* (1863-1925), ағылшын ғалымдары *У.Г. Брэгг* (1862–1942) пен *У.Л. Брэггің* (1890–1972) (әкесі мен баласы), америкалық *Л. Поллингің* (1901–1994) және басқалардың ары қарай жүргізген зерттеулері минералдардың ішкі кристалдық құрылысын олардың химиялық құрамымен және физикалық қасиеттерімен тығыз байланыстыруға мүмкіндік берді. Осы саладағы зерттеулер Ньютонның, Ломоносовтың және Бравенің кристалдық құрылысы туралы пікірлерін дәлелдеді және алғаш Е.С. Федоров (1890) жасаған атомдардың кристалдар ішінде орналасуының 230 заңының теориялық тұжырымымен қуаттайды. Федоровтың симметрия туралы ілімі кристалдарды заманауи рентгенқұрылымдық талдаудың негізін толығымен қалады. Осы жетістіктер нәтижесінде ғылыми білімнің жаңа саласы *кристаллохимия* – кристалдардағы атомдардың немесе иондардың кеңістіктегі орналасуы мен өзара әрекеттесуі заңы туралы және минералдардың кристалдық құрылысының олардың физикалық пен химиялық қасиеттерімен байланысының заңдылықтары туралы ғылым өмірге келді.

Физикалық химия саласындағы, атап айтқанда фазалар туралы (физикалық-химиялық мағынадағы) және физикалық-химиялық жүйелердегі тепе-теңдіктер туралы ілімдегі жетістіктер аса маңызды. Зерттеулердің осы саласында әлемдік ғылымға фазалар ережесін берген америкалық Дж. В. Гиббстің және В.М. Гольдшмидтің, сондай-ақ аса көрнекті орыс ғалымы академик *Н.С. Курнаковтың* (1860–1941) қосқан үлесі орасан. Курнаков қорытпалардың және басқа күрделі денелердің физикалық-химиялық талдауды зерделенетін минералдардың құрамы мен қасиеттері арасындағы қатынастарды геометриялық әдістерді қолданып бейнелеуді жасаған. Оның есімімен минералдарды термикалық талдау да байланысты.

Табиғи нысандарды зерделеумен қатар табиғатта кездесетін қосылыстарды синтездеу бойынша да эксперименттік зерттеулер де жүргізілді. Минералдарды жасанды жолмен алумен ХVІІІ ғасырдың өзінде

айналысқан, бірақ оларды синтездеу бойынша жүйелі тәжірибелер тек ХІХ ғасырдың ортасында ғана (*Г. Добре, Ф. Фуке және т.б.*) жүргізіле бастаған. Осы салада үлкен жетістікке орыс ғалымы *К.Д. Хрущев* жеткен. ХХ ғасырдың басында негізінен таужынысжасаушы минералдарды синтездеу бойынша зерттеулер АҚШ-та *Н. Боуэн, О. Тамтл* және басқа ғалымдардың күш салуымен іске аса бастады.

Осылайша ХІХ ғасырдың соңы мен ХХ ғасырдың басы негізінен кристаллография, физика және физикалық химия саласындағы бірқатар ірі жетістіктермен аталады.

Минералогияның ХХ ғасырдан ары қарай дамуы тек қана жаңа минералдар кристалдарының құрылысы мен қасиеттері туралы фактілік мәліметтерді жинақтаумен шектелген жоқ. Біртіндеп минералдардың құрамы мен нақты құрылымын олардың құрылысының әркелкілігін ескере отырып мүмкіндігінше дәл әрі орнында зерттеулер үшін әдістемелік негізі ұлғая бастады. Электрондық микроскопия мен электрондардың дифракциясын қолдану саз минералдардың және басқа қабатты силикаттардың табиғаты туралы мәліметтерді елеулі нақтылауға мүмкіндік берді. ХХ ғасырдың екінші жартысының басында француз ғалымы *Р. Кастен* рентгендік микрозонд анализаторын ойлап тапқаннан кейін, минералогиялық зерттеулер әдістемесінде кезекті сапалық секіріс даярланған болатын. Микрометрлік масштабты бөлшектердің химиялық құрамы туралы мәлімет беруге қабілетті микрозондылық талдауды қолдану, жаңа ашылатын минералдар санының күрт артуына әкеледі. Ал бұрын біркелкі саналып келген кейбір жаралымдар минерал түрлері қатарынан шығарылып (дискредиттеліп), қоспа ретінде қайта сипатталған. Бүгінгі минералогия зерттеулердің жоғары дәлдікті (прецизиондық) әдістер қолдана отырып минералдардың түрленуін зерттейді, олардың ұсақ құрылымы туралы деректерді пайдаланып термикалық тарихын қайта қалпына келтіреді. Соңғы жылдардағы зерттеулер кейде өздерінің нысандары ретінде минералдық заттың өте ұсақ бөлшектерімен айналысуда, осыған қарап өмірде геологиялық білімнің жаңа саласы *наноминералогияның* пайда болғанын айтуға болады.

Минералогияның Кеңестер Одағындағы дамуы. Отандық минералогияның дамуында барлық басқа ғылымдардың дамуындағы сияқты, күрт өзгеріс 1917 жылдан кейін келді. Одақтың сан қилы аудандарында кең өріс алған геологиялық зерттеулер мен іздеу-барлау жұмыстары біздің білімімізді, әсіресе аймақтық минералогия саласында қарыштап байытты. Біршама қысқа мерзімде Одақтың бұрын игерілген аудандарында ғана емес, бұрын зерттеулермен шамалы қамтылған немесе тіпті қамтылмаған жаңа байтақ алқаптарында да жүйелі зерттеулер бойынша зор жұмыстар атқарылды. Олардың кейбіреулері минералогиялық және басқа қатынастарда айрықша қызық болып шықты. Түбегейлі минералогиялық зерттеулерсіз халық шаруашылығының сан қилы салаларының қуатты дамуы үшін шикізат базасы болып табылатын пайдалы қазбалардың аса көп кенорындарын ашуды ойлаудың өзі мүмкін емес еді. Әр минералог өзінің білімін нақты практикалық жұмысқа тікелей қолданып іс жүргізді. Бұл іс өз кезегінде

табиғат құбылыстарын терең зерттеуге және осыған байланысты теориялық білімді кеңейтуге талап қойды. Мұнда алдыңғы кезеңде Н.И. Кокшаровтың, Е.С. Федоровтың, В.И. Вернадскийдің және басқалардың еңбектерінде көрініс тапқан ғылымның ең дұрыс прогрессивті дәстүрлері ары қарай дамуға мүмкіндік алды.

Бұрынғы, минералдарды көбінесе формалық сипаттаудың орнына минералдық заттарды мақсатты зерттеу келді. Минералогтарды тек табиғи минералдық денелердің және жақсы жаралған кристалдардың эстетикалық жағы ғана қызықтырудан қалды. Басты назарды минералдық заттар құрамы мен түрлі әсем қасиеттерінің ерекшеліктері, яғни қалай болғанда да ғылыми және практикалық мақсаттар үшін пайдаланылуы мүмкін қасиеттері аударып бастады. Минералдардың жаралу жағдайларына байланысты мәселелерде зерттеушілерді гипотезалық, көбінесе ешқандай дәлелсіз қабылдауға ұмтылудың орнына, заттардың табиғаттағы нақты жағдайы қызықтыратын болды. Минералдар парагенезисін физикалық химияның заңдарын қолданып талдаудың ғылыми әдістері әзірлене бастады. Бұл бағытта әлем таныған жетістіктерге академик *Д.С. Коржинский* (1899–1985) және оның шәкірттері жетті.

Минералдық байлықтарды ашу мен игеруде КСРО Ғылым Академиясы еліміздің бірқатар аудандарында жүргізген экспедициялық зерттеулері үлкен рөл атқарды. Бұл зерттеулер В.И. Вернадскийдің талантты шәкірті әрі ісін жалғастырушы аса көрнекті ғалым академик *А.Е. Ферсманның* (1883–1945) тікелей жетекшілігімен жүргізілді. Сарқылмас энергияға ие бұл ғалымның әрекеті айрықша көп қырлы еді, оның ең жемісті жұмысы кеңестік кезде көрінді. Ол Оралда, Орта Азияда, Сібірде және шет елдерде жүздеген сан қилы кенорындарды зерделеді, бірақ ең басты назарды Кола түбегінің зерттелмеген аудандарына аударды. Осы мекенді игеру Ферсманның есімімен тікелей байланысты. Оның көптеген еңбектерінен минералогия үшін «Пегматиты» деген монографиясы айрықша мәнге ие, бұл кітабында ауқымды көп жылдық зерттеулер нәтижелері қорытындыланған. Ферсман кейін геохимия мәселелеріне ауысып, оған көптеген және ең басты еңбектерін арнаған. Оның айрықша көп қырлы ісінің және бір жағына, атап айтқанда минералогия мен геохимияны негізінен оқушылар мен жастардың арасында кең таратумен айналысқанына тоқталмай кетуге болмайды. Ол өзінің «Занимательная минералогия» кітабында еліміздің көпшілік қауымы арасында табиғи байлықтарды зерделеуге қызығушылық туғызады. Бұл кітап көп дүркін қайта басылып шыққан.

А.К. Болдыревтің де (1883–1946) минералдық байлықтарды зерделеу мен кадрлар даярлауда еңбегі үлкен, ол академик Е.С. Федоровтың ең жақын шәкірті болған. Оның толық жазылған «Курс описательной минералогии» кітабы (үш рет шығарылған) және оның жетекшілігімен Ленинград кен институтының оқытушылар ұжымы жоғары оқу орындары үшін құрастырған минералогия курсының екі басылымы елімізде минералогиялық білімнің таралуына зор ықпал жасады.

Академик С.С. Смирнов (1845–1947) аса көрнекті минералог және руда кенорындарын шын беріле зерттеген ғалым ретінде кеңес геологтары арасында айрықша кең белгілі болған. Ол өзінің барша энергиясы мен білімін өзінің отанының минералдық-шикізат базасын жасауға арналған және жеке өнегесімен көптеген геологиялық барлау партиялары мен ғылыми-зерттеу институттарын рухтандырған. Оның минералогия саласындағы еңбектерінің ішінде көпшілікке аса белгілі болғаны «Зона окисления сульфидных месторождений» деген классикалық монографиясы. С.С. Смирнов өзінің практикалық еңбек жолының басында-ақ руда кенорындарының жер беті маңы белдеміндегі тотыққан рудалар минералогиясын дәл білудің барша маңыздылығын терең бағалаған. Геолог жұмысын бірінші кезекте іздеу және алдын ала барлау кезінде осы тотығу белдемінен бастайды ғой.

Пайдалы қазба кенорындарының минералогиясын зерделеу саласындағы ірі жетістіктер басқа да кеңес ғалымдарына қатысты. Біздің зерттеушілер көп жағдайда өз жолдарымен жүріп, өздерінің жұмыс нәтижелері бойынша шет елдік әріптестерінен көш ілгері тұрған.

Көмекші дәл ғылымдардың жетістіктеріне байланысты зерттеу әдістемелерін жетілдіру, минералдық нысандарды зерттеуді терең қолға алуға және қалай болғанда да практикалық мақсатта қолданылуы мүмкін минералдардың көбінесе бұрын белгісіз болып келген жаңа қасиеттерін анықтауға мүмкіндік туғызады. Осының бәрі сипаттамалық минералогияны минералогиялық зерттеулер тізбегіндегі қажет буын ретінде жаңа, жоғарырақ баспалдаққа көтерді. Есте сақтайтыны, табиғатта байқалатын жаңа фактілер мен құбылыстарды мұқият хаттау, оларды дәл ғылымдар негізінде талдау әрдайым ғылымға қосқан даусыз үлес болып табылады. Минералогиялық зерттеулерге өте қажет болатын тәжірибе деректері, сондай-ақ оларды жору тақырыбына қатысты. Мұнда И.Д. *Борнеман-Старынкевичтің* (1890–1988) есімін айтпауға болмайды. Ол, біржағынан шебер химик-аналитик, ал екінші жағынан минералогиялық зерттеулердің барша жүрісіне және нәтижелеріне қойылатын жоғары талаптың үлгісі ретінде еліміздегі барлық минералогтардың елінде болған және сақталады да.

Өкінішке орай Ұлы Отан соғысы аяқталғанға дейін КСРО-да минералдардың кристалдық құрылымын зерттеу іс жүзінде жүргізілген жоқ. Ол 1925 жылы ерте қайтыс болған, Россияда рентгенқұрылымдық зерттеулердің пионері саналған *Г.В. Вульфтің* артында шәкірттер қалмауына байланысты еді. Осыдай үлкен үзіліске қарамай, академик *Н.В. Беловтың* (1891–1982) басқаруымен рентгенқұрылымдық талдаудың қайта түлеген отандық мектеп өкілдері шамамен 1950 жылы минералдардың кристалдық құрылымын зерттеу саласында таң қаларлық жетістіктерге жетіп, бұл жағынан шетел ғалымдарынан әлдеқайда асып кетті және бұл біріншілікті 1970-ші жылдардың ортасына дейін сақтап келді. Айта кететіні, Н.В. Белов атомдарының немесе иондарының өте тығыз жайласу принципіне негізделген кристалдық құрылымдар теориясын әзірлеп шығарды. Осы теорияның негізінде қысқа мерзім ішінде минералдардың біршама күрделі кристалдық құрылымдарының тұтас қатарын танып білу мүмкін болды, тіпті жаңа

құрылымдық типтер анықталды. Осы айрықша күрделі зерттеулердің маңыздылығы тек қана олардың көмегімен минералдардың химиялық конституциялары нақтыланып қоймайды, сондай-ақ олар минералдар қасиеттерінің құрамымен және кристалдық құрылымымен өзара байланысын анықтауға мүмкіндік жасайды да, осылайша минералдардың ұтымды жіктеліміне кілт береді.

Минералдардың құрылымы мен қасиеттерін зерделеуге, сондай-ақ оларды жіктеудің жаңа тәсілдерін әзірлеуге *А.С. Поваренных* (1915–1993) пен *А.А. Годовиков* (1927-1995) елеулі үлес қосты. Аймақтық және генетикалық минералогия, минералогиялық аталым және минералдарды жүйелеу бойынша кең зерттеулерді *Е.К. Лазаренко* (1912–1979) жүргізді. *И.И. Шафрановский* (1907–1994) жүргізген минералдардың нақты кристалл пішіндерін зерттеулері жаңа пәнді – минералогиялық кристаллографияны жасауға негіз болды. Минерал индивидтері мен агрегаттарына туындай және дами бастаған денелер ретінде жаңа көзқарас *Д.П. Григорьев* (1909-2003) пен *А.Г. Жабинге* (т.ж. 1934) биологиялық ғылымдардағы сияқты, минералогияда онтогениялық бағытты дамытуға мүмкіндік берді. XX ғасырдың соңғы ширегінде *А.И. Гинзбург* (1917–1984), *Н.П. Юшкин* (т.ж. 1936) сияқты ғалымдардың және басқалардың күшімен минералдардың типоморфизмі туралы ілім тереңдете дамуға ие болды.

Минералдардың тепе-теңдігі және жаралатын минералдардағы элемент-қоспалар таралуының коэффициенттерін пайдалануға негізделген геотериобарометрия әдістері айтарлықтай ілгеріледі. Бұл бағыттың қалыптасуына *Л.Л. Перчук* (т.ж. 1933) үлкен үлес қосты.

Кеңес ғалымдары жүздеген жаңа минералдарды ашып зерделеді. Ашылған минералдар саны бойынша *А.П. Хомяков* (т.ж. 1933) пен *Е.И. Семенов* (т.ж. 1927) рекордшылар қатарына жатады.

Минералогия қазіргі кезде бірқатар геологиялық пәндерге негіз болады. Ол ең алдымен жер қыртысын құрайтын дербес құрамдас бөліктер ретінде қарастырылатын минералдық агрегаттарды өздерінің зерделеу нысандары ететін – таужыныстарды (петрография) және рудаларды (минераграфия) зерттейтін ғылымдардың негізі. Қорытындылай келе біз М.В. Ломоносовтың кезінен бастап, орыс минералогиясы өз бетінше дамығанын айтуымыз керек. Кеңес ғалымдарының әлем ғылымына қосқан үлесі даусыз әрі орасан. Қазіргі минералогияның негізін аса ірі орыс минералогтары М.В. Ломоносов пен В.М. Севергиннен бастап, Е.С. Федоров пен В.И. Вернадскийге дейінгі және біздің заманның басқа да аса көрнекті ғалымдары қалаған.

Минералдардың және минералогиялық зерттеулердің өнеркәсіптегі мәні

Пайдалы қазбаларды тікелей шикізат түрінде, немесе тиісті өңдеуден өткен өнімдер ретінде қолданбайтын өнеркәсіптің бірде бір саласы жоқ. Адам өмірінде темірді осы элементке бай рудаларды металлургиялық өңдеу

жолымен шойын мен болаттың түрлі сорттары түріндегі қолданудың мәні орасан зор екені баршаға мәлім. Темір - өнеркәсіптің басты жүйкесі. Ол металлургияның, машинажасаудың, кемежасаудың, темір жолдардың, көпірлердің, темір-бетон құрылғылардың, кеніштерді жабдықтаудың, тіршілікте кең тұтынатын тауарларды жасаудың, т.б. негізі болып табылады. Өз кезегінде тек қана темір металлургиясының өзі кокске өңделетін тас көмір ретінде өндіретін қатты минералдық отынның 40 % шамасын жұтып қояды.

Түсті металлургияның, электр өнеркәсібінің, кеме жасаудың, ұшак жасаудың, машина жасаудың және өнеркәсіптің басқа да салаларының дамуында мыс, мырыш, қорғасын, алюминий, тiніке (никель), кобальт рудаларынан өндірілетін түсті металл деп аталатындар ірі рөл атқарады. Ал сирек металдар деп аталатын вольфрам, молибден, сонымен қатар титан, ванадий, кобальт және басқалардың қорғаныс саласындағы мәні айрықша.

Ауыл шаруашылығының дамуы минералдық тыңайтқыштарды – калийлі минералдарды (калий тұздары), құрамында фосфор бар минералдарды (апатит, фосфорит), азотты (селитра) және басқаларды пайдаланумен тығыз байланысты. Мәселен, күкірт қышқылының өндірісі үшін күкіртке бай колчедандар (пирит) пайдаланылады; көптеген минералдар химиялық препараттарды даярлау үшін тұтынылады (сомтума күкірт, селитра, балқытқыш шпат, бордың, калийдің, натрийдің, магнийдің, сынаптың және басқалардың минералдары); резина өндірісінде күкірт, тальк, барит пайдаланылады; қышқылтөзімді және оттөзімді материалдар өндірісі үшін асбест, кварц, графит және басқалар қажет; бояу ісінде және эмаль мен зер (глазурь) даярлауға пайдаланылатындар – галенит, сфалерит, барит, титанның, мыстың, темірдің, күшәланың, сынаптың, кобальттың бордың минералдары, криолит, ортоклаз, циркон; қағаз жасау өндірісіне қажет – тальк, каолин, күкірт, ашутастар, магнезит және т.б.

Тас және астұз адам тағамына қажет құрамдас бөлік ретінде қажет. Бірқатар минералдар мен олардың химиялық өңдеу өнімдері дәрі түрінде қолданылады (мирабилит – глаубер тұзы, висмут пен барий тұздары). Медицинада және өнеркәсіптің бірқатар салаларында радиобелсенді минералдардан алынатын радиобелсенді заттар немесе бірқатар химиялық элементтердің жасанды жолмен алынатын изотоптары қолданылады.

Адам өмірінде әшекей тастар да үлкен рөл атқарады. Көбінесе безендіру мен көркем бұйымдарға жұмсалатын асыл тастармен қатар көптеген түсті тастар қабырғаларды қаптау үшін пайдаланылады. Біздің Отанымыздың ең жақсы құрылыстары қызғылт родонитпен, әр түрлі яшмамен, мәрмәрмен, кварцитпен безендіріледі. Кварц, исланд шпаты, слюда, турмалин, флюорит оптикалық аспаптарды даярлау үшін керек. Ақықтан (агат), корундтан, цирконнан және басқа қатты минералдардан сағаттардың және басқа дәл аспаптардың тіреуіштері даярланады.

Алмас (карбонадо), корунд, анартас (гранат), кварц заттарды тегістеу және жылтырлау үшін түрлі материалдар ретінде қолданылады. Жұмсақ және майлы материалдар (тальк, графит) толтырғыштар ретінде, тетіктердің үйкелетін бөліктерін майлағыш үшін және басқаларда қолданылады.

Ураннан қазан-реакторларда алынатын орасан зор ядро ішіндегі энергияны босату проблемасын шешу оны бейбіт мақсаттарда өнеркәсіптік пайдалану мүмкіндігін ашты. Кеңестер Одағында атом отынымен жұмыс жасайтын электр станциясы әлемде бірінші болып 1954 жылдың өзінде тұрғызылғаны белгілі.

Келтірілген минералдарды және олардан алынатын өңдеу өнімдерін қолданудың қысқаша тізбесінен минералдық шикізаттың экономикадағы мәні қаншалықты зор екенін көреміз.

КСРО-да индустрияландыру кезеңінде қуатты минералдық-шикізат базасын жасау мәселесі қысқа мерзімдерде шешілген. Осы жұмыстарды іске асыру кезінде өнеркәсіптік жағынан құрамында маңызды пайдалы қазбалар бар көптеген жаңа кенорындар ашылған болатын. Қара, түсті және сирек металл рудаларының – темірдің, марганецтің, хромның, мыстың, қорғасынның, мырыштың, қалайының, вольфрамның, молибденнің, тінікенің (никельдің) және басқалардың қоры елеулі артқан. Осының нәтижесінде КСРО металдар мен минералдық өнімдерді импорттаудан толық құтылған.

КСРО ыдырағаннан кейін хром, марганец, сынап және сүрме сияқты бірқатар пайдалы қазбалардың игерілген қорына қатысты россиялық кен өндіру өнеркәсібі жетімсіздікті сезіне бастады. Бұл жағдай отандық геологтар алдына жаңа мәселелер қояды. Олардың міндетіне жаңа кенорындарды ашу және жетімсіз (дефицит) пайдалы қазбалар қорын жаңа өнеркәсіпті аудандарда арттыру ғана емес, сондай-ақ ашылған минералдық байлықтары игеруге қатысу да кіреді. Мұнда минералдық шикізатты *комплекті пайдалану*, яғни басты пайдалы қазбалармен қатар шикізаттың басқа құнды компоненттерін айырып алу айрықша мәнге ие болады. Ал мұны рудаларды түбегейлі минералогиялық зерттемей және өңделетін шикізат технологиясының ерекшеліктерін ескермей жасауға болмайды.

Минералогияны білу барлауды және әсіресе іздеу жұмыстарын жүргізу кезінде үлкен мәнге ие болады. Оларды сәтті жүргізу үшін ең алдымен минералдарды дәл анықтауды, олардың табиғатта жаралу жағдайларын, бір-бірімен бірігу заңдылықтарын білу қажет. Іздеушілердің кейбір минералдарды дұрыс анықтай алмауынан өнеркәсіп үшін маңызды кенорындарды жіберіп алған көптеген мысалдар белгілі. Жер бетіне шығатын кенорындарды іздеген кезде руда кенорындары тотығу белдемдерінің ерекшеліктерін де білу және олар бойынша грунт суы деңгейінен төмен жатқан бастапқы рудалардың құрамын анықтауды үйрену маңызды.

Сонымен бірге минералдардың бірқатар физикалық қасиеттері (магниттілігі, электрөткізгіштігі, тығыздығы, т.б.) пайдалы қазба кенорындарын іздеу мен барлаудың геофизикалық әдістерін әзірлеу үшін үлкен мәнге ие.

Пайдаланылатын кенорындар рудаларының сапалық сипаттамасын зерделеу кеніш геологтарының ең маңызды мәселелерінің бірі саналады. Кеніш геологы кен үңгімелері үңғысындағы руданың сипатын күн сайын бақылайтындықтан, оның минералдық құрамындағы кеңістіктік өзгеріс

заңдылығын басқалардан артық біледі. Бұл жағдай пайдалану жұмыстарын ұйымдастыруда аса маңызды мәнге ие.

Көп жағдайларда өндірілетін рудалар балқытқанға немесе технологиялық өңдеуге дейін арнайы фабрикаларда механикалық байытуға ұшырайды, яғни пайдалы қазбалар кенсіз таужыныстан бөлінеді немесе құрамы бойынша түрлі концентраттарға ажыратылады. Рудаларды алдын ала уату және майдалау арқылы байыту арнайы қондырғыларда жүргізіледі. Мұнда минералдардың түрлі қасиеттері: тығыздығы, магниттілігі, электр өткізгіштігі, флотациялау реагенттеріне қатынасы және басқалар пайдаланылады. Руданы құрайтын минерал түйірлерінің өлшемі және олардың өзара кірігуі де үлкен мәнге ие. Осы мәселелердің барлығын шешуде әдетте рудаларды байыту бойынша ғылыми-зерттеу институттарының минераграфиялық лабораторияларында жүргізілетін арнайы минералогиялық зерттеулер үлкен рөл атқарады. Бірақ минералогиялық зерттеулер әдістемесін игерген кез-келген геолог рудалардың минералдық құрамы мен құрылысын мақсатты зерделеген кезде олар байыту барысында өздерін қалай ұстайтыны, белгілі бір байыту тәсілінде пайдалы компоненттердің қандай ысырапқа ұшырайтыны және оның неге байланысты екендігі туралы дұрыс қорытынды жасай алмайды. Бұл мәселелер минералдар туралы қолданбалы ғылымның ең бір маңызды тарауы – технологиялық минералогияның тақырыбы болып табылады.

Осылайша, пайдалы қазба кенорындарын минералогиялық зерделеу тек қана оларды іздеу мен барлау үшін емес, сондай-ақ өнеркәсіптің кен өндірісі мен кен өңдеу салалары үшін де аса маңызды мәнге ие.

1-ТАРАУ

ЖЕР ҚЫРТЫСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚҰРАМЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Жер шарының құрылысы

Геологиялық зерттеулердің, соның ішінде минералогиялық зерттеулердің де басты нысаны *жер қыртысы* болып табылады. Жер қыртысы – Жер шарының тікелей байқауға болатын ең жоғарғы қабығы.

Біздің жер қыртысының құрылысы мен химиялық құрамы туралы фактілік біліміміз толықтай дерлік планетамыздың ең жоғарғы бөліктеріндегі байқауларға негізделеді.

Әр түрлі геологиялық замандарда жүрген және биік тау жоталарының қалыптасуына әкелген таужасаушы процестер Жер беті маңында жаралмайтын тереңдегі сан қилы таужыныстарды жер бетіне көтеріп шығарды. Жаралуы бойынша ең тереңдегі әрі тікелей зерттеуге қол жетпейтін таужыныстар – мантия ксенолиттері, олар көбінесе қопарылыс түтікшелерінде көзге түседі – зерттеушілердің айрықша назарындағы нысан болып табылады. Оларды зерделеу геологиялық байқаулар мен есептеулер көрсеткендей, Жер шарының 100–150 км тереңдігіне дейін ғана құрамы мен құрылысы туралы біршама нақты түсінік алуға мүмкіндік береді (Жердің орташа радиусы 6371 км).

Жер шарының терең қойнауларының құрылысы мен құрамы туралы жанама деректер негізінде ғана шамалауға болады. Барша Жер шарының тығыздығын ($5,527 \text{ г/см}^3$) жер қыртысының тығыздығымен ($2,7\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$) салыстырып қарастырсақ, біздің планетаның ішкі бөлігі оның беткі бөлігіне қарағанда әлдеқайда тығыз болуы керек. Түрлі деректер бойынша (геофизикалық байқаулар, Жерді басқа ғарыш денелерімен салыстыру деректері, метеориттердің құрамы, т.б.) бұл жағдай тереңге қарай қысымның артуымен ғана емес, сондай-ақ біздің планетаның ішкі бөліктері құрамының өзгеруімен де байланысты екенін жорамалдауға болады.

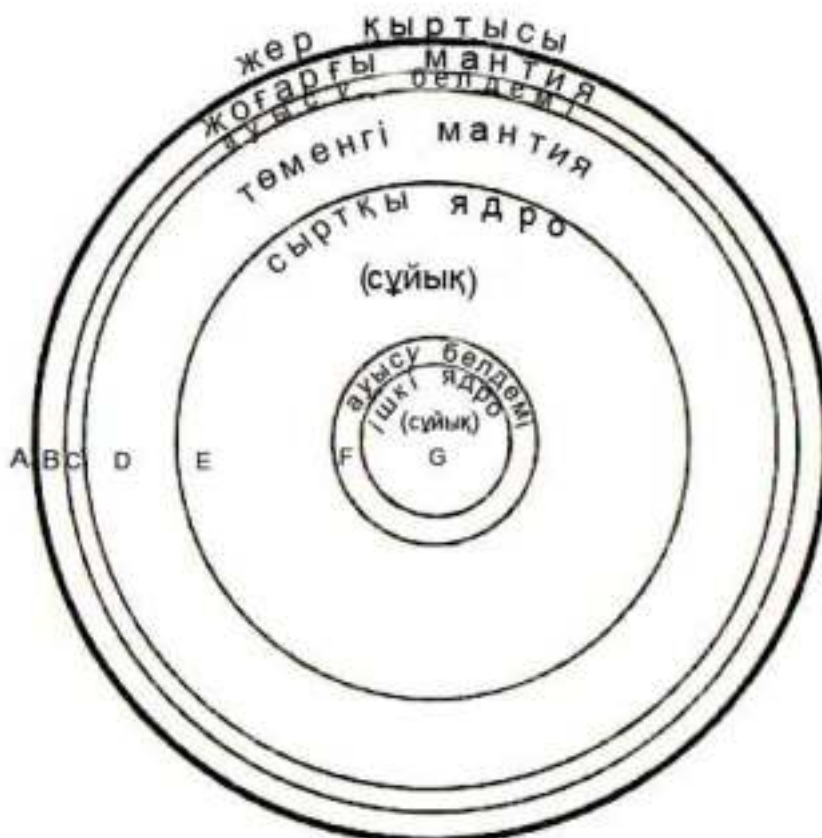
Геофизикалық деректер негізінде тұрғызылған қазіргі модельдерге сәйкес Жердің құрылысында бірнеше центрлі қабықтар (геосфералар, 3-сурет) бөлініп, олар физикалық қасиеттері мен құрамы бойынша ажыратылады (1-кесте).

Жер қыртысының құрамы

Алғаш жер қыртысы қатты бөлігінің құрамын америкалық зерттеуші *Ф. Кларк* салмақтық процентпен 1889 жылы есептеп шығарған. Алынған цифрларды нақтылау бойынша үлкен жұмысты В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, И. және В. Ноддак, Г. Гевеши, В.М. Гольдшмидт және А.П. Виноградов атқарып шыққан. А.П. Виноградов литосфераның ғана (гидросфера мен атмосфераны есепке алмай) орташа химиялық құрамын есептеп шығарған.

Академик Ферсманның ұсынысы бойынша жер қыртысының жекелеген элементтер мөлшерінің орташа цифрларын «кларк сандары» деп

аталатын болды. Осы ғалым бұл шамаларды салмақтық проценттермен ғана емес, сондай-ақ атомдық проценттермен өрнектеуді ұсынған.



3-сурет. Жердің ішкі құрылысының сұлбасы (жер қыртысының қалыңдығы тыс масштабта көрсетілген)

1-кесте. Жер геосфераларының сипаттамалары

Қабық	Индекс	Төменгі шегара, км	Тығыздық, г/см ³	Компоненттік құрамы
Қыртыс	A	10-30	2,80-2,85	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeO, CaO, MgO, Na ₂ O, K ₂ O
Жоғарғы мантия	B	350-400	2,9-3,5	SiO ₂ , MgO, FeO, CaO, Al ₂ O ₃
Өтпелі зона	C	770	3,8-4,2	SiO ₂ , MgO, FeO, CaO, Al ₂ O ₃
Төменгі мантия	D	2875	4,5-5,6	SiO ₂ , MgO, FeO, Fe, MgS, FeS
Сыртқы ядро	E	4711	9,8-12,2	FeO, Fe, FeS, Si, Ni, H, C
Өтпелі зона	F	5160	12,2-12,5	Fe, FeS, Ni, H, C
Ішкі ядро	G	6371	12,7-14,0	Fe, Ni, H, C

Менделеевтің элементтер периодтық кестесінде келтірілген 100-ден аса химиялық элементтердің тек шамалысы ғана жер қыртысында кең таралған (2-кесте). Кестеде мұндай элементтер негізінен оның жоғарғы жағында орналасады, яғни реттік нөмірі аз элементтер санына жатады.

Ең көп таралған элементтерге жататындар: O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H және C. Жер қыртысында кездесетін қалған басқа элементтердің

үлесіне бар болғаны проценттің бірнеше ондық бөлігі ғана келеді (салмағы бойынша). Осы элементтердің басым көпшілігі жер қыртысында тек қана химиялық қосылыстар түрінде болады. Сомтума түрде кездесетін элементтер қатарына өте аз сандары ғана жатады. Бұлар да, басқалар да жер қыртысында түрлі геологиялық процестер кезінде жүріп, құрамы бойынша сан қилы таужыныс массивтері мен пайдалы қазба кенорындары жаралуына әкелетін химиялық реакциялар нәтижесінде пайда болады.

2-кесте. Д.И. Менделеевтің элементтер периодтық жүйесі

S-элементы		p-элементы				d-элементы		f-элементы			
Группы элементов											
Период	Ряд	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	1	1 Водород H 1,0079							2 Гелий He 4,0026		
2	2	3 Литий Li 6,941	4 Бериллий Be 9,01218	5 Бор B 10,81	6 Углерод C 12,011	7 Азот N 14,0067	8 Кислород O 15,9994	9 Фтор F 18,9984	10 Неон Ne 20,179		
3	3	11 Натрий Na 22,98977	12 Магний Mg 24,305	13 Алюминий Al 26,98154	14 Кремний Si 28,0855	15 Фосфор P 30,97376	16 Сера S 32,06	17 Хлор Cl 35,453	18 Аргон Ar 39,948		
4	4	19 Калий K 39,0983	20 Кальций Ca 40,08	21 Скандий Sc 44,95591	22 Титан Ti 47,88	23 Ванадий V 50,9415	24 Хром Cr 51,996	25 Марганец Mn 54,93802	26 Железо Fe 55,847	27 Кобальт Co 58,9332	28 Никель Ni 58,69
	5	39 Медь Cu 63,546	40 Цинк Zn 65,38	31 Галлий Ga 69,72	32 Германий Ge 72,59	33 Мышьяк As 74,9216	34 Селен Se 78,96	35 Бром Br 79,904	36 Криpton Kr 83,80		
5	6	37 Рубидий Rb 85,4678	38 Стронций Sr 87,62	39 Итрий Y 88,9058	46 Иттрий Zr 91,22	41 Нобий Nb 92,9064	42 Молибден Mo 95,94	43 Технеций Tc [98]	44 Рений Ru 101,07	45 Родий Rh 102,9055	46 Палладий Pd 106,42
	7	47 Серебро Ag 107,868	48 Кадмий Cd 112,41	49 Индий In 114,82	50 Олово Sn 118,69	51 Сурьма Sb 121,75	52 Теллур Te 127,60	53 Йод I 126,9045	54 Ксенон Xe 131,2954		

6	8	55 Цезий Cs 132,9054	56 Барий Ba 137,33	57* Лантан La 138,9055	72 Гольмий Ho 178,49	73 Тербий Tb 188,9478	74 Гольмий W [183,84]	75 Рений Re 186,207	76 Осмиум Os 190,2	77 Иридий Ir 192,22	78 Платина Pt 195,08
	9	79 Золото Au [196,9665]	80 Ртуть Hg [200,59]	81 Таллий Tl 204,383	82 Свинец Pb 207,2	83 Висмут Bi 208,9804	84 Полоний Po [209]	85 Астат At [210]	86 Радон Rn [222]		
7	10	87 Франций Fr [223]	88 Радий Ra [226,0254]	89** Актиний Ac [227,0278]	101 Фермий Fm [281]	102 Мэнделевий Md [282]	103 Скобелдиний Sg [283]	104 Коперниций Cn [285]	105 Хассий Nh [286]	106 Майтнерий Mt [288]	107 Дармштадтий Ds [289]

* Лантаноиды

58 Церий Ce 140,12	59 Прометий Pr 140,9077	60 Неодим Nd 144,24	61 Прометий Pm [145]	62 Самарий Sm 150,36	63 Европий Eu 151,96	64 Гадолиний Gd 157,25	65 Тербий Tb 158,9254	66 Диспрозий Dy 162,50	67 Гольмий Ho 164,9304	68 Эрбий Er 167,26	69 Тулий Tm 168,9342	70 Иттрибий Yb 173,04	71 Лютеций Lu 174,967
-----------------------------	----------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

** Актиноиды

90 Торий Th 232,0381	91 Протактиний Pa 231,0359	92 Уран U 238,0289	93 Нептуний Np 237,0482	94 Плутоний Pu [244]	95 Америций Am [243]	96 Кюрий Cm [247]	97 Берклий Bk [247]	98 Калифорний Cf [251]	99 Эйнштейний Es [252]	100 Фермий Fm [257]	101 Мейтнерий Md [258]	102 Нобелий No [259]	103 Лавренций Lr [260]
-------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	---------------------------------

Егер ең басты элементтерді олардың жер қыртысында проценттік (салмақтық) мөлшері ретімен декадалар (грекше *дека* – он) бойынша топтарға бөліп орналастырса, онда мынадай болып шығады (3-кесте).

3-кесте. Литосфераның орташа химиялық құрамы, сал. % (А.П. Виноградов бойынша, 1949, түзетулермен)*

I	O-47,0 Si-27,5	V	Ni-0,008 Zn-0,0068 Li-0,0065 Ce-0,0045 Sn-0,004 Co-0,003 Y-0,0028 La-0,0018 As-0,0018 Ga-0,0015 Pb-0,0013 Nb-0,001	VII	Cd- 5×10^{-5} Sb- 4×10^{-5} Cs- 4×10^{-5} I- 3×10^{-5} Bi- 2×10^{-5} In- 2×10^{-5} Ag- 1×10^{-5}
II	Al-8,6 Fe-5,0 Ca-3,5 Mg-2,26 Na-2,5 K-2,13			VIII	Se- 7×10^{-6} Hg- 7×10^{-6} Os- 5×10^{-6} Pd- 1×10^{-6}
III	Ti-0,60 H-0,15				
IV	Mn-0,09 S-0,09 P-0,08 F-0,06 Cu-0,05 Ba-0,05 C-0,02 Cl-0,018 Sr-0,04 Cr-0,02 Zr-0,016 V-0,015 Rb-0,011 N-0,01	VI	Th- 8×10^{-4} Ge- 8×10^{-4} Be- 7×10^{-4} Sc- 6×10^{-4} Mo- 3×10^{-4} B- 3×10^{-4} U- 3×10^{-4} Tl- 3×10^{-4} Hf- $2,4 \times 10^{-4}$ Ta- 2×10^{-4} Br- $1,6 \times 10^{-4}$ W- 1×10^{-4}	IX	Au- 5×10^{-7} Pt- 5×10^{-7} Ru- 5×10^{-7} Te- 3×10^{-7} Ir- 1×10^{-7} Rh- 1×10^{-7} Re- 1×10^{-7}
				XI	Ra- 1×10^{-10} Pa- 1×10^{-10}

*Кестеде сирекжер тобындағы элементтердің барлығы, сондай-ақ ізгі газдар оларды сандық анықтау сенімсіз болғандықтан келтірілген. Бірінші сегіз элемент үшін, сондай-ақ күкірт үшін деректер А.П. Виноградовтың соңғы ескертпелеріне сәйкес түзетілген.

3-кестеде көрсетілгендей, жер қыртысы минералдарының басым массасы бірінші екі декада элементтерінің қосылыстары болуы тиіс, олардың салмақпен өрнектелген үлесіне негізгі массасы тиесілі. Шын мәнінде, жер қыртысында төтенше кең таралғаны кремнийдің, алюминийдің, темірдің, сонымен қатар сілтіжер және сілті металдардың – кальцийдің, магнийдің, натрий мен калийдің оттегімен қосылыстары. Олардың қатарына негізінен жер қыртысын құрайтын түрлі таужыныстар құрамына кіретін оксидтер мен оттегі тұздары (басым түрде силикаттар, алюмосиликаттар, карбонаттар, сульфаттар және басқалар) жатады.

Өнеркәсіпте үлкен рөл атқаратын ауыр металдар кларкі басым көпшілігінде өте аз шамада өрнектеледі де элементтердің таралу дәрежесі бойынша декадаларға бөлінген соңғы бағаналарына түседі (4-кесте).

4-кесте. Басты элементтердің жер қыртысында таралғандығы

Декада	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX-XI
Металдар	Al, Fe Mg, Ca	Ti	Mn, Cr, V, Cu	Ni, Zn, Sn, Co, Y, La, Pb, Ce, Nb	Th, Cs, Be, As, Mo, U, Tl, Ta, W	Cd, Sb, Bi, Ag, In	Hg, Os, Pd	Au, Pt, Ru, Ir, Rh, Re, Ra

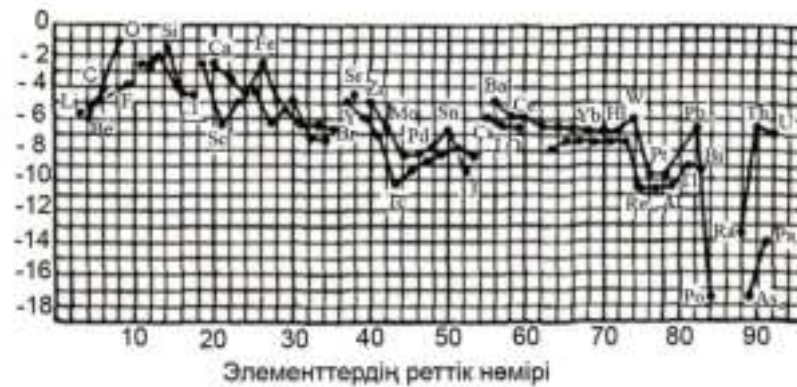
Ауыр элементтердің жер қыртысында таралуының кейбір ерекшеліктері

Көрсетілген жер қыртысындағы сирек элементтердің көпшілігі табиғатта жүретін геохимиялық процестер ықпалымен көбінесе минералдық заттың айрықша бай шоғырларын жасап, олар руда кенорындары деп аталады. Егер құрамынан өнеркәсіп үшін құнды металдарды айырып алу мақсатында игеруге жататын осындай кенорындар жаралуына әкелетін процестер болмаған жағдайда, қазіргі кездегі техника мен мәдениеттің де аса қуатты дамуы болмайтынын сенімді түрде айтуға болады.

Онда таужыныстардан лабораториялық жағдайларда айырып алынған көптеген металдар айрықша қымбат болып шығар еді. Ванадий, цезий, галлий және басқалар сияқты металдардың кларкі сынаптың, висмуттың, күмістің, алтынның және басқалардың кларкінен көп жоғары болатыны аса тән. Бірақ, олардың аса құнды қасиеттеріне қарамай, олар адам тұрмысында кең таралмаған, өйткені олардың өнеркәсіптік шоғырлануы табиғатта өте сирек.

Ауыр металдардың табиғи қосылыстары негізінен біршама қарапайым қосылыстар болып табылады. Осы элементтердің (Fe, Mn, Sn, Cr, W, Nb, Ta, Th, U) бір бөлігі оттек қосылыстары түрінде басым таралған, ал бірақ көптеген басқа элементтер (Fe, Ni, Co, Zn, Cu, Pb, Hg, Mo, Bi, As, Sb, Ag және басқалар) негізінен күкіртті, күшәлалы және сүрмелі қосылыстар шоғырлары түрінде кездеседі. Темір сидерофил, литофил және халькофил элементтер қасиеттерін қамтиды да оттеппен де, күкіртпен де елеулі қосылыстар жасайды.

Диаграммада (4-сурет) абсциссалар осі бойынша химиялық элементтердің реттік нөмірі орналасса, ал ордината осі бойынша олардың атомдық кларктерінің логарифмі көрсетілген. Мұнда көрінетіні, реттік нөмірі артқан сайын тақ та, жұп та элементтер кларкінің қисығы жалпы алғанда төмендеу үрдісін байқатады. Бұдан шығатыны, химиялық элементтердің көпшілігі үшін олардың жер қыртысындағы орташа мөлшері реттік нөміріне кері пропорциялы тәуелділік орын алатыны, дегенмен одан ауытқулар да кездеседі (мысалы Li, Be, B және басқалар үшін).



4-сурет. Элементтердің литосфераны жоғарғы бөлігінде таралғандығы. Диаграммада атомдық кларктер логарифмі (H) реттік нөмірінің функциясы ретінде (Z) берілген, мұнда оттект бірлік ретінде қабылданған

Егер жер қыртысындағы химиялық элементтердің атомдық кларк бойынша таралғандығын, құрамына солар кіретін минералдар санымен (5-кесте) салыстырса, онда П.П. Пилипенко көрсеткендей, олардың аралығында біршама ауытқығанымен біршама тура (симбаталық) тәуелділік орнайды. Бұл негізінен аз атомдық салмаққа ие элементтер үшін орын алады.

Минералдар қатарына оларда берілген элемент изоморфты қоспа түрінде кіретін түрлестері ғана қосылмаған.

5-кесте. Жеңіл элементтер минералдарының саны мен олардың атомдық кларкінің өзара байланысы

Элемент	Атомдық кларкі	Минералдар саны	Элемент	Атомдық кларкі	Минералдар саны
O	53,39	3550	Fe	1,31	1170
H	17,25	2581	K	1,05	439
Si	16,11	1327	C	0,51	361
Al	4,80	978	Ti	0,22	281
Na	1,82	782	Cl	0,10	288
Mg	1,72	695	S	0,05	923
Ca	1,41	1174	F	0,07	335

Жеңіл элементтердің кейбіреулері минералдарда типикалық аниондар немесе анионжасаушылар болып айрықша рөл атқарады. Мұндай элементтер арасында ең алдымен оттекті, сондай-ақ сутекті (гидроксил ионның компоненті ретінде), күкіртті, көміртекті және кейбір басқаларды айтуға болады. Минералдардың басым көпшілігі полюстік қосылыстар болып табылатындықтан, олардың әрқайсысының құрамында катиондар мен аниондар рөлін атқаратын элементтер болуы тиіс. Периодтық жүйе элементтері арасында типикалық аниондар мен анионжасаушылар катионжасаушы элементтерден әлдеқайда аз, өйткені металдар барлық элементтердің 3/4 шамасын құрайды. Осы себепті азғана элемент-анионжасаушылардың әрқайсысы атомдары катиондар рөлін атқаратын элементтермен салыстырғанда минералдардың біршама көп санынан тұратын болады. Оттек қосылыстары минералдарының, сондай-ақ құрамында су бар

минералдар мен сульфидтердің айтарлықтай көп санды болуы осымен түсіндіріледі. Көп таралған элемент-металдардың көпшілігі үшін (негізінен атомдық салмағы жеңіл және орташалар) минерал түрлерінің саны олардың атомдық кларкімен орнықты пропорциялылықты көрсетеді.

Көптеген ауыр металдар үшін мұндай тәуелділік анықталмайды. Мәселен, теллур (оның жер қыртысындағы атомдық кларкі селеннің кларкінен шамамен 40 есе аз) табиғи жағдайларда 150-ге жуық дербес минерал жасаса, ал селеннің бар болғаны 100-дей ғана минералы белгілі, соның өзінде басым көпшілігі күкіртпен байланысты.

Мырыштың атомдық кларкі қорғасынның кларкімен салыстырғанда 17 есе артық болғанымен, бізге белгілі 250-дей минерал ғана болса, ал қорғасынның минералдары 450 шамасында. Мұндай мысалдар жеткілікті.

Көрсетілген айырмашылықтар элементтердің өзінің иондарының құрылысымен және осы элементтердің Менделеевтің периодтық жүйесінде орналасуымен анықталатындығымен байланысты химиялық қасиеттерінен туындайды. Қасиеттері бірдей, иондарының құрылысы мен өлшемдері ұқсас, бірақ берілген ерітіндідегі немесе балқымадағы концентрациясы әр түрлі элементтер үшін әрине концентрациясы шамалы элементтер кристалданған кезде олар басым элементтер жасайтын кристалл құрылымдарға кіріп, солардың ішінде еріп кететінін күтуге болады. Егер де берілген элемент қоршаған ортада басқа элементтердің өлшемі мен құрылысы бойынша өзіне ұқсас иондарын таппаса, онда кристалданған кезде ерітіндіде қандай мөлшерде болмасын ол дербес қосылыс жасауы тиіс. Мәселен, екі валентті марганец өзінің негізгі массасында минералдардың құрамына екі валентті темір мен кальцийге изоморфты қоспа түрінде кіреді, ал бірақ төрт валентті марганец әрдайым айтылған жекеленген қосылыстар жасайды. Төмен атомдық кларктерге ие рубидий, скандий, гафний, индий, рений және басқалар сияқты осындай элементтер табиғатта бірнеше дербес минералдар ғана жасап, негізінен басқа элементтерге изоморфты қоспалар түрінде кездесіп, шашыранды күйде болатыны осымен түсіндіріледі. Айтарлықтай шамада бұл селен, ванадий, цезий, кадмий және басқалар сияқты көптеу таралған элементтерге де қатысты. Керісінше, атомдық кларктері өте төмен элементтер – теллур, алтын, платина тобындағы металдар, висмут және басқалар – дербес минералдар түріне біршама жиі анықталады.

2-ТАРАУ

МИНЕРАЛДАРДЫҢ КОНСТИТУЦИЯСЫ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІ

2.1. Жалпы мағлұмат

Мұражай витриналарындағы немесе табақшалардағы минералдардың арнайы іріктеп алған үлгілерін қарап отырғанда, бізді оларды бір-бірінен ажырататын сыртқы белгілерінің әртүрлілігі таң қалдырады.

Бір минералдар мөлдір сияқты көрінсе (тау хрусталі, тас тұз), басқалары күңгірт, шала мөлдір немесе тіпті жарық өткізбейтін (магнетит, графит) болып келеді.

Көптеген табиғи қосылыстардың тамаша ерекшелігіне олардың түсі жатады. Бірқатар минералдар үшін бұл қасиет тұрақты және оларға аса тән. Мысалы, киноварь (күкіртті сынап) әрдайым қызыл түске ие болса, малахитке ашық-жасыл түс тән, пириттің куб кристалдары металл-алтын түсімен жеңіл танылады және т.с. Сонымен қатар көптеген минералдардың бояуы өзгермелі. Мысалы, кварц түрлестері осындай: түссіз (мөлдір), сүттей ақ, сарғыш-қошқыл, қара, күлгін, қызғылт.

Жылтырлық та көптеген минералдарға аса тән белгілі. Бір жағдайларда ол металдардың жылтырлығы сияқты (галенит, пирит, арсенопирит), ал басқаларында – шынының жылтырлығындай (кварц), інжудей (мусковит). Кейде жаңа омырылымының өзінде күңгірт болатын, яғни жылтырлығы жоқ минералдар да аз емес.

Минералдар көбінесе кристалл түрінде кездесе, ал кристалдар кейде өте ірі болып, ал кейде лупаның немесе микроскоптың көмегімен ғана анықтала алатын өте ұсақ болады. Бірқатар минералдарға кристалды пішіні аса тән, мысалы, пирит - куб кристалдар, анартас (гранат) – ромб додекаэдр, берилл – алты қырлы призма. Бірақ көпшілік жағдайда минерал массалар тұтас түйірлі агрегаттар түрінде байқалып, оларда жекелеген түйірлер кристаллографиялық бейнеге ие болмайды. Көптеген минералдық заттар «сорғалама» немесе «ақпа» массалар түрінде де таралып, олардың пішіні кристалдарға тән ештеңесі жоқ сан қилы болады. Мысалы, малахиттің бүйрек тәрізді массасы, лимониттің (темір гидроксидтері) сталактит тәрізді жаралымдары осындай.

Минералдар басқа физикалық қасиеттері бойынша да ажыратылады. Кейбір минералдардың қатты болатыны сондай, шынының бетін оңай сызғыласа (кварц, анартас, пирит), басқаларын шынының сынығымен немесе пышақтың ұшымен сызғылауға болады (кальцит, малахит), ал үшіншілерінің қаттылығы төмен болатыны сондай, олар тырнақпен жеңіл сызылады (гипс, графит).

Бір минералдар сындырған кезде белгілі бір беттер бойынша оңай ажырап, кристалдарға ұқсас пішінді сынықтар жасайды (тас тұз, галенит, кальцит); басқалар омырылымында қисық, «бақалшақтай» беттер береді

(кварц). Минералдардың тығыздығы, балқығыштығы және т.б. сияқты белгілері де кең ауытқиды.

Минералдардың химиялық қасиеттері де сан қилы. Біреулері суда оңай ерісе (тас тұз), басқалары қышқылдарда ғана ериді (кальцит), ал үшіншілеріне күшті қышқылдар да әсер ете алмайды (кварц). Минералдардың көпшілігі ауада жақсы сақталады. Дегенмен, оттектің, көмір қышқылының және ауаның құрамындағы ылғалдың әрекетінен тотығуға немесе ыдырауға жеңіл ұшырайтын бірқатар табиғи қосылыстар да белгілі. Кейбір минералдардың жарық әсерінен біртіндеп бояуын өзгертетіні де ежелден белгілі.

Минералдардың осы қасиеттерінің барлығы, қазір біздің көзіміз барған сайын көп жетіп отырғандай, *заттың химиялық құрамы мен кристалдық құрылымына – минералдардың конституциясына себептік тәуелділікте болады*. Бұл өз кезегінде атомдардың немесе иондарының өлшемдеріне (минералдардың құрамына қатысатын), олардың электрондық қабықтарының құрылысына (әсіресе сыртқы) және химиялық элементтердің Д.М. Менделеев жүйесінде орналасуымен анықталатын қасиеттеріне байланысты. Сондықтан бұрын жұмбақ көрінгендердің көпшілігі қазір дәл ғылымдардың заманауи жетістіктері негізінде барынша түсінікті болып келеді. Осы жетістіктер табиғи құбылыстарды дұрыс түсінуге ғана жол ашып қоймайды, сондай-ақ бізге минералдардың қасиеттерін практикада пайдалануға да көмектеседі.

Минералдардың конституциясы оның химиялық құрамы мен кристалдық құрылымының бірлестігі болып табылады. «Конституция» түсінігі минералдың табиғатын сипаттайды деп айтуға болады. Ол минералдың дербес ішкі қасиеті болып табылса, ал одан өзгеше қалған қасиеттері мен белгілері қоршаған ортамен өзара әрекеттескенде білінетін және қалыптасатын сыртқы әрекеттің жаңғырығы болады. Атап айтқанда минералдың конституциясы оның қандай түрге жататынын анықтайды. Ал минералдардың диагностикалық қасиеттері (белгілері) болса, олар минералдың құрамы мен құрылысының функциясы болып табылатындықтан, қандай түрге жататынын анықтауға қызмет жасайды. Сондықтан минералдық түр мен минералдар жіктелімі түсінігінің қазіргі анықтамаларының барлығы минералдардың белгілеріне емес, олардың конституциясына негізделген. Төменде минералдар конституциясының негізін толығырақ қарастырамыз.

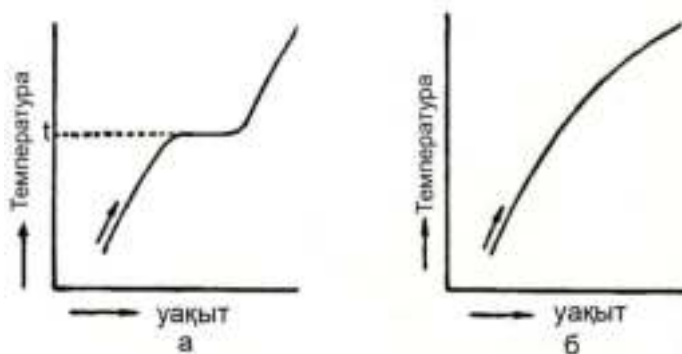
Осыған байланысты физиканың, химияның және кристалхимияның біз үшін ең аңызды ережелерін еске түсіреміз.

Минералдардың агрегаттық күйі. Бейорганикалық табиғаттың кез-келген заты температура мен қысымға байланысты кез-келген агрегаттық күйде бола алады, ал осы факторлар өзгергенде бір күйден екінші күйге өтеді.

Минералдар өздерінің анықтамасы бойынша кристалл денелер болғандықтан конденсатталған күйде болатын затқа, дәлірек айтқанда – қатты затқа жатады. Минералогия нысандарының аз бөлігі ғана аморфты денелерге жатады. Әр агрегаттық күйдің орнықтылық шегі заттың табиғатына байланысты өте түрліше температуралық интервалда болады.

Атмосфералық қысым кезінде бөлме температурасы жағдайында минералдардың көпшілігі қатты күйде болады да жоғары температура кезінде балқиды. Ал сынапты алсақ, ол су сияқты осындай жағдайларда сұйық күйде болады да минерал деп есептеле алмайды. Дегенмен сынапқа, әрине суға да кристалл күйіне өтуге мүмкіндік беретін табиғи жағдайлар болатынын еске алу қиын емес. Мұндай жағдайда олар минерал бола алады.

Минералдардың абсолют көпшілігі кристалл заттан, яғни кристалдық құрылымға ие заттардан тұрады. Әр кристалл заттың белгілі бір балқу температурасы болады. Осы температурада заттың агрегаттық күйінің өзгеруі жылу жұтумен сипатталып, ол қыздыру қисығының өзгеруінде анық көрініс табады (5 а-сурет). Белгілі бір уақыт интервалында жүйеге берілетін жылу балқу процесіне шығындалады (қисық жайпақталады).



5-сурет. Кристалл (а) және аморфтық (б) заттардың қыздыру қисығы

Салқындатылатын гомогендік сұйық заттың кристалдануы құрамы дәл сондай қатты дененің балқу температурасындай температурада жүруі тиіс, бірақ ол әдетте сұйықтың біршама салқынырақ кезінде орын алатыны әрдайым есте сақтау қажет.

Ретсіз құрылымымен, яғни атомдарының заңдылық бойынша орналасуы болмауымен сипатталатын химиялық біркелкі қатты заттар *аморфтық* (шыны тәрізді) денелер деп аталады. Олар изотроптық, яғни барлық бағыттары бойынша бірдей физикалық қасиеттерге ие заттар қатарына жатады. Аморфтық заттардың кристалдықтардан ажыратылатын айрықша сипатына бір агрегаттық күйден екіншісіне баяу қисық бойынша *біртіндеп өтуі* жатады (5 б-сурет). Мәселен, сургуч қыздырған кезде біртіндеп майысқақ, содан соң қоймалжың болып барып, ақыр соңында тамшы-сұйыққа айналады. Шыны сияқты аморфтық заттарды өте салқындатылған сұйықтық деп есептеуге болады.

Аморфтық заттар көбінесе балқытылған тұтқыр қоймалжың массалардың қатаюы кезінде пайда болады, әсіресе балқыманың суынуы өте жылдам жүргенде. Осының мысалына лешательериттің – аморфтық кварц шынысының – найзағай кристалды кварц таужыныстарды соққан кезде жаралуы жатады. Аморфтық заттардың кристалл массаларға өтуі оларды жұмсартылған күйде балқу нүктесіне жақын температурада ұзақ ұстаған кезде орын алуы мүмкін.

Заттардың кристалдық құрылысы туралы. Кристалдық күй конденсатталған денеде атомдар орналасуында жақын және алыс реттіліктің болуымен анықталады, оны «торлы құрылыс» терминімен қысқаша атауға болады. Есте сақтайтыны кристалл да, кристалды құрылым да өз бетінше торға тең емес. Тор деген геометриялық бейне, ол үш өлшемді реттелген атомдық құрылыстың параллель-ауыспалы (трансляциялық) симметриясын сипаттайды. Кристалдық тор ұғымын кристалға қатысты мүмкіндігінше дұрыс пайдаланғанда, академик Н.В. Беловтың: «Кристалл тор күйінде болады» деген сөзі дәл келуі ықтимал.

Кез-келген кристалдық құрылымның толық симметриясы симметрияның 230 кеңістіктік (федоровтық) топтардың бірімен сипатталады. Олар симметрияның 32 тобының (нүктелік топтар немесе симметрия түрлері) бірімен немесе заттың берілген құрылымда кристалданған кезінде жаралуы мүмкін табиғи көпжақтылармен алдын ала анықталады.

Заттардың кристалдық күйінің сенімді белгілеріне балқу қисықтарының сипатынан басқа кристалл индивидтері физикалық қасиеттерінің анизотропиясы және рентген сәулесінің дифракциясы жатады. Дифракция поликристалды массаларға, соның ішінде ұнтаққа да қатысты байқалуы мүмкін.

Еске салайық, кристалл заттың құрылысын анықтайтындар:

1) кеңістікте электрстатикалық күштермен реттелген күйде ұсталып тұратын құрылымдық бірліктердің (атомдардың, иондардың, молекулалардың) салыстырмалы саны;

2) құрылымдық бірліктер өлшемдерінің қатынасы, онымен жайласу тығыздығы мен координациялық сан (яғни берілген катионды қоршап тұрған ең жақын аниондар саны) байланысты;

3) олардың химиялық байланыстары, бұл да атомдардың немесе иондардың құрылымдардың түрлі типтерін жасай отырып, кеңістікте орналасуында айтарлықтай рөл атқарады;

4) заттың болуына әкелетін термодинамикалық параметрлер (температура және қысым).

Кристалдарда құрылымдық бірліктер тепе-тең ұсталып тұратын байланыстар күші химиялық қосылыстардың түрлі типтерінде өздерінің табиғаты бойынша бірдей емес. Бейорганикалық кристалл заттардың басым көпшілігіне *иондық байланыс* тән, ол байланыстар күшін қарама-қарсы зарядталған иондардың электрстатикалық тартылысы туындататынымен сипатталады (мысалы NaCl кристалдық құрылымындағы Na^{1+} және Cl^{1-}). Кристалл заттардың көпшілігі үшін бағытталған *коваленттік* (гомополюстік) байланыс анықталады, ол тығыз жақындасқан атомдар орнықты сыртқы қабығын жасау үшін электрондардың бір немесе бірнеше жұбын бірге пайдалануында білінеді (мысалы, алмастың құрылымында әр атом өзін қоршаған төрт атоммен берік байланысып, төрт коваленттік байланыс жасайды). Металдардың кристалл құрылымдарында *металдық* байланыс таралған, ол бойынша атомдардың сыртқы электрондық қабығындағы «артық» электрондар жоғалып кетпей, құрылымдық бірліктердің оң

зарядталған тұғырдың төңірегінде жалпы «электрондық газ» жасайды. Молекулалық құрылымдарда электрлік бейтарап молекулалардан тұратын құрылымдық бірліктер нашар вандерваальс (қалдық) байланыспен ұсталады (көптеген органикалық қосылыстар, сондай-ақ сомтума күкірт, сүрме окисі және басқалар осындай). Сонымен қатар құрамында бір мезгілде байланыстардың түрлі типтері бар, бірақ олардың біреуі басымдау болатын кристалл заттар кездеседі. Минералдар құрылымдық бірліктері байланыстарының ерекшеліктерімен олардың көптеген қасиеттері байланысты (оптикалық, механикалық, электр өткізгіштік, жылу өткізгіштік және т.б.).

Иондық қосылыстарда аниондар біршама ірі құрылымдық бірліктер ретінде басты кеңістікті алады, ал кристалдық құрылымдарда және тығыз жайласқан кезде, әрине, кеңістікте кубтық (үш қабатты) немесе гексагондық (екі қабатты) ең тығыз жайласу заңы бойынша дұрыс орналасуға ұмтылады. Катиондар болса өздерінің өлшемдерінің кішкене болуына қарай аниондардың аралығындағы орындарға орналасады – тетраэдрлік және октаэдрлік «бос орындарда» олардың салыстырмалы өлшемдеріне байланысты. Белгілі болғандай, октаэдрлік кеңістіктер саны ең тығыз жайласқан орталарда аниондардың санына тең, ал өлшемдері бойынша кішілеу тетраэдрлік кеңістіктер саны екі есе артық. Бірақ осы кеңістіктердің барлығы да катиондарға толтырылмайды, мұнда толтыру түрлі тәсілдермен жүруі мүмкін: қатарлармен, қабаттармен, сақиналармен, ирелең тәрізді және т.б. тетраэдрлік және октаэдрлік кеңістік пішінімен елеулі шамада мынадай факт байланысты – катиондардың координациялық сандары көпшілігінде 4 және 6 болады.

Бейорганикалық қосылыстар үшін ең тығыз жайласу теориясын Н.В. Белов толық етіп әзірлеп, көптеген минералдардың күрделі кристалдық құрылымдарын танымдауға аса жемісті қолданған және кристалл заттардың белгілі бір қасиеттерін анықтайтын ең маңызды құрылымдық тетіктерін сипаттаған. Бірақ бір ескеретіні, катиондардың өлшемдеріне байланысты тығыздығы төмендеу жайласулар да болады (аниондары «ажыратылатын») және тығызға жатпайтындар да болуы мүмкін (мысалы, далашпаттар).

Заттың кристалдануы экзотермикалық процестерге жататыны белгілі, яғни жылу бөлу арқылы жүреді. А.Ф. Капустинский көрсеткендей, құрамында күшті полюстеуші немесе полюстенетін иондар жоқ кристалл заттар иондық қосылыстарының энергиясы құрылымдық бірліктер (иондар) саны және олардың тотығу дәрежесі көбейген сайын, сондай-ақ олардың өлшемдері (иондардың радиусы) кішірейген сайын артады. Кристалл заттың энергиясына ерігіштік, ұшпалық, балқу температурасы сияқты қасиеттері, белгілі бір дәрежеде қосылыстардың орнықтылығын сипаттайтын қаттылығы және басқа қасиеттері байланысты.

Полиморфизм және политипия. Полиморфизм (грек. *поли* – көп, *морфэ* – пішін, форма) берілген кристалл заттың сыртқы факторлар өзгерген кезде (негізінен температура) кристалдық құрылымының бір немесе бірнеше түрленуге, ал осыған байланысты физикалық қасиеттерінің өзгеріске

түскенін де айтады. Мұндай түрленулер полиморфтық өтулер деп аталады; олар қатты күйдегі фазалық өтулер болып табылады.

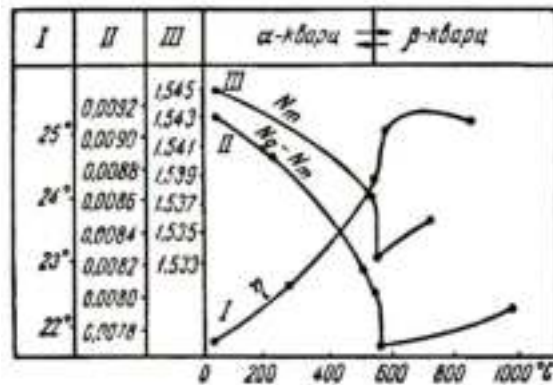
Осыған қатысты ең жарқын мысал ретінде табиғи көміртектің диморфизмін айтуға болады. Ол жағдайларға байланысты алмас түрінде (кубтық сингония) немесе графит түрінде (гексагондық сингония) кристалданады. Алмас пен графит құрамы бірдей болғанына қарамай, физикалық қасиеттері бойынша бір-бірінен өте күшті айрықшалаынады. Оттексіз қыздырған кезде алмастың кристалдық құрылымы атмосфералық қысым кезінде осы жағдайларда орнықтылау (тұрақтылау) графиттің құрылымына қайта түзіледі. Графиттің алмасқа қайта өтуі атмосфералық қысым кезінде анықталмайды. Алмасты графиттен алу үшін 25 Кбар шамасынан кем емес қысым қажет. Алмастың графитке жер беті жағдайларында өтуі энергетикалық жағынан мыналарға байланысты – алмас атмосфералық қысым кезінде барлық температура жағдайында орнықты (яғни тұрақты, энергетикалық тиімді) модификация болып табыла алмайды. Бірақ ол шамалы температура кезінде метатұрақты болып, шыныққан күйде сақтала алады. Оның графитке өтуі энергетикалық тиімді, бірақ төмен температура кезінде алмастың байланыстарын қиратуға үлкен энергияны белсенділендіру қажет болуы себепті бастала алмайды. Қыздыру осы энергияны қамтамасыз ететіндіктен, графиттің алмасқа өтуі жүре алады.

Айтарлықтай құрылымдық қайта түзілуді (бірінші текті өтулерді) қажет ететін көптеген полиморфтық өтулер үшін көбінесе түрленудің тежелуі байқалады. Бұл әсіресе температураның төмендеуі аясында жүретін өтулер үшін тән. Бірінші текті фазалық өтулердің тежелуі полиморфтық модификациялардың ауысымы кезінде ғана емес, тіпті заттың агрегаттық күйі өзгерген кезде – балқыманың қатайған кезінде де байқала алады. Аморфтық денелердің ұзақ сақталуы метатұрақты (шыққан) күйлер мысалдарының бірі болып табылады, мұнда жылдам суыну сұйыққа кристалдануға мұрша бермейді де ол шыны түрінде сақталады.

Кейде полиморфтық түрлену заттың кристалдық құрылымының өте шамалы өзгеруімен сүйемелденеді (екінші текті өтулер), сондықтан мұқият зерттеулерсіз минералдың физикалық қасиеттеріндегі қандай да бір айтарлықтай өзгерістерді байқай алмаймыз. Мысалы α -кварц деп аталатынның β -кварцқа өтуі және керісінше болуы осындай. Бірақ олардың оптикалық қасиеттерін зерделеу (*б-сурет*) өту нүктесінде (573°C шамасында) сыну мен қоссыну көрсеткіштері және оптикалық үйектегіш жазықтығының айналуы сияқты қасиеттерінің секіріс тәрізді өзгеруін бірімәнді көрсетеді. Екінші текті полиморфтық өтулер әдетте тежелуге ұшырамайды. Оған рет-ретсіз типті ұдайы өтулер деп аталатындар жатпайды, олар төменде изоморфизмді талқылағанда қарастырылады.

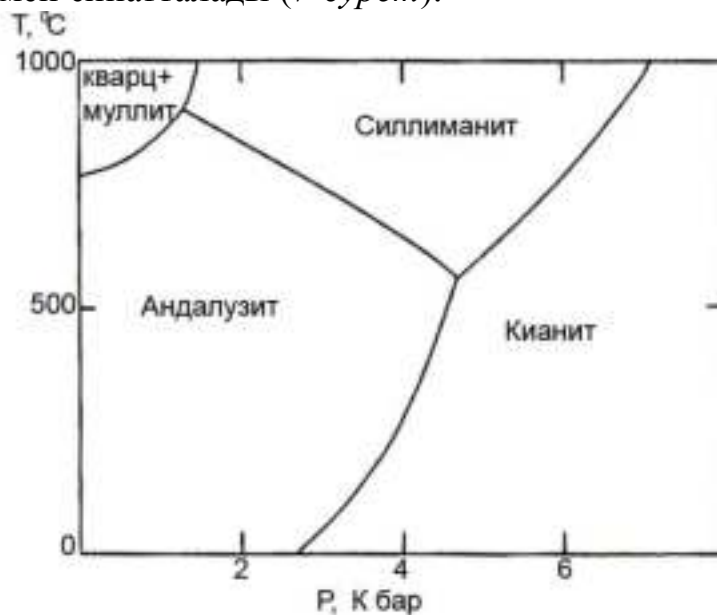
Берілген кристалл заттың қандай да бір белгілі физикалық-химиялық жағдайларда орнықты түрлестері оның *полиморфтық модификациялары* деп аталып, олардың әрқайсысы тек өзіне ғана тән кристалдық құрылымымен сипатталады. Мұндай полиморфтық модификациялар қандай да бір нақты затта екі, үш немесе одан да көп болуы мүмкін (мысалы, күкірттің алты

модификациясы анықталған, табиғатта олардың үшеуі ғана кездеседі; SiO₂ үшін – тоғыз модификация және т.с.). әр полиморфтық модификация термодинамикалық параметрлердің (негізінен P және T) белгілі бір мәндерінде ғана орнықты болады. Осы мәндерде ол басқа барлық мүмкін модификациялары арасында Гиббс еркін энергиясының (G – термодинамикалық потенциалының) минимал мәніне ие болады. Егер термодинамикалық параметрлер екі немесе одан да көп модификация еркін энергияның бірдей мәндеріне ие болатындай мәнге жетсе, онда мұндай жағдайлар кезінде екі немесе бірнеше модификация тепе-теңдікте болады.



6-сурет. Кварц қасиеттерінің өзгеруі: I – үйектелу жазықтығының айналуы; II – қосыну көрсеткіші; III – Nm сынуының көрсеткіші (D-спектр сызығы үшін)

Егер термодинамикалық параметрлер өзгерсе және екі модификацияның тепе-теңдігі сақталатындай мәндер арқылы өтсе, онда олардың бірі басқасымен алмасады – полиморфтық өту болады. Осылайша әр полиморфтық модификация күйдің P-T диаграммасында орнықтылықтың белгілі бір өрісімен сипатталады (7-сурет).



7-сурет. Al₂SiO₅ полиморфтары біркөпентті жүйе күйінің диаграммасында

Әр түрлі полиморфтық модификациялар әдетте минералдың атына грекше α, β, γ және басқа әріптерін жалғау арқылы белгіленеді (мысалы: α-

кварц, ол 573°C -тан төмен температура мәндеріне орнықты; β -кварц, ол 573°C -тан жоғары температураларда орнықты және т.с.). Модификациялар аталуының реті бойынша әдебиеттерде бірізділік жоқ: біреулер түрлі модификацияларды түрлену температурасының артуы немесе төмендеу реті бойынша α , β , ... әріптерімен белгілеуді ұстанса; басқалар белгілеулер ретін таралғандық дәрежесі немесе ашылу реті бойынша қолданады. Белгілеудің бірінші ретін ұтымдылау санаған дұрыс сияқты.

Полиморфизм құбылысы табиғи қосылыстар арасында аса кең таралған. Өкінішке орай, олар әлі жеткілікті зерделенбеген. Түрлі минералдардың полиморфтық модификациялары сыртқы факторлар өзгеруінің (температураның, қысымның және т.б.) әр түрлі диапазондарының өзінде орнықты бола алады. Біреулері температура мен қысымның аса елеулі ауытқуларында орнықтылықтың кең өрісіне ие болса (ильменит, графит), басқалары керісінше сыртқы факторлар өзгерісінің тар шегінде полиморфтық түрленулерге ұшырайды (мысалы, күкірт).

Кристалдық құрылымның қайта құрылуы кезінде температураның төмендеуі катионның жоғарылау координациялық санымен сипатталатын модификацияға әкеледі (мысалы, NH_4Cl мүсәтір үшін $T=184^{\circ}\text{C}$ кезінде 6-ның орнына 8). Бұл оның көлемінің кішіреюімен, яғни тығыздығының (меншікті салмағының) артуымен және осыған байланысты сыну көрсеткішінің өзгеруімен сүйемелденеді. Төмен температуралық модификациялардың симметриясы сол бір зат үшін әдетте жоғары температуралылықтармен салыстырғанда төмен. Қысымның төмендеуі керісінше координациялық санының төмендеуінде жағдай жасауы тиіс. Осыған байланысты түрлену температурасы да, соның ішінде көлемі ұлғайғанда балқитын заттардың зор көпшілігі үшін де балқу температурасы төмендеуімен анықталады (мұз, висмут пен сүрме бұл ережеге кірмейді).

Қысымның өсуі тығыздығы артатын полиморфтық өтуге әкеледі, осылайша координациялық сан артатын болады. Осыған қатысты қысымның әрекеті температураның төмендеу нәтижесіне ұқсас, дегенмен жоғары қысымдық модификациялардың симметриясы әдетте төмен емес, төмен қысымдықтар симметриясынан жоғары. Одан басқа, кейбір қосылыстар үшін ортаның химизмі үлкен мәнге ие, мәселен, сілтілі орталарда алюмототық ұстамды силикаттар жаралған кезде Al координациялық санының азаюына әкеледі (6-ден 4-ке дейін).

Химиялық қосылыстардың берілген типтері үшін (мысалы, карбонаттар) В.М. Гольдшмидт көрсеткендей, бір кристалдық құрылымнан екіншісіне өтуі *морфотропия* құбылысымен, яғни формасының түрленуімен байланысты. Морфотропия уақыт ағымында өтетін процесс емес, белгілі бір мәнді термодинамикалық параметрлер кезінде бір типті қосылыстар қатарында байқалатын заңдылық. Мысалы, $\text{Mg}[\text{CO}_3]$ карбонаттары қатарында (жақшада – катиондар радиусы):

$\text{Mg} [\text{CO}_3] (0,740) - \text{Zn} [\text{CO}_3] - \text{Ca}[\text{CO}_3] (1,04) - \text{Sr}[\text{CO}_3] (1,20) - \text{Ba}[\text{CO}_3] (1,33)$

Ca[CO₃]-ке дейін (құрамындағы катиондар өлшемі бойынша кіші) орналасқан карбонаттар тригондық сингонияда кристалданса, Ca[CO₃]-тен кейін (катиондарының өлшемі үлкен) ромбылық сингонияда кристалданатыны анықталады.

Сонымен, екі түрлі құрылымдық типтің орнықтылық шекарасын анықтайтын $\Gamma_K:\Gamma_A$ қатынасының сындарлық мәні орын алады. Ca[CO₃] қосылысының өзінде $\Gamma_K:\Gamma_A$ қатынасы мынадай; сыртқы факторларға байланысты немесе кальцит (тригондық сингониялы), немесе арагонит (ромбылық сингониялы) жарала алады. Кальцит арагонитпен салыстырғанда аздау меншікті салмаққа және аздау сыну көрсеткішіне ие. Басқаша айтқанда, морфотроптық түрлену шекарасында болатын кальций карбонаты диморфты болады. Шынында, қысым мен температураның шамалы өзгерулері катион мен анион радиустарының шамасына түрліше ықпал етеді, сондықтан кальций карбонаты туындайтын $\Gamma_K:\Gamma_A$ қатынасына сәйкес құрылымды қабылдайды. Полиморфизмнің морфотропиямен осындай айтарлықтай ұқсастығы В.М. Гольдшмидтке полиморфизмді *автоморфотропия* деп атауға мүмкіндік берді.

Егер кристалл заттың берілген модификациясы, мәселен α сыртқы жағдайлар (мысалы, температура) өзгерген кезде басқа – β -модификацияға өтуге, ал бұрынғы жағдайлар қайта орнағанда қайта α -модификацияға айналу қасиетіне ие делік, онда мұндай полиморфты түрленулер *энантиотропты* (грекше *энантиос* – карама-қарсы, *тропос* - өзгеру, түрлену) деп аталады. Мысал: ромбылық α -күкірттің моноклиндік β -күкіртке айналуы және керісінше. Егер де кері өту жүре алмайтын болса, онда мұндай түрлену түрі *монотропты* деген атауға ие. Осының мысалы ретінде ромбылық арагониттің (Ca[CO₃]) тригондық кальцитке айналуын (қыздырған кезде) айтуға болады. Осы өтудің қайтымсыздығы мынаған байланысты: жоғары қысымдық арагонит қалыпты қысым кезінде метатұрақты болады; қыздыру оның тұрақты модификацияға өтуіне әкеледі және температураны ары қарай өзгерту оны қайта арагонитке айналдыра алмайды. Бірақ егер өзгермелі параметрлердің қатарында температурадан басқа қысым да болса, онда арагонитке және кері өтулер жеңіл жүре алатын болады.

Табиғатқа көбінесе сол бірден физикалық-химиялық жағдайда екі модификацияның тіпті бір-бірімен қатар бір мезгілде жаралуы да байқалады (мысалы, пирит пен марказит, кальцит пен арагонит және т.б.). Модификациялардың бірінің тұрақтыға, яғни орнықтыға өтуі қандай да бір себептер әсерінен аялдап қалса, онда зат мұндай жағдайда аса салқындалатын сұйықтардың жаралуы сияқты *метатұрақты* күйде болады.

Термодинамикалық параметрлердің берілген мәндерінде метастабильді (метатұрақты) заттар уақыттың жеткілікті үлкен аралықтарында сақталып қана қоймайды, сондай-ақ әлі төмен энергетикалық тиімді фазалар есебінен пайда бола алатынын айтып өту керек. Бұл құбылыс метастабильді туындау және өсу деп аталады. Мәселен, кальцит карбонатының су ерітінділерінен 30⁰С-тан төмен температурада шөккен кезде алдымен метастабильді арагонит пайда болады да ол ары қарай кальцитке өтеді, ал кейде сақталып

калада алады. Осылай, кальций карбонатының парадокстік деп айтуға болатын мінезі Освальдтың баспалдақты өтулер ережесі бойынша жеңіл түсіндіріледі: модификацияның берілген жағдайлары кезінде ең төмен стабильдіден ең жоғары стабильдіге өтуі байланыс энергиясының шамасы бойынша аралық күйі арқылы біртіндеп жүреді. Су ерітінділерінің еріген компоненттерге қатысты аса қанығуы күшті бола алатыны сондай, кальций карбонатының бейстабильді болған еріген формасы байланыс энергиясы бойынша бейстабильді арагонитке қарағанда стабильді кальциттен ары тұратыны көрінеді. Мұндай жағдайда карбонаттың ерітіндіден қатты күйге өтуі аралық фаза – арагонит арқылы жүреді.

Айта кету керек, орнықты модификация орнықсызбен салыстырғанда мынадай қасиеттерге ие: 1) буының серпімділігі төмен; 2) ерігіштігі аз; 3) балқу температурасы жоғарылау. Және айтатыны, полиморфты өтулер өнімдері көлемінің өзгеруіне қарамай көбінесе бұрын болған модификация кристалдарының сыртқы пішінін сақтайды. Осындай орын алмасу өнімдері *параморфозалар* деп аталады. Олардың мысалына графиттің алмас бойынша параморфозасы болып табылатын октаэдрлік пішінді бөлінімдері жатады.

Полиморфизмге ұқсас құбылыстар қатарына құрамы бірдей заттардың құрылымдық түрлестерінің айрықша жағдайы жатады, ол *политипия* деп аталады. әр түрлі политиптік модификациялар бірдей қабаттар сияқты фрагменттерден тұратын құрылымды заттарға тән. Бұл фрагменттердің бірінің үстіне бірі түскен сипатты қабаттардың әр түрлі өзара бұрылулары немесе ығысуларына байланысты түрліше болуы мүмкін. Түрлі политиптер қабаттар жазықтығына перпендикуляр бағытта белгілі бір периодтылығымен сипатталады, олар көбінесе симметриясымен де ажыратылады. Политиптік модификациялар әдетте Рамсделл символдарымен белгіленеді. Бұл символдар алдында периодтағы қабаттар санын білдіретін цифрлар латын әріптерінен тұрады (Tk , M , O , Q , R , T , H және C : мұндағы Tk – триклиндік; M – моноклиндік; O – орто- немесе ромбылық; Q – тетрагондық; R – ромбоэдрлік; T – тригондық; H – гексагондық; C – кубтық симметриялы ячейкалар (ұяшықтар) модификациялар үшін). Әріптік белгіден кейінгі қатарға алты сандық индекс қойылуы мүмкін, егер белгілі қабаттылықты политиптік модификациялар арасында бірдей симметриялы бірнеше түрлестері болса. Қабаттардың толығымен реттелмеген тізбектілігі үшін D әріптік белгісі қолданылады (ағылшынша *disorder* – тәртіпсіздік).

Политипия кристалл заттардың ішінде кең таралған. Мәселен, сомтума күміс үшін табиғатта кәдімгі үш қабатты $3C$ кубтық модификациясынан басқа екі және үш қабатты $2H$ пен $4H$ гексагондық сингониясы белгілі; лепидолиттің $2M_1$ және $2M_2$ деп белгіленетін екі қосқабатты моноклиндік модификациясы кездесуі мүмкін. Лабораториялық синтез көрсеткендей, политиптерге мырыш сульфиді ZnS (150-ден асады) және кремний карбиді SiC (128) айрықша бай. SiC синтетикалық политиптері арасында $594R$ модификациясы бар, бұл модификацияның C осі бойынша ұяшық параметрі 1500Å (150 нм) шамасында болады. SiC политиптерінен табиғатта екеуі белгілі: $3C$ және $2H$. Мырыш сульфиді ZnS табиғатта үш политиптік

модификация түрінде кездеседі: $3C$ – сфалерит және вюрциттер $2H$ пен $15R$. Политипия табиғи қосылыстардан сондай-ақ хлориттерге (8 политип), хегбомитке (7 политип), слюдаларға (19 политип), кадмий сульфиді мен молибденитке (екі политиптен) тән.

Бір заттың түрлі политиптері бірдей қабаттардан тұрғызылғандықтан, олардағы атомдардың координациялық саны бірдей болады да бұл жағдай әр түрлі политиптер арасында байланыс энергиясы бойынша әдетте мардымсыз айырмашылыққа әкеледі. Түрлі политиптердің энергиясы бойынша осындай жақындығына байланысты олар үшін, аз ғана айырмашылықты қоспағанда, $P-T$ диаграммаларында орнықтылықтың дербес өрістері болу мүмкін емес. Мұнан шығатыны, бірдей жағдайларда бірнеше политиптік модификациялар бірге жаралуы мүмкін. Осылайша, полиморфизмнен айырмашылығы оның кәдімгі білінімдерінде температура мен қысымның вариациясы түрлі политиптік модификациялардың орнықтылығын анықтайтын басты факторлар ретінде таныла алмайды. Қандай да бір политиптердің жаралу себептері әзірше соңына дейін анықталмаған күйде қалуда. Оған микроқоспалар және кристалдар өсуінің динамикалық ерекшеліктері ықпал етеді деп саналады. Политиптік модификациялардың басты термодинамикалық параметрлердің өзгеруіне қатынасы бойынша мұндай индифферентизмі политиптерді орнықтылық өрістері толық анықталған басқа полиморфтардан оқшаулап қарастыруды талап етеді. Политиптік заттардың көпшілігі үшін кубтық модификациялар ғана ең жоғары симметриялы болғандықтан, максимал температураларға бой ұрып, барлық басқа политиптерді ауыстырады. Сондықтан олардың стабильді орын алатын алқабын төмен температура жағынан анық шектеу қиын болса да көрсету мүмкін.

Кристалдық құрылымдардың қирау құбылыстары. Минералдар кристалдық құрылымдарының ең басты ерекшеліктеріне оларды құрайтын құрылымдық бірліктердің заңдылық бойынша орналасуы және қатал теңестірілген күйі саналады. Дегенмен, құрылымдық бірліктердің ішкі байланыстары ауытқып кететін жағдайларды туындатқан кезде, кеңістіктік құрылымы реттелген кристалл заттан кристалдық құрылымға ие болмайтын аморфтық массаны аламыз.

Осыған қатысты тамаша мысалға брусит минералының түрлесі ферробрусит $(Mg,Fe)[OH]_2$ жатады, оның құрамына изоморфтық қоспа түрінде 36 % (салмағы бойынша) шамасына дейін темір закисі кіреді. Бұл минерал әлі шахталардың терең горизонттарынан алынғандағыдай өзгермеген күйде түссіз, мөлдір және жылтырлығы шыныдай болады. Оның кристалшалары бірнеше күн ішінде ауада біртіндеп өзінің түсін өзгертеді: сыртқы кристалл пішінін сақтай отырып алдымен алтын-жасылға, содан кейін қошқылға, ал ақыр соңында беймөлдір күңгірт-қоңырға айналады (құрамында темір жоқ брусит осындай жағдайларда жеткілікті орнықты болады).

Химиялық талдау көрсеткендей, екі валентті темірдің барлығы дерлік мұндай кезде үш валенттіге өтеді (яғни тотығу жүреді), ал рентгенметрлік

зерттеу кристалдық құрылым белгілерін анықтай алмайды. Темірдің тотығуы кристалдық құрылымдағы ішкі байланысты бүлдіріп, зат құрылысының бұзылуына әкелетіні көрінеді.

Ферробруситпен тотығу жағдайында бөлме температурасы мен атмосфералық қысым кезінде болатын нәрсе басқа минералдар үшін, бірқатар жағдайларда анықталғандай, жоғарылау температура мен қысым кезінде ғана орын алады.

Аса қызық құбылыстар құрамында сирекжер және радиобелсенді элементтер бар минералдарда (ортит, фергюсонит, эшинит және басқа) зерделенген. Оларда сондай-ақ өте жиі, бірақ барлық жағдайда емес, кристалл заттың аморфтыға айналуы анықталады. Оны радиобелсенді ыдыраған кездегі α -сәуленің әрекетіне байланысты деп жорамалдайды. Осы өзгерген шыны тәрізді минералдар кубтық сингонияға жатпайды, оптикалық изотропты және рентген сәулесімен дифракциясы байқалмайды, яғни аморфтық денелер сияқты болады. Мұнда заттың жартылай гидратациясы жүреді. Бреггер мұндай денелерді *метамиктілі* деп аталған.

В.М. Гольдшмидт бойынша аморфтық күйге жету үшін мұндай жағдайларда минералдың жалғыз радиобелсенділігі жеткіліксіз, сондай-ақ келесі екі шарттың болуы қажет:

1) бастапқыда пайда болатын кристалл зат қайта топтасуға немесе гидролизге әкелетін шамалы елеулі иондық құрылымға ие болуы тиіс; мұндай тор негізінен нашар негіздердің нашар ангидридтермен қосылысы кезінде жаралады;

2) құрылымның құрамында жеңіл зарядталуға (мысалы, сирекжерлердің ионы) немесе тіпті бейтарап атомдарға айналуға (мысалы, флюоритте сырт жақтан радиобелсенді сәулелену ықпалынан атомдық фтордың жаралуы) қабілетті иондардың бір немесе бірнеше сорты болуы тиіс.

Ыдырау процесінің өзін В.М. Гольдшмидт заттың қайта топтасуы ретінде қарастырады. Мысалы, $YNbO_4$ қосылысы окиселдердің майда дисперсиялы қоспасына (қатты жалған ерітіндіге) айналады: Y_2O_3 және Nb_2O_5 . Осындай тұрғыдан қарапайым қосылыстардың аморфтық затқа неге айналмайтыны түсінікті болады, мәселен ThO_2 (торианит) немесе нашар негізді күшті қышқыл тұздарының, мысалы $(Ce, La, \dots)PO_4$ (моноциттің).

Кристалл орталардың ыдырау құбылыстарын қуаттауға аморфтық немесе коллоид массалардың жаралуын көрсететін бірқатар басқа осындай мысалдарды келтіруге болады. Бірақ бұл жаралымдарды заттың орнықты жаралу формасы болады деп ойламау керек. Заттың өзгермелі жағдайлар кезінде орнықты жаңа кристалл денелерді жасап, туынды ретінде қайта топтасуының көптеген мысалдары белгілі. Мәселен, микроскоптық зерделеу кезінде екі минерал қоспасынан: гематит (Fe_2O_3) пен рутилден (TiO_2) тұратыны анықталған «ильменит кристалдары» ($Fe^{2+}TiO_3$) белгілі. Көрініп тұрғандай, ильменит жаралған сәттен соң минерал өмірінің қандай да бір кезеңінде оттектің өзгерген режимі ықпалынан күрт тотығу жағдайлары орнаған. Ол Fe^{2+} -нің Fe^{3+} -ке өтуіне, сонымен бір мезгілде кристалдық

құрылымның ыдырауына, ал содан кейін орнықты минералдар қоспасы жарала отырып, заттың біртіндеп қайта топтасуына әкелген. Дәл осылайша, мысалы, тиллиттің ($PbSnS_2$), галениттің (PbS) және касситериттің (SnO_2) орнында бір-біріне тығыз кіріккен жаралымдары байқалған. Бірақ агрегаттың тиллитке тән жұрнақ (яғни бұрынғы) қалақ-түйірлі құрылысы сақталады. Берілген ортада қандай да бір сәттіте оттегі концентрациясының артуына байланысты қалайы оттегімен үлкен ұқсастықта болуынан, бастапқы гомогендік минерал массасынан оксид түрінде оқшауланса, ал қорғасынның дербес күкіртті қосылыс формасына өткені көрінеді.

Метамиктілі күйде болатын минералдар метастабильді фазалар ретінде орнықты модификациямен салыстырғанда потенциалдық энергияның біршама қорына ие болады. Осы энергия бөліну сынықтарымен соқтығысқан кезде орын алған тепе-теңдік жағдайлардағы атомдардың ығысуымен байланысты. Төмен температура кезінде атомдардың жылу қозғалысының амплитудасы оларды метамиктілі ыдырау басталғанға дейінгі құрылымға тән болған жағдайларына қайтаруға жеткіліксіз. Метамиктілі минералдарды қыздыру көбінесе оларды бастапқы кристалдық күйіне қайта келтіре отырып метастабильді күйінен шығаруға мүмкіндік береді. Көбінесе құрылымдарды қайта қалпына келтіру өте қысқа уақытта жүреді. Мұнда балқу жылуына сай келетін жылуда бөлінетін энергияның артықтығы минералдың жоғары температураға дейін лезде дерлік өз бетінше қызынуына әкеледі. Қызыну шытынау мен және қарқынды сәулеленумен (*рекалесценция* деп аталатын) сүйемелденеді.

2.2. Минералдардың химиялық құрамы және формуласы

Жоғарыда ескертіп өткендей, табиғатта кездесетін минералдардың басым көпшілігі химиялық қосылыстардан тұрады. Солардың арасында ажыратылатындар: а) құрамы тұрақты қосылыстар (дальтонидтер) және б) құрамы тұрақсыз қосылыстар.

Құрамы тұрақты қосылыстар. Құрамы тұрақты химиялық қосылыстардың барлығы еселік қатынастар заңына (Дальтон заңы) және берілген қосылыстар компоненттерінің қатынасын олардың қосылыстардың басқа типтеріндегі қатынастарымен байланыстыратын валенттік пайлар заңына қатал бағынатыны белгілі. Бұл заңдар Д.И. Менделеевтің элементтер периодтық жүйесіне, кристаллохимия заңдарына және кристалл орталардағы симметрия туралы ілімге толық сәйкес келеді.

Бұл қосылыстарға балқығыштық, ерігіштік, электрөткізгіштік, қаттылық, тығыздық, сыну көрсеткіштері және басқалар физикалық-химиялық диаграммаларында айқын көрінетін бірқатар айрықша физикалық қасиеттерімен айрықшалану тән.

Айта кету қажет, нақты минералдар өздерінің химизміне қатысты іс жүзінде тұрақты құрамды қосылыстар ретінде ешқашан қарастырыла алмайды. Өйткені олардың құрамында индивидтен индивидке қарай өзгеретін қандай да бір қоспалар мөлшері болады (минерал индивидтерін тек

бірінші қарағанда ғана химиялық біркелкі деп есептеуге болады). Істің мұндай жағдайда болу себебі, біріншіден, табиғи минералжасаушы жүйелер сапасының бірінде, ол В.И. Вернадскийдің «химиялық элементтердің баршалығы» заңымен анықталады. Екінші себебіне кристалдық құрылымда таза затпен салыстырғанда қоспалар болуының төтенше энергетикалық тиімділігі жатады. Өйткені қоспаның аз мөлшерін (механикалық емес, атомдық формада) қосудың өзі қосылыстың таза зат үшін осы параметрдің нөлдік мәнімен салыстырғанда *конфигурациялық энтропия* деп аталатын көрсеткішінің күрт артуына әкеледі. Ол кристалдық құрылымға температура артқан сайын көп тұрақтандырушы ықпал жасайды. Құрылымға бөгде бөлшектерді кез-келген енгізу, әрине, кернеу туындатып, оны тұрақсыздандыруға ұмтылады. Бірақ қоспаның аз мөлшері үшін энтропиялық оң әсер қоспаны «ұстап тұруға» кететін шығыннан әрдайым асып кетеді. Сондықтан, бірде бір табиғи қосылыс айрықша себепсіз құрылымда бөгде атомдардың ең болмаса аз мөлшері болуынан «бас тарта» алмайды, тіпті минералжасаушы жүйенің құрамы ең қолайлы қоспа атомдардың кең таңдауын қамтамасыз еткенінің өзінде.

Табиғи дистилляцияның айрықша жағдайларында қалыптасқан минералдардың жекелеген индивидтері ғана тұрақты құрамды қосылыстарға жақындайды. Осыған қарамай мінсіздік жағынан көптеген минералдарды шартты түрде тұрақты құрамды қосылыстар ретінде қарастырған пайдалы. Нақты құрамнан осылай абстракциялау *минералдық түр* ұғымын пайдалануға және белгілі бір минералдық түрге жататын минерал индивидтерін олардың орнықты ерекшеліктерін көрсететін, ал жалпы айтқанда тұрақсыз құрамды бірдей әрі біршама қарапайым химиялық формуламен сипаттауға мүмкіндік береді.

Бинарлық химиялық қосылыстар қатарына жататындар: қарапайым оксидтер (Cu_2O , MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 және басқалар), сульфидтер (NiS , FeS_2 , Sb_2S_3 және басқалар), галогенидтер (NaCl , AgBr , CaF_2 және басқалар) және т.б. Үш элемент атомдарынан тұратын қосылыстар тернарлық деп аталады, оларға түрлі оттекті тұздар жатады: $\text{Ca}[\text{CO}_3]$, $\text{Ca}[\text{SO}_4]$, $\text{Y}[\text{PO}_4]$, $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ және басқалар. Әрине, құрамы күрделілеу қосылыстар да бар.

Минералдардың (химиялық қосылыстардың) химиялық құрамы екі тәсілмен бейнелене алады: 1) эмпирикалық формулалар түрінде; 2) конституциялық немесе құрылымдық формулалар түрінде.

Эмпирикалық формуламен минералдардың құрамын қосылысқа кіретін элементтердің символы түрінде ең төмен валентті катиондардан бастап және ең төмен валентті аниондармен аяқтау арқылы көрсетеді (мысалы, $\text{Ba}[\text{SO}_4]$, $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$, $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ және т.б.), немесе қосылыстардың қарапайым құрамдастарының қатары түрінде бейнелейді ($\text{BaO} \cdot \text{SO}_3$, $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ және т.б.). Формулалардың соңғы келтірілген түрі химиялық қосылыстардың табиғаты туралы қазіргі түсініктерге сай келмегенімен, бірақ минералдардың құрамын оңай есте сақтауға және олардың қатысуымен жүретін реакциялардың теңдеуін ыңғайлы формада жазуға мүмкіндік жасайды.

Құрамы күрделілеу қосылыстардың формуласын бейнелеуге айтарлықтай түзетулерді минералдарды рентгенқұрылымдық зерделеуге негізделетін кристалхимияның деректері енгізеді. Бейорганикалық кристалл заттардың көпшілігі құрылымдық бірліктерінің иондық байланысымен сипатталатындықтан, химиялық қосылыстардың күрделі формуласында кристалдық құрылымдардың әр түрлі типінде анықталатын осы құрылымдық элементтерді (катиондар мен аниондар комплекстерін) көрсету маңызды. Аниондық комплекстер әдетте катиондардан квадрат жақшалармен бөлінсе, ал гидроксил тобы – дөңгелек жақшалармен бөлінеді: мысалы $\text{Ca}[\text{CO}_3]$, $\text{Ba}[\text{SO}_4]$, $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ және т.с. Көбінесе мұндай формулаларда қосымша аниондық комплекстердің топологиясы көрсетіледі. Ол үшін жақшалардан кейін жоғарғы индекс түрінде бірнеше ∞ белгісі орналасады, олардың саны аниондық топтама созылатын өлшеулер санына сәйкес келеді. Мәселен, пироксендер тобындағы минерал – диопсид құрылымындағы тізбекті (бір өлшемді) кремнийоттек радикалының болуы оның формуласында былайша беріледі: $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]^\infty$. Тальктің құрылымында қабатты (екі өлшемді) радикалдардың болуы оның формуласында былай көрсетіледі: $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{\infty\infty}(\text{OH})_2$.

Көп жағдайларда осындай кристалхимиялық формулалар бойынша біз қосылыстардың қандай да бір физикалық қасиеттері туралы күні бұрын біле аламыз. Мысалы, оптикалық қасиеттері (атап айтқанда, қосыну) көбінесе анион комплексінің формасы мен оның бағдарлануына байланысты болады. Кристалдық құрылымда параллель бағдарланған жалпақ пішінді $[\text{CO}_3]^{2-}$ немесе $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ аниондарының болуы жоғары қосынуын (теріс оптикалық белгісі кезінде күшті білінетін оптикалық анизотропиясын) анықтайды. Егер де анион кеңістікте біршама біркелкі дамыған изометрлі пішінді $[\text{SO}_4]^{2-}$ тобынан немесе $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^{1-}$ қаңқасынан тұрса, онда мұндай минералдар әдетте төмен қосынуға ие болады. Комплексті иондардың пішіні көбінесе кристалдардың кейпінде де көрініс табады: екі бағытта ұдайы созылған анион парақтарымен сипатталатын слюдалар көбінесе кристалдарының қалақша пішіндерімен сипатталады, ал аниондары бір бағытта ұдайы созылған тізбектерден тұратын пироксендердің кристалдары призмалық кейіпке ие болады және т.с.

Табиғатта бинарлық пен тернарлық химиялық қосылыстармен қатар күрделілеу қосылыстар да таралған, мысалы қос тұздар. Қос тұздар деп құрамында еселік қатынаста екі қарапайым тұз болатын тұрақты құрамды осындай қосылыстарды айтады. Көпшілік жағдайда бұл тұздар катиондары бойынша, кейде аниондары бойынша немесе катиондары және аниондары бойынша да қосарланған болады. Олардың мысалы ретінде мыналарды келтіруге болады: $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$, $\text{K}_3\text{Na}[\text{SO}_4]_2$ және т.б.

Қос тұздардың формулаларын салыстырған кезде, олардың құрамына кіретін катиондар өздерінің иондық радиустары айтарлықтай айырмашылығына байланысты бір-бірін изоморфты алмастыра алмайтыны байқалады: Ca^{2+} (1,04 Å) және Mg^{2+} (0,74 Å), K^{1+} (1,33 Å) және Na^{1+} (0,98 Å) және т.б. Сондықтан қос тұздар өздерін құрайтын қарапайым тұздардан

кристалдық құрылымдарының және физикалық қасиеттерінің бірқатар ерекшеліктерімен айрықшаланатыны таңданарлық емес.

Тұрақсыз құрамды қосылыстар (қатты ерітінділер, аралас кристалдар, изоморфты қоспалар. Әдетте лабораторияларда таза бастапқы компоненттерді пайдаланып алынатын тұрақты құрамды химиялық қосылыстармен қатар құрамы тұрақты болмай, кейде тар немесе кейде кең ауқымда ауытқитын осындай қосылыстардың өте көп түрі жаралады. Ал олардың құрамының ауытқуы бөтен заттардың қандай да бір механикалық қоспаларының болуымен ғана түсіндіріле алмайды. Керісінше, қосылыстардың өзгермелі құрамы кристалхимиялық көзқарастан осы қосылыстағы құрамдас компоненттердің ерігіштігімен түсіндіріле алады. Осындай химиялық жаралымдар тұрақсыз құрамды қосылыстар деген атау алды.

Минералдар арасында тұрақсыз құрамды қосылыстар көпшілігін құрайды. Тұрақсыз құрамды заттардың (фазалардың) жаралуы толығымен табиғи сияқты, егер әңгіме құрамы еріген зат пен еріткіш мөлшерінің қатынасымен анықталатын сұйық ерітінділер туралы болса. Осылайша, ерітіндінің құрамы таза еріткіштен қаныққан ерітіндіге дейінгі ауқымда ауытқиды. Ол температура мен қысымға тәуелді ауқымдағы мүмкін құрамдардың ұдайы көпшесінің кез-келгені бола алады. Әр түрлі құрамды кристалл заттардың құрамы бойынша үнемі өзгермелі бірдей кристалдық құрылымды қосылыстар жасауға қабілеті *изоморфизмге*, яғни әр түрлі элементтер атомдарының қатты химиялық қосылыстарда бірін бірі алмастыру қасиетіне негізделген.

Изоморфизм түсінігі түрлі элементтер атомдарына да, таза заттар кристалдарына да қолданылады. Атомдар кристалдар құрылымында бір типті позицияларда статистикалық орналасып, бірдей кристалхимиялық функция атқаруға қабілетті болады. Таза заттар кристалдары құрамы бойынша кез-келген аралық қосылыстарды – оларды құрайтын атомдардың изоморфизміне байланысты *қатты ерітінділерді* жасай алады. Изоморфизм, морфотропия сияқты, қосылыс тұрақсыз құрамды және алмасу реакциясының немесе қатты күйде еру өнімі ретінде хаттау ыңғайлы болғанымен процесс немесе алмасу реакциясы ретінде қабылданбауы тиіс. Шын мәнінде қатты ерітінділер табиғатта басым көпшілік жағдайларында берілген жағдайлар кезінде изоморфтық қоспалардың мейлінше жеткілікті мөлшерінде бірден жасалады. Ал ары қарайғы процестер температураның төмендеу аясында ерітіндінің ыдырау және қоспалардан құтылу жағына қарай ғана жүруі мүмкін. Оларға прогрессивтік метаморфизм кезіндегі температураның арту жағдайларында болатын минералдар жатпайды.

Термодинамикалық параметрлердің бекітілген мәндерінде бола алатын ықтимал құрамды қатты ерітінділер алқабы таза компоненттер құрамдарымен бірге изоморфтық қатар деп аталатынды жасайды. Таза компоненттерді жасайтын изоморфты қатарлардың шеткі мүшелері жағынан болатын құрамдар алқабы әрдайым үзіліссіз сипатқа ие, ал аралық құрамдар алқаптарында араласпайтын алқап байқалуы мүмкін. Мұндай жағдайларда

қатты ерітінділер қатарында араласқыштықтың ажырауы орын алатындығын айтады. Араласпайтын алқап жоқ болған кезде изоморфизмді *жетілген* деп атаса, керісінше болған жағдайда әңгіме шектелген араласқыштық туралы жүреді де бұл типті изоморфизм *жетілмеген* деп аталады.

Физикалық химияда компоненттердің араласқыштық дәрежелі сыртқы факторларға, негізінен температураға тәуелді екені баяғыда анықталған болатын: жоғары температура жағдайында компоненттердің изоморфтық алмасуы төмен температурадағымен салыстырғанда әлдеқайда кең ауқымда жүреді. Бұдан шығатыны, температура жоғарылаған кезде изоморфизм кейбір қатарларда жетілмегендіктен жетілгенге айнала алады. Дегенмен кейбір компоненттер қатты күйде өте төмен араласқыштықта болатыны сондай, температураның көтерілуі мұндай жүйелерде аса шектеулі, жетілмеген изоморфизмді жетілген ете алмайды – бір немесе екі таза компонент балқиды немесе араласқыштықтың айырылуы жоғалғанға дейін әлдеқайда бұрын ыдырайды.

Минералогияда изоморфизмнің термодинамикалық жағдайларға тәуелділігіне алғаш В.И. Вернадский 1910 жылы назар аударған. Ол химиялық элементтердің тереңдік магмалық жаралымдар алқабы үшін (жоғары Р және Т) литосферадағы метаморфтық таужыныстар алқабымен (жоғары Р және орташа Т) және мору алқабымен (төмен Р және Т) салыстырғанда кеңдеу изоморфтық қатарлары болатынын көрсеткен.

Қазіргі кезде изоморфизм туралы ұғым кристаллхимияның жетістіктері негізінде өте кеңейді. Изоморфизм құбылысы оның көп салалығын анықтайтын өзара байланысты бірнеше жақтарға ие.

Біріншіден, изоморфизмді құрылымдық күйі жағынан изоморфтық қатардың шеткі мүшелерінен қарастыруға болады. Изоморфизм құбылысы ашылғаннан кейінгі уақыт кезіндегі ұғым бойынша изоморфтық араласқыштықты кең ауқымда жүргізу үшін таза компоненттердің изокұрылымдығы қажет, яғни изоморфтық қатарлардың шеткі мүшелері жақын құрылымдарға ие болуы – бір құрылымдық типке жатуы тиіс. Мұндай талап грекше пішіндердің теңдігі дегенді білдіретін *изоморфизм* терминінің өзінде көрініс табады. Кейін изоморфтық араласқыштық әр түрлі құрылымдық типті заттар арасында да байқалуы мүмкін екендігі анықталған. Мұндай құбылыс *изодиморфизм* деген атауға ие болған. Изодиморфизмді жүйенің мысалына кубтық Jr-ден гексагондық Os-ге дейінгі үзіліссіз қатар жатады. Морфотроптық өту ретінде қарастыруға болатын қатты ерітінді құрылымдық типінің ауысымы шамамен (Jr_{0,75}Os_{0,25}) құрам кезінде «секіріспен» іске асады.

Изоморфты алмасу сипатындағы ары қарайғы айырмашылықтар изоморфтық қатардың шеткі мүшелері атомдарының (немесе басқа құрылымдық бірліктерінің) жалпы санын талдаған кезде және қатты ерітіндіде байқалуы мүмкін.

Ең қарапайымға және түйсіктік айқынға «атомды атомға» немесе «молекуланы молекулаға» (анион бөлігі бойынша изоморфизм жағдайында «радикалды радикалға») алмасу типі жатады. Мұндай алмасу жүйедегі

атомдар (молекулалар) санының сақталуымен жүреді, ал изоморфизм кезінде электрбейтараптылық сақталуы тиіс болатындықтан, бұл валенттіліктердің, дәлірек айтқанда бірін бірі алмастыратын құрылымдық бірліктер зарядының теңдігін талап етеді. Кристалдық құрылымда валенттілігі бірдей иондардың алмасуымен сипатталатын *изовалентті изоморфизм* егер өзара алмасатын иондардың қасиеттері мен өлшемдері бір-біріне жақын болған жағдайларда кең білінеді (ион радиустарының айырмашылығы Гольдшмидт ережесіне сәйкес кіші радиустан 15 % шамасынан аспаса). Мысалы, осындай: екі валентті катиондар (жақшада ион радиустарының өлшемі көрсетілген) Mg^{2+} (0,74), Fe^{2+} (0,80), Ni^{2+} (0,74), Zn^{2+} (0,83), Mn^{2+} (0,91) және басқалар; үш валентті катиондар Fe^{3+} (0,64), Cr^{3+} (0,64), Al^{3+} (0,57) және басқалар. Дәл осы жағдай кристалл заттардың құрылысына кіретін аниондарға да қатысты: S^{2-} (1,82), Se^{2-} (1,93) және басқалар. Жетілген изоморфизмімен сипатталатын қарапайым қосылыстардан мынадай қатарларды келтіреміз: $MgCO_3 - FeCO_3$, $CuS - CuSe$ және басқалар.

Гетеровалентті изоморфизм кристалдық құрылымдарда бір ионның шамамен басқа валентті, бірақ бірдей өлшемді иондардың алмасуымен айрықшалаынады. Ол берілген заттың кристалдық құрылысына қатысатын, бірақ өзінің өлшемдері бойынша алдыңғылардан айтарлықтай айрықшаланатын иондардың кез-келген басқа жұбындағы зарядтардың өтемеленуі жағдайында жүреді. Мысалы, плагиоклаздар қатарындағы белгілі изоморфизм осындай: $Na[AlSi_3O_8] - Ca[Al_2Si_2O_8]$. Мұнда Na^{1+} (0,98) ионының валенттілігі бойынша үлкен Ca^{2+} (1,04) ионымен алмасуы Si^{4+} (0,39) ионының бірінің валенттілігі бойынша кіші Al^{3+} (0,57) ионымен бір уақытта алмасуымен сүйемелденеді. Плагиоклаздарда гетеровалентті изоморфизм мынадай сұлбамен хатталады: $Ca^{2+} Al^{3+} \rightarrow Na^{1+} Si^{4+}$. Кейбір рутилдерде (TiO_2) Nb^{5+} немесе Ta^{5+} мен Fe^{3+} қоспаларының тиісінше ильменрутил немесе стрюверит бір мезгілде болуы байқалады, оларда гетеровалентті алмасу мынадай сұлба бойынша жүреді: $Me^{5+} Fe^{3+} \rightarrow 2Ti^{4+}$. Осылайша қосылыстың жалпы электрстатикалық балансы сақталады. Сипатталған гетеровалентті изоморфизм жағдайлары сондай-ақ жүйеде атомдар саны сақталатын изоморфизмге де қатысты.

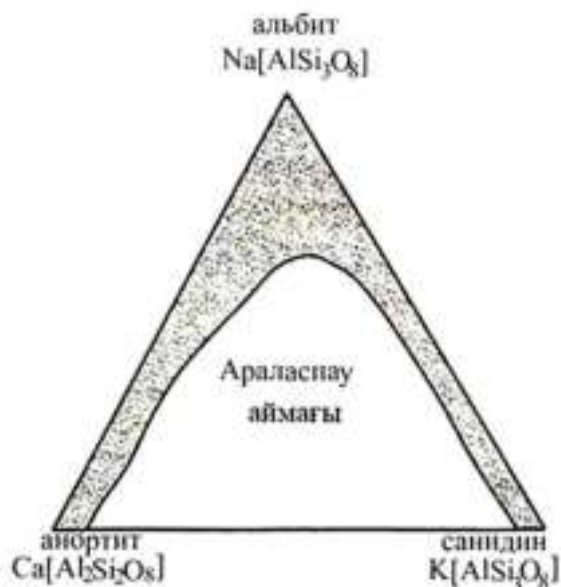
Гетеровалентті изоморфизмде зарядты өтемелеуден басқа шешуші рөлді бірін бірі алмастыратын құрылымдық бірліктердің – катиондардың немесе аниондардың өлшемдері де атқарады (олар біршама бірдей өлшемді болуы тиіс).

Бірақ құрылымдық бірліктердің саны алмасу кезінде сақталуы міндет емес. Мысалы, слюдаларда үш екі валентті Mg катионының орнына (алтылық координацияда) екі үш валентті Al катионы орналаса алады (3Mg алмасады 2Al-ге). Үшінші орын бос қалады. Осындай алмасулар сұлбасына *вакансия* деп аталатын бос позицияның символы - □ енгізіледі. Слюдалардағы сипатталған алмасу үшін изоморфизм сұлбасы мынадай: $\square 2Al^{3+} \rightarrow 3Mg^{2+}$.

Егер осындай изоморфты алмасудағы слюдаларды қатардың магнийлі мүшелерінен алюмототықтыларға қарайғы бағытта қарастырсақ, біз атомдардың жалпы санының азаятынын көреміз. Мұндай изоморфизм *шегеру*

изоморфизмі немесе *ақаулы изоморфизм* деп аталады. Басқа жағынан осы қатардағы слюдаларда кері бағытта да қарастыруға болады. Онда әңгіме *толтыру* (немесе енгізу) *изоморфизмі* туралы жүретін болады, өйткені мұндай жағдайда біз вакансияларды (бос орындарды) Mg^{2+} катиондарымен барынша көп дәрежеде толтыратын құрылымдарға өтетін боламыз. Әрине, вакансиялардың қатысуымен жүретін изоморфизм изоморфтық қатарды қарастыру тәсіліне байланысты шегеру немесе толтыру сипатына ие болатыны анық. Мұнда анықтық тек егер осындай қатты ерітіндінің шеткі мүшелерінің бірі таза түрде тіпті жоқ болған кезде пайда болуы мүмкін. Мұндай жағдайда біз ақаулы (немесе толтырылған) құрылым туралы, құрамы бойынша таза шеткі мүшесінің стехиометрикалық құрамнан қол жетпейтін (гипотезалық) қосылыс бағытында ауытқитын, бір химиялық модификация ретінде айтуға мәжбүр боламыз. Екі шеткі мүшесі бар, изоморфтық араласқыштығы кез-келген типті жүйелердің көпшілігі үшін, әсіресе жетілген изоморфизм кезінде изоморфтық алмасулар сұлбасында бір жақтылығының орнына екі жақты нұсқарды қолдануға болады.

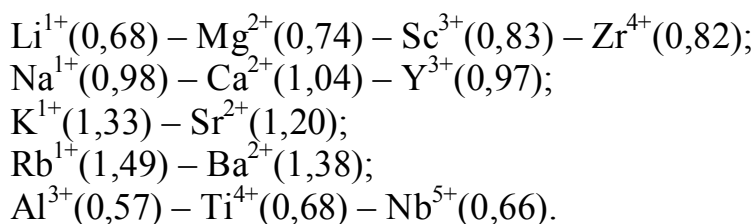
Жоғарыда айтылғаннан изоморфты алмасулы жүйелер екі компоненттілерден де көп бола алатыны айқын. Мұндай жүйелер жағдайында әңгіме қатарлар туралы емес, изоморфты араласқыштықтың алаңдары және тұтас алқаптары туралы болады. Бұл жағдай мысалы, далашпаттар үшін (*8-сурет*) жоғары температурада тән, мұнда араласуға плагиоклаздар мен калийлі шпаттар ұшырайды.



8-сурет. Жоғары температуралық далашпаттардың қатты ерітінділері құрамының алаңы (краппен көрсетілген)

Біз білетіндей, элементтердің периодтық жүйесіндегі тік топтарда иондардың радиусы реттік нөмірі және көлбеу бағытта топтың нөмірі (яғни валенттілігі өскенде артқан сайын ұлғаяды. Осы негізде А.Е. Ферсман изоморфты иондардың *диагональ қатарлар заңын* шығарған, ол элементтер периодтық жүйесінің сол жағы үшін дұрыс келеді. Иондар изоморфизмінің

мынадай гетеровалентті қатарлары байқалады (жақшада иондардың радиусы ангстреммен берілген):



Шынында табиғи қосылыстарда, мысалы, литий минералдары құрамында магнийдің изоморфтық қоспалары, магний минералдарында – скандий; натрий минералдарында – кальций; кальций минералдарында – иттрий және т.б. болатынын біз жиі байқаймыз.

Одан басқа, комплексті аниондарда $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ионы өлшемдері бірдей немесе жақын болатын $[\text{AlO}_4]^{5-}$, $[\text{PO}_4]^{3-}$ және $[\text{SO}_4]^{2-}$ иондарымен алмаса алады. Осы келтірілген мысалдарға біз минералдарды сипаттаған кезде әлі бірнеше рет тоқталамыз.

А.Е. Ферсман мен В.М. Гольдшмидттің зерттеулері көрсеткендей, атомдардың өлшемдік сипаттамаларының изоморфтық алмасулар мүмкіндігі мен шектеріне ықпалы үлкен және кіші иондарға қатысты бейсимметриялы болады әрі олардың зарядтарымен (валенттілігімен) де байланысты. Бұл изоморфизмнің полюстілік ережесінде көрініс табады: құрылымға жоғары зарядты шағын иондар радиусы үлкен әрі заряды төмен иондарға қарағанда оңай (көп мөлшерде) кіреді.

Қазіргі кезде, көп жағдайда академик В.С. Урусовтың зерттеулеріне байланысты изоморфизмнің негізгі заңдылықтары анықталған деп есептеуге болады. Олардың көпшілігі энергетикалық кристалхимия ауқымында түсіндіріле алады. Мәселен, изоморфтық алмасулардың аса маңызды факторына бірін бірі алмастыратын иондардың электрондық сипаттамаларының жақындығы жатады. Ол ең қарапайым түрде электртерістік сияқты параметрлер арқылы өрнектеледі. Изоморфтық араласқыштықты қамтамасыз ету үшін иондар радиусының айрықшалығы 15 % шамасынан аспайтыны туралы Гольдшмидт ережесімен ескерілетін өлшемдік факторлармен қатар олардың электртерістік шамаларының жақындығы да қажет. Одан басқа, құрамы бойынша күрделі қосылыстар үшін, олардағы бірін бірі алмастыратын атомдардың геометриялық параметрлерінің ықпалы құрылымдағы өздерінің алып жатқан жалпы көлемі үлесінің шағындығына байланысты тор параметрлеріне шамалы әсер етеді. Осыған байланысты иондар радиусының айырмашылығы 15 % шамасынан аспауына деген талаптар жұмсаруы мүмкін. Сондай-ақ жоғары қысымның изоморфизмге ықпалының сипаты да анықталған: изоморфты араласқашықтық шектері жалпы алғанда тарылады, бірақ минерал құрамына катионның кіруі энергетикалық тиімді бола алады, егер ол қоспа атомдарының координациялық санының артуына әкелсе. Бұл эффект терең метаморфталған таужыныстар пироксендері мен амфиболдарының төрт

координациялық алюминийдің жоғарылау мөлшері есебінен жоғары алюмототықтылығымен бейнеленеді.

Тұрақсыз құрамды табиғи қосылыстар арасында генетикалық және кристалхимиялық тұрғыдан екі типті ажырату аңызды: 1) шынайы қатты ерітінділер; 2) микроэркелкі минералдар (солардың ішінде қатты жалғанерітінділер, олардың көпшілігі қатты ерітінділердің ыдырау өнімдері болып табылады).

Шынайы қатты ерітінділер немесе, басқаша айтқанда, изоморфты қоспалар – кристалдық құрылымы бойынша аралық құрамды химиялық қосылыстар жасамайтын, екі немесе бірнеше заттың кез-келген пропорциядағы нағыз біркелкі қоспасы болып табылады. Олардың мысалына алтын мен күмістің қатты ерітінділері, оливиндер, жанартаулық текті шыныққан плагиоклаздар және т.б. жатады.

Қатты заттардың физикалық және химиялық қасиеттері аддитивтік (латынша *addo* – қосамын) болып табылады, яғни екінші компоненттің мөлшері артқан кезде біртіндеп және заңдылық бойынша өзгермелі болады. Мысалы, осыларға балку температурасының, меншікті салмағының, сыну көрсеткіштерінің, шағылу қабілетінің, электрөткізгіштігінің және т.б. өзгерулері жатады. Осы қасиеттердің барлығының өзгеруі диаграммаларда іс жүзінде тура сызықтар (меншікті салмақтар мен тор параметрлері үшін) немесе баяу иілмелі қисықтар (балку температуралары, оптикалық қасиеттер және басқалар үшін) түрінде көрсетіледі. Бұл қисықтардың изоморфтық қатарларды сипаттайтындығы сондайлық, тұрақсыз құрамды қандай да бір минерал түрінің зерделенген қасиеттерінің жиынтығы бойынша солардың көмегімен-ақ, яғни химиялық талдауға жүгінбей оның қасиеттерінің мәнін өлшеу арқылы нақты индивидтің құрамын анықтауға болады. Мысалы, осындай жолмен арнайы диаграммалар бойынша оливиннің құрамын, оның оптикалық қасиеттерін шлифтерде микроскоп арқылы зерделеп анықтау қиын емес.

Қатты ерітінділердің химиялық формулаларында изоморфты атомдарды немесе иондарды дөңгелек жақшаға қойып, оларды бір-бірінен бөледі және мөлшерінің азаю реті бойынша орналастырады: (Au,Ag), (Zn,Fe)S, (Zn,Fe)CO₃, (Fe,Mn)WO₄ және т.б. Егер қос тұзда компоненттердің бірінің құрамында изоморфты қоспалар болса, онда ол мынадай түрде жазылады: Ca(Mg, Fe)[CO₃]₂.

Минералдардың химизмін көрсететін қатты ерітінділердің жоғарыда келтірілген формулалары қорытындыланған түрде изоморфты атомдардың қатынасы туралы ақпаратты тек реттік формада береді (көп-аз). Химиялық талдау нәтижелері бойынша бағаланатын минералдық индивидтердің нақты химиялық құрамы *эмпирикалық формулалар* деп аталатын түрде көрсетіледі. Хибин массиві клинопироксендерінің бірінің құрамы мынадай эмпирикалық формуламен сипатталады: (Na_{0,88}Ca_{0,10}K_{0,02})_{1,00}(Fe³⁺_{0,88}Mg_{0,05},Al_{0,03}Fe²⁺_{0,02}Ti⁴⁺_{0,02})_{1,00}[(Si_{1,95}Al_{0,05})_{2,00}O₆].

Микроэркелкі минералдарға олардың әркелкілігі тек микроскопиялық зерттеулер кезінде анықталатын минерал индивидтері ғана жатады. Мұндай

минералдардың кристалдары сырттай қарағанда біркелкі көрінуі мүмкін, бірақ микроскопиялық, ал кейде – тек электрондық-микроскопиялық зерттеулер кезінде ғана мұндай минералдар әркелкі құрылымын байқатады. Әркелкіліктер түрлі масштабты минералдық кірінділер түрін де, минералжасаушы ортаның фрагменттері болып табылатын көп фазалы кірінділер түрінде де бола алады (балқыған, газ-сұйық-кірінділер).

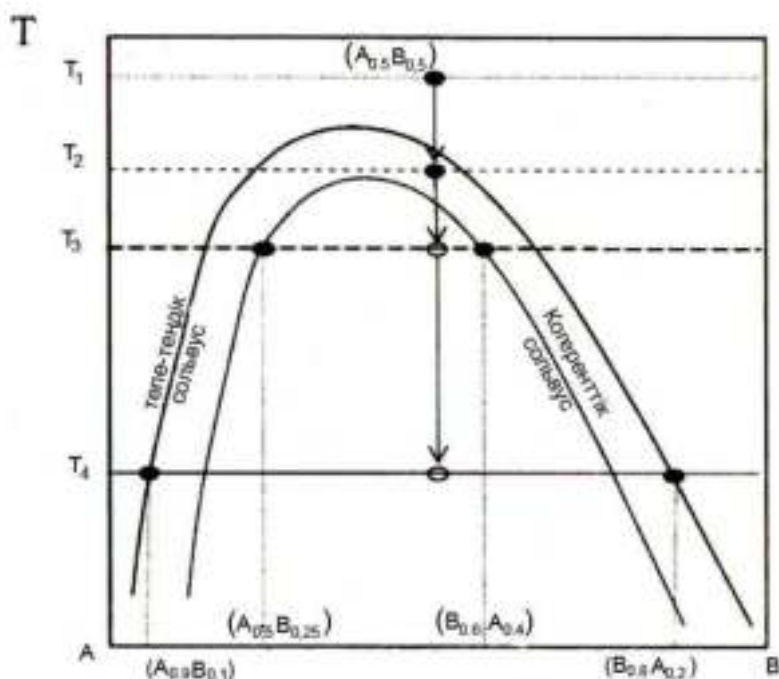
Көп жағдайларда минералдың әркелкілігі *бастапқы* болып табылып, тікелей олардың жаралу процесінде бөгде минералдық бөлшектерді және минералжасаушы ортаның жекелеген порцияларын өсудегі кристалл беті арқылы тұтуы нәтижесінде қалыптасады. Бірқатар жағдайларда минерал микрокірінділері кристалл-қожайынға қатысты бағдарланған жағдайда болады. Кейде мұндай кірінділер басқа минералдардың бағдарлана өскен (эпитаксиялық) микроиндивидтерін (мысалы, корунд кристалдары базопинокоид жақтарына параллель бағдарланған ильмениттің немесе слюдалардың өте жұқа қалақтарын) тұтып алған кезде пайда болады. Егер бағдарлана сырттай өскен минералдар кейін кристалл-қожайынның ішінде тұтылып қалғанда, мұндай ішкі өскін жаралымдар эндотаксикалық деп аталады. Кейде кристалл-қожайынға қатысты заңдылық бойынша бағдарланған бөгде минерал микроиндивидтері онымен бір мезгілде өседі (топотаксия).

Әркелкіліктің қызық мысалына құрылымдық жағынан туыс минералдардың *синтаксиялық кірігуі* жатады. Олар әр түрлі көлемдік қатынастардан тұратын жекелеген блоктар жасайды. Мұндай құбылыс ультрамикроскопиялық деңгейде монокристаллдардан тұратын минералдарда байқалады. Олардың құрамында құрамы мен құрылысы бойынша әр түрлі, бірақ бір-бірінен жақсы үйлесетін тұрақты орналасқан құрылымдық блоктар қатысады, бұл блоктар еселік қатынаста болады. Осылайша тұрғызылған минералдар *полисомалар* деп аталады да дискретті қатарлар – полисомалық сериялар жасайды, мысалы бастнезит-паризит сериясының минералдары. Егер полисомалық құрылымдар жалпақ блоктардан тұрса (политиптер сияқты – қабаттардан, бірақ құрамы бойынша әр түрлі), аралас қабатты жаралымдар деп аталатындар пайда болады. Оларға электрондық-микроскопиялық зерттеулер көрсеткендей, бұрын біркелкі деп есептеліп келген көптеген саз минералдары жатады.

Минералдар кристалдарындағы сан қилы қоспалар мен ақаулар өздерінің микроскопиялық өлшемдеріне байланысты минералдарда әркелкі таралуы мүмкін, осыған байланысты олар минералдарды қаруланбаған көзге де көрінетіндей әркелкі жасайды. Изоморфтық та, механикалық та қоспалар көбінесе түрлі мөлшерде өсіп келе жатқан кристалда оның өасуінің әр түрлі кезеңдерінде тұтылып, бояуының зоналана таралуына әкеледі. Осындай зоналар макроскоптық та байқалып, ырғақты-жолақты зоналылық қалыптастыруы мүмкін. Егер қоспалар минералдық индивидке өскелең кристалл қырлануының әр түрлі элементтері (төбелері, қырлары, түрлі жақтары) арқылы әркелкі жолмен түсетін болса, қоспалардың бөлінуі *секторлық* сипатқа ие болуы мүмкін.

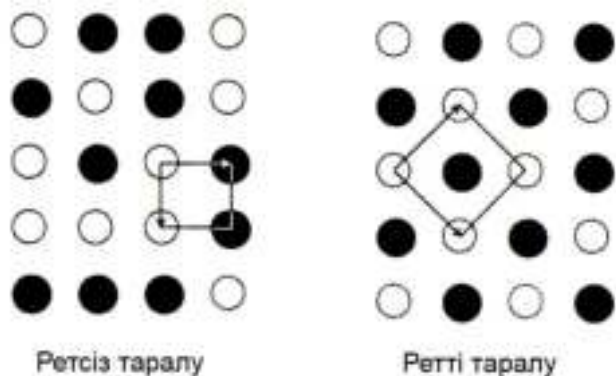
Нақты минерал индивидтерінде *туынды* әркелкілік жағдайлары да аса кең таралған. Ол көпшілігінде өзінің жаралуы кезінде шынайы қатты ерітінділер болып табылатын минералдардың төмен температуралық эволюциясы процесінде пайда болады. Минерал индивидтерінің көпшілігі өзінің жаралуынан кейін салқындауға ұшырайтындықтан, изоморфтық араласқыштығының шектері тарылады да қатты ерітінді түрлене бастайды. Бұл түрленулер көбінесе ыдырауға (экссольюцияға) ұшырап компоненттер жаңа минералдық фазалар түрінде бөлінеді. Мысалы, эксперименттік зерделенген NaCl–KCl жүйесінде бұл қосылыстар жоғары температурада қатты ерітінділердің үзіліссіз қатарын жасайды. Бірақ бөлме температурасына дейін біртіндеп суытқан кезде кристалданған массада өте ұсақ заңдылық бойынша кіріккен NaCl мен KCl денешіктері пайда болады. Олардың сандық қатынасы қатты ерітіндінің бастапқы құрамына байланысты болады.

Қатты ерітінді ыдыраған кезде жаралуы тиіс минералдық фазалардың теориялық құрамы «құрам-температура» диаграммасында *тепе-теңдік сольвус* (бинодали) қисығының жағдайымен анықталады (9-сурет). Көпшілік жағдайда жаралатын фазалар тепе-теңдік сольвусымен берілетіндерден төмендеу температура кезінде туындайды. Жаңа фаза индивидтерінің қатты денеде туындауы бөлінетін фаза мен кристалл-матрица беттерін үйлестірген кездегі серпімді деформацияларды жеңуге қосымша энергия қажет болады. Ол теориялық «қанығу» температурасымен салыстырғанда салқындату бойынша орындалады; бөлінетін фаза мен кристалл-матрицаның шынайы құрамы *когеренттік сольвус* сызығымен анықталады. Ұзақ терең салқындатқан кезде, ыдырау құрылымы дөрекілеуге айналады да когеренттілік бұзылуы мүмкін, осыдан кейін бірге жаралған фазалардың құрамы тепе-теңдік сольвусымен берілетін шамаларға жетеді (9-суретті қараңыз).



9-сурет. Салқындайтын ($A_{0,5}B_{0,5}$) құрамды қатты ерітіндінің «құрам-температура» диаграммада екі компонентті А-В жүйесінің эволюциясы. $T=T_1$ температурасы кезінде қатты ерітінді стабилді. Қатты ерітінді тепе-теңдік сольвус қисығын қиып өткеннен кейін метастабильді күйде ($T=T_2$) болады. Ары қарай когеренттік сольвусты қиып өткеннен кейін А компонентіне байыған туындаған микрокірінділер $T=T_3$ кезінде ($A_{0,75}B_{0,25}$) құрамға жетіп, көлемі бойынша басым ($B_{0,6}A_{0,4}$) құрамды матрицада болады. Ары қарай суытқан кезде когеренттілік бұзылады және $T=T_3$ кезінде кіріккен фазалар ($A_{0,9}B_{0,1}$) мен ($B_{0,8}A_{0,2}$) құрамдарымен сипатталып, соңғысы біршама басым болады.

Қатты ерітінді мінезінің ыдыраулық «сценарийінен» басқа, температураның төмендеу аясында құрылымның *реттелу* процестерінің жүруі мүмкін. Мұнда қатты ерітінді құрамында бір типті позициялардағы статистикалық (кездейсоқ) таралауға ие әр түрлі элементтердің изоморфты атомдары осы позицияларда қайта бөлінісе бастап, өзіне ұқсастармен көрші болудан қашады. Шағын қашықтықтарға диффузиялану жолымен жүретін изоморфты атомдардың қайта бөлінуі заңдылықтық конфигурациялардың жаралуына әкеледі. Сондықтан бұрынырақ әр түрлі элементтер иондарының кездейсоқ ретте алған симметриялық эквивалентті позициялары бірдей болмай қалады және екі типке немесе одан да көпке тарамдалып кетеді (*10-сурет*). Реттелу процестері аса айрықша ұдайы өтулер (әдетте екінші текті) болып табылып, іс жүзінде әрдайым симметрияның төмендеуіне және элементар ұяшықтың еселеп артуына (аса жоғары құрылымның пайда болуына) әкеледі. Кейбір жағдайларда ыдырау мен реттелу процестері бірігіп кетеді. Мәселен, жоғары температуралы сілтілі далашпаттарының қатты ерітінділері біртіндеп суынған кезде альбиттің пертит кірінділері түріндегі натрийлі компонент бөлінетін ыдырауға ұшырайды, ал калийге байыған матрица Si мен Al тетраэдрлік позициялар бойынша реттелуге ұшырап, біртіндеп моноклиндік ортоклаздан триклиндік микроклинге айналады.



10-сурет. Атомдардың екі сортының реттелмеген (статистикалық) және реттелген таралуы. Реттелген кезде элементар ұяшық бағдарлануын өзгертеді және ауданын екі есе арттырады.

Қатты ерітінділерден жаңа жаралған минералдық фазалардың бөлінуі төтенше ұсақ дисперсиялық, әдетте бағдарланған кірінділердің пайда болуынан басталуы мүмкін. Осының нәтижесінде коллоид ерітінділердің қатты аналогтары – кристалл зольдер жаралуы мүмкін (қара темірлі сфалерит, пирротиннің өте ұсақ бөлшектерімен пигменттелген.). Ары қарай

жаңа жаралымдар ірілену үрдісіне ұшырайды, олар қаныққан сұйық ерітінділерден тұнатын кәдімгі кристалдар сияқты өседі. Олардан айырмашылығы, компоненттердің оларға тасымалдануы бірнеше есе баяулау жүреді, өйткені қатты денеде диффузия қиындайды.

Температура біртіндеп төмендеген кезде жақсы жүретін жаңа жаралған фазалардың туындау және ірілену процестері (эндогендік жағдайда) терең және күрт суынумен тоқтатылуы немесе айтарлықтай баяулауы мүмкін (мысалы, вулканизм кезінде). Суыну диффузия және жаңа жаралатын фазалардың өсу процестерін баяулатады, сондықтан қатты ерітінді содан кейін өте ұзақ метастабильді күйде сақталады (мысалы, жанартаулық таужыныстардағы санидин мен анортоклаз).

Жаңа жаралған минералдар микроиндивидтері бірқатар жағдайларда ірі өлшемдерге жетуі айтуды былай қойғанда, керісінше, кішірейеді немесе қайтадан еріп кетуі мүмкін, тіпті оны айтпағанда мұндай жағдай кейде бастапқы кірінділердің басына да келеді. Механикалық қоспалардың осындай «еріп кету» құбылысы мүмкін, егер минерал-қожайынның кристалы ұзақ қыздыруға ұшыраса, мысалы прогрессивтік метаморфизм жағдайында.

Минералдардағы әркелкіліктердің сырттай туындаған химиялық реакциялар процесінде, атап айтқанда химиялық қосылыстардың қоршаған ортадағы өзгерістерге байланысты ыдырау нәтижесі ретінде пайда болу вариантын да айта кету керек (мысалы, құрамында қалайы бар сфалеритте $(Zn,Sn)S$ – тотығу жағдайында қалайы оксиді SnO_2 минералының өте ұсақ кірінділері пайда болады). Бөтен минералдардың алмасудан кейінгі қалдықтары ретіндегі кірінділері (жұрнақтары) метаморфтық таужыныстарда метасоматоздық жолмен жаралатын кристалдарда ерекше жиі байқалады.

Осындай минералдардың химиялық талдау деректері химиялық формаларға компоненттердің стехиометрикалық қатынастарымен дәл келмейтіні толық түсінікті. Екінші жағынан, минералдардағы әркелкіліктер өзімен бірге минералдың қалыптасу жағдайлары мен кейінгі өзгерістері туралы айрықша құнды ақпаратты әкеледі де типоморфизмнің ең маңызды білінімдерінің бірі болып табылады.

Сулы қосылыстар. Алдымен мынадай маңызды ескертпе жасау қажет. Сулы қосылыстар қатарына тек қана өзінің құрамында судың электрлік бейтарап молекулалары барларды жатқызу керек. Бұрын сулы қосылыстар түрінде құрамында $[OH]^{1-}$ гидроксил аниодары бар минералдарды да қарастырып келген. Бірақ, әрине, H_2O молекуласы мен теріс зарядталған $[OH]^{1-}$ ионы арасында принциптік айырмашылық бар, ол минералдардың физикалық және химиялық қасиеттеріне айтарлықтай ықпал етеді. Гидроксил ион ретінде қосылыстарға F^{1-} , Cl^{1-} сияқты аниондарды алмастыруға қабілетті және кристалдық құрылымдарда берік ұсталады. H_2O молекуласы мұндай қасиетке ие емес және ол құрылымда нашар байланыста болғандықтан, қыздырған кезде оңай жойылады. Гидроксил құрамында өзі бар минералдарды қыздырған кезде кристалдық тордан шығып, су буына айналуына қабілетті екендігі оны H_2O молекуласымен бірдей деп қарастыруға негіз бола алмайды. Сондықтан минералдардың химиялық

формуласында олардағы гидроксил мен суды бөлек көрсету аса маңызды. Осы жағынан қарағанда, мысалы, малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$ мыстың сулы емес негізгі сусыз карбонаты болып табылады, оны химиялық талдау кезінде гидроксил H_2O түрінде анықталатынына қарамай. Айтылғандар қышқылды тұздар болып табылатын минералдарға да қатысты, олардағы катиондар қатарында сутек немесе H_3O^+ катионы (оксоний) бар.

Су минералдарда қандай тәсілмен ұсталатынына байланысты былай ажыратылады: 1) минералдардың кристалдық құрылымдарына кіретін кристалданған немесе байланысқан су; 2) еркін су, ол кристалл заттың өзінің құрылысына қатыспайды.

Байланысқан су кристалдық құрылымда H_2O молекулалары түрінде қатысып, олар құрылымда қатал белгілі орындар алады. Су молекулаларының саны қосылыстың басқа компоненттеріне қарапайым қатынаста болады. Мысалдар ретінде мыналарды келтіруге болады: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (сода), $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс), $\text{Ni}_3[\text{AsO}_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (анносбергит), $\text{Al}_2[\text{PO}_4](\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (вавеллит) және т.б. Осы кристалгидраттар деп аталатындар, Вернер бойынша «комплекті қосылыстар» ретінде қарастырылуы тиіс, яғни олардағы су молекулалары құрылымдық бірліктер ретінде қандай да бір иондар төңірегінде белгілі бір координация бойынша орналасып, осындай жолмен өзіндік комплекті иондар жасайды.

Мәселен, $\text{Ni}[\text{SO}_4] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ қосылысының кристалдық құрылымында рентгенметриялық зерттеулермен анықталғандай, H_2O -ның алты дипольдық молекуласы тікелей Ni^{2+} катионын қоршайды да катионға қатысты белгілі бір түрде бағдарлануы (комплекті ионның шетіне қарай H^+ -дің екі протонымен). H_2O молекуласының өзі электрлік бейтарап болғандықтан, гидратацияланған $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ катионы Ni^{2+} зарядын сақтайды. Сондықтан қосылыстың химиялық формуласын $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6][\text{SO}_4]$ деп дұрыс жазу керек.

Кристалдық құрылымдардағы иондардың гидратациялану себебі туралы сұраққа біз кейінірек тоқталамыз (оттек тұздары туралы бөлімнің кіріспесінде). Мұнда иондардың гидратациялану қажеттілігі кристалхимиялық қатал нақтыланатынын ғана көрсету керек. Өлшемдері бойынша $[\text{SO}_4]^{2-}$ осындай ірі аниондардан орнықты кристалдық құрылымдар жаралу үшін ерітіндіде болатын Ni^{2+} катиондары өте кішкентай болады, осыған байланысты олардың көлемін зарядын өзгертпей арттыруға ұмтылу туындайды. Ал кристалгидраттардың жаралуы тек суға бай орталарда және төмен температурада ғана жүруі мүмкін екені өзінен өзі түсінікті.

Қыздырған кезде кристалгидраттар бірден толықтай болмаса да секіріс тәрізді, су молекулаларының бір бөлігін дүркін-дүркін жоғалта отырып оңай сусызданады. Мұнда құрылымның қайта түзілуі H_2O молекулалары санының ұтымды қатынастарын және негізгі қосылысты сақтай отырып жүреді. Мысалы, халькантит $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ жасанды сусыздырғанда алдымен $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, содан кейін $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$, ал ақыр соңында $\text{Cu}[\text{SO}_4]$ жасайды. Мұнда сыну көрсеткіштері, меншікті салмағы және басқалар сияқты физикалық қасиеттері секіріс тәрізді өзгереді. Су әр түрлі қосылыстардан түрлі температураларда шығарылады: олардың кейбіреулері оны бөлме

температурасында жоғалтса (мыс пен темірдің көп сулы сульфаттары), ал басқалары – жоғарылау және тіпті 100⁰С-тан асатын температурада.

Еркін су минералдық массаларда болып, минералдардың кристалдық заты құрылысында тікелей қатыспайтындығымен сипатталады. Қыздырған кезде ол біртіндеп бөлінеді. Еркін судың үш түрін ажыратады: а) цеолиттік; б) коллоидтық; в) гигроскоптық.

Цеолиттік су өзінің атауын минералдардың айрықша тобының жалпы атынан – цеолиттерден алып, оларда осы судың болу ерекшеліктері өте жарқын білінеді. Анықталғандай, су молекулалары минералдардың бұл тобында кристалдық құрылымда қандай да бір қатал анықталған орын алмайды, оның тек бос қуыстарында ғана орналасады (каналдар бойында, қабатаралық кеңістіктерде және басқаларда). Сондықтан олардағы судың «ерігіштігі» айтарлықтай шектеулі. Бір қызығы, олардағы судың мөлшері заттың кристалдық біркелкілігін бұзбай физикалық қасиеттерінің (мөлдірлік дәрежесінің, сыну көрсеткіштерінің, меншікті салмағының және басқаларының) *біртіндеп* ауытқуымен өзгеруі мүмкін. Айтылғандар су қатты ерітінді сияқты күйде болатынын көрсетеді. Қыздырған кезде су температураның 80-400⁰С аралығында бөлінеді. Бір қызығы, ақырындап қыздырумен сусыздандырылған цеолиттер өздерінің бұрынғы физикалық қасиеттерін қайта қалпына келтіргенде суды қайта жұтуға қабілетті.

Коллоидтық су, өзінің аты көрсетіп тұрғандай, гидрогельдерде таралып, мұнда дисперсиялық фазалардың бетінде өте нашар байланыс күштерімен ұсталып тұрады. Ол шын мәнінде адсорбцияланған су болып табылады да оның болуы адсорбент құрылымына тәуелді болмайды (адсорбенттің өзінің құрамында, әрине, кристалхимиялық байланысқан су бола алады.). оның мысалына опал (кремний тотықтың гидрогелі) – SiO₄·aq (aq – латынша *aqua* – су деген сөздің бірінші екі әрібі). Коллоидтық судың кейбір авторлар қабылдаған осындай белгіленуін ұтымды деп тануға болады.

Гигроскоптық (капиллярлық, яғни қылтүтіктік) су майда жарықшақтарда, кеуектерде және ұнтақтық массаларда беттік тартылыс күштерімен ұсталып тұрады. Өзінің көп бөлігінде ол 100-110⁰С шамасына дейін қыздырған кезде оңай кетіріледі. Капиллярлық пен коллоидтық судың аралығында күрт шекара жүргізуге болмайды.

Мұнан басқа, кристалдар өскен кезде оларда тұтылған өте ұсақ газ-сұйық кірінділер түріндегі судың механикалық қоспаларын да білуіміз керек. Олар көптеген кристалдарда кең таралған.

2.3. Минералдардың физикалық қасиеттері

Айтылып өткендей, минералдар физикалық денелер ретінде түсі, қаттылығы, жылтырлығы, меншікті салмағы және басқалар сияқты қасиеттері бойынша кеңен әр түрлі болады. Бұл қасиеттер түрлі минералдарда олардың химиялық құрамы мен кристалдық құрылымына байланысты түрліше білінеді. Әр минерал қандай да бір айрықша

белгілерімен сипатталып, солар бойынша оны әрдайым басқалардан ажыратуға болады.

Өте көп минералдарды өздеріне тән физикалық қасиеттерінің комплексі бойынша қымбат та қиын болатын, мысалы химиялық талдау, рентгенталдау және басқалар сияқты зерттеулер жүргізбей-ақ мейлінше дәл анықтауға болады. Айта кету керек, көптеген минералдар үшін айрықша, тек олардың әрқайсысына ғана тән өзіндік ерекшеліктері болады. Бұл ерекшеліктерді бірінші танысудың өзінде жеңіл анықтап, сөзбен оңай жеткізуге болады. Бұл әсіресе түсінің реңіне, бояуының қанықтығына, омырылымының жылтырлығына және басқаларға қатысты. Осыған қарамай, біраз көз үйренген соң минералдардың осы қасиеттері жеңіл анықталып, ары қарай олар диагноздық белгілердің шешушілері рөлін атқарады. Осыдан өте көп бұрын, адамдардың химия туралы жалпы алғанда, химиялық элементтер туралы атап айтқанда әлі ешқандай түсінігі болмаған кезде, минералдардың осы ерекше белгілері жақсы таныс болып, «кен білгіштер» солар бойынша сол кезде өздері үшін құнды саналған пайдалы қазбаларды қатесіз тапқан.

Әрине, осындай жолмен табиғатта кездесетін минералдардың барлығы анықтала береді деп айтуға болмайды. Олардың көпшілігі толық анықтау үшін түбегейлілеу зерттеулерді, атап айтқанда сапалық химиялық реакцияларды, меншікті салмағын, оптикалық, механикалық және басқа қасиеттерін дәлірек анықтауды қажет етеді. Майда түйірлі минерал массалары арнайы препараттарда (шлифтерде) микроскоппен зерделенеді. Көбінесе спектрлік талдау көмегімен өндірістік мәнге ие кобальт, индий, кадмий, литий, цезий және басқалар сияқты құнды металдар тіпті олардың мөлшері өте мардымсыз болған жағдайлардың өзінде химиялық талдауға жүгінуді қажет етеді. Айрықша әдістер минералдардың радиобелсенділігін, пьезоэлектрлік эффектін, магниттік қасиеттерін және минералдардағы басқа физикалық құбылыстарды зерделеу үшін қолданылады.

Төменде біз минералдардың ең көп диагноздық мәнге ие, ең басты қасиеттерін қарастыруға тоқталамыз. Мұндай қасиеттерге жататындар: *морфологиялық* ерекшеліктері – кристалдардың кейпі, қосақтары, жақтарының айғыздалғандығы; *оптикалық* (кристалоптикалық қасиеттерін жарықсыну, қоссыну, плеохроизм және т.б. қоспағанда, олар кристаллография және кристалоптика курстарында түбегейлі баяндалады) – мөлдірлігі, минералдардың түсі, сызығының түсі, жылтырлығы; *механикалық* – жіктілігі, омырылымы, қаттылығы, морттығы, майырылғыштығы, серпімділігі; сондай-ақ меншікті салмағы, магниттілігі, радиобелсенділігі және басқалар сияқты қасиеттері.

Минералдар кристалының морфологиялық ерекшеліктері

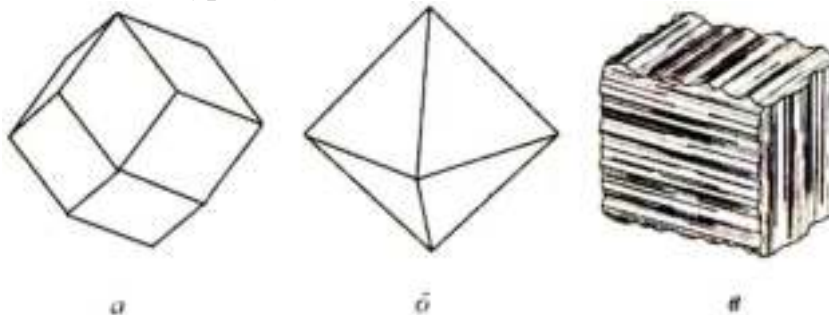
Табиғатта минералдар өзінің басты массасында бұрыс пішінді түйірлер түрінде таралған. Оларда кристалл қырлары болмағанымен, бірақ өздерінің пішіндері мен өлшемдеріне тәуелсіз кристалдық құрылысты болады. Табиғи жақтарымен шектелген, жақсы жаралған кристалдар, яғни индивидтер өте сирек кездеседі. Олардың табылымы мынадай жағынан қызығушылық

туғызады – зерттеушінің қол астында солар арқылы минерал анықтала алатын белгілер көп болады. Минералдарды олардың кристаллографиялық пішіндері бойынша анықтайтын арнайы анықтауыштар да жасалған. Кристалдардың морфологиясы және симметрия туралы ілім кристаллографияның арнайы курстарында толық баяндалады.

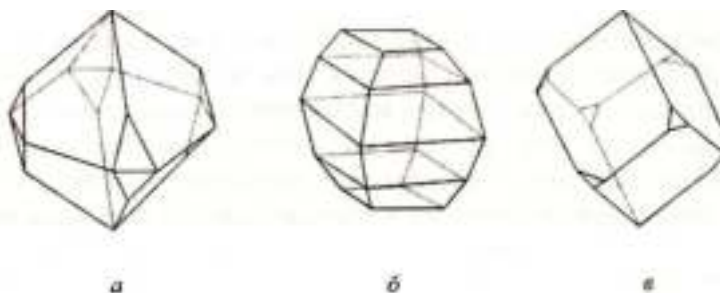
Біз мұнда минералдарды анықтаған кезде де біршама практикалық мәнге ие болатын кристалдар морфологиясының кейбір жалпы ерекшеліктеріне және олардың жақтарына ғана тоқталамыз.

Кристалдардың келбеті. Кез-келген дененің кеңістікте үш өлшемі болатындықтан, кристалдар мен кристалл түйірлерінің сан қилы пішіндерінің арасында біз ең алдымен мынадай негізгі типтерін бөлуіміз керек:

1. *Изометрлі пішіндер* яғни кеңістікте барлық үш бағытта бірдей дамыған пішіндер. Олардың мысалына анартастың ромбододекаэдрлері, магнетиттің октаэдрлері, пириттің кубтары және т.б. (11-сурет). Изометрлі кейіп әсіресе кубтық сингониялы минералдарға тән. Дегенмен басқа сингониялар минералдарының кристалдары да изометрліге жақындайтын кейіпте бола алады (12-сурет).

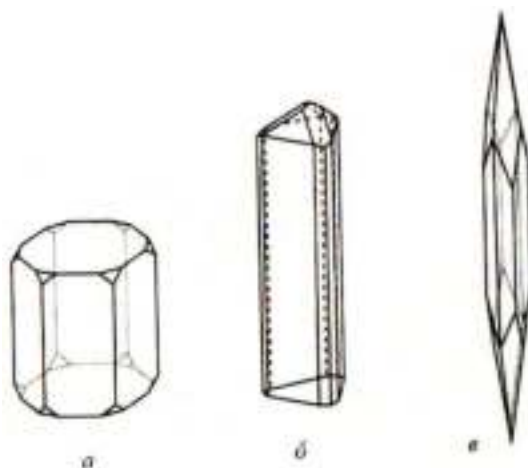


11-сурет. Кубтық сингониялы минералдар кристалдарының изометрлі кейпі: а-анартас ромбододекаэдрі; б-магнетит октаэдрі; в-комбинациялық Айғызды пирит кубы



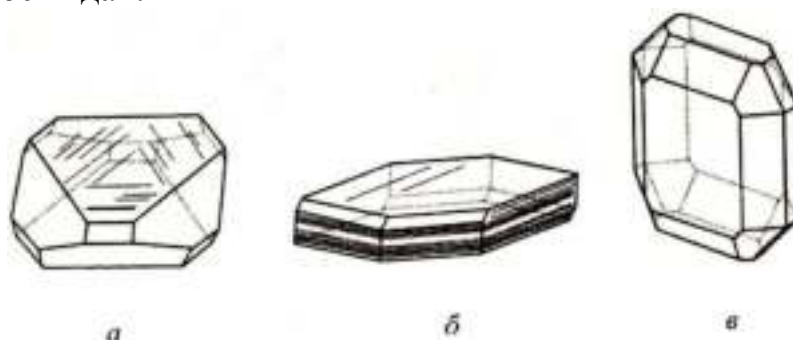
12-сурет. Тетрагондық (а және б) және тригондық (в) сингониялы минералдар кристалдарының изометрлік келбеті: а-шеелит; б-анатаз; в-шабазит

2. *Бір бағытта созылған пішіндер*; яғни призма, бағана, сырық, ине (13-сурет), қыл пішінді кристалдар, талшық жаралымдар. Мысалы, аквамарин, турмалин және басқалардың кристалдары.



13-сурет. Кристалдар: *а* - бағана (берилл); *б* - сырық (турмалин және *в* - ине (антимонит) келбетті

3. *Екі бағытта созылған пішіндер*, олар қысқа бағытын сақтайды. Мұнда тақташа, қалақ, парақ және қабыршақ пішінді кристалдар жатады. Мысалы, гематиттің (Fe_2O_3), слюдалардың (*14-сурет*) және басқалардың кристалдары осындай.



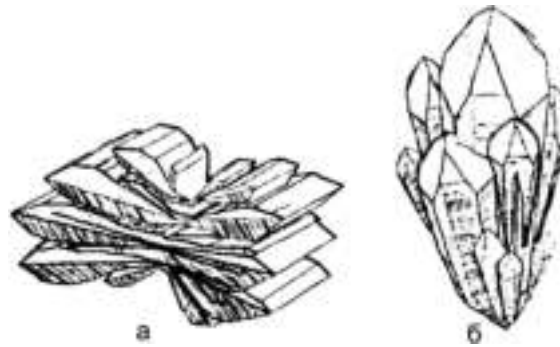
14-сурет. Кристалдар: *а* - жалпақ (гематит); *б* - қалақ (слюда) және *в* - тақташа (оливин) келбетті

Пішіндердің осы негізгі типтері аралығында өтпелі келбеттері де кең таралған. Мысалы, кианиттің (Al_2SiO_5) тақтай тәрізді кристалдары екінші және үшінші типтер аралығындағы аралық пішінге ие (жалпайған бағана тәрізді кристалдар); корундтың бөшке тәрізді кристалдары немесе кальциттің ($\text{Ca}[\text{CO}_3]$) скаленоэдр кристалдары бірінші және екінші типтердің аралық пішіндері ретінде; линза тәрізділерге жақындайтын (бірінші мен үшінші типтер аралығындағы) – титаниттің ($\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$), монациттің ($\text{Ce}[\text{PO}_4]$) және басқалардың.

Олардан басқа кристалдардың күрделі және өзгерген пішіндері болады. Мысалы блоктар (*15-сурет*), тарамдалған (*16-сурет*) және бұралған (*17-сурет*) кристалдар, сфера кристалдар (*18-сурет*) және жіп тәрізді кристалдар (мұрт, антолиттер – *19-сурет*). Кристалдар жақтарының жекелеген элементтерінің басым дамуы дөңес пішіндерден ауытқуға әкеледі. Мұндай жағдайда қаңқалы кристалдар (қырлы пішіндер – *20-сурет*) және төбелік тарамдалған пішіндер – кристалл дендриттер (*21-сурет*) жаралады. Сондай-ақ дамуы кері қаңқалы типті кристалдар да белгілі (*22-сурет*).



15-сурет. Пириттің блок кристалы



16-сурет. Бариттің жалпақ тарамдалған кристалы (*a*) және кварцтың көлемді тарамдалған кристалы (*б*)



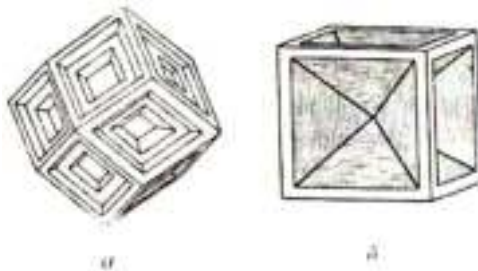
17-сурет. Пириттің бұралған мозаикалық-блоктық кристалы



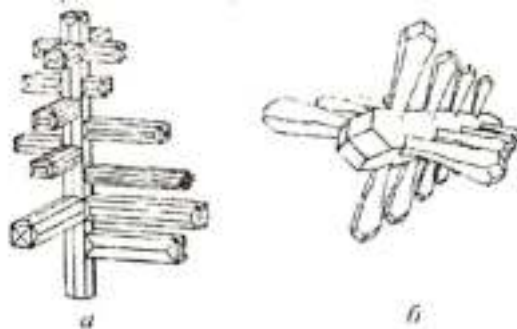
18-сурет. Сидериттің сфера кристалы



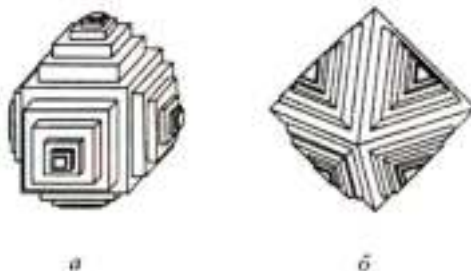
19-сурет. Гипс антолиттері – жіп тәрізді кристалдардың түрлесі, кеуек негізде кристалданған кезде жаралады



20-сурет. Қырлы қаңқалы кристалдар: а-нашатырь; б-галит



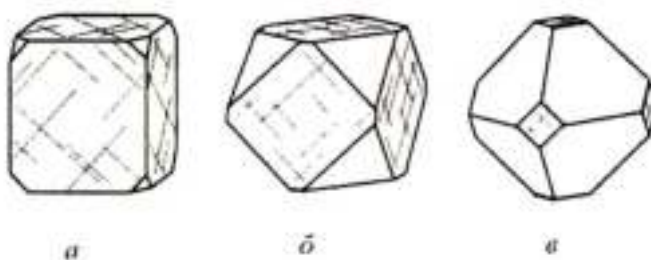
21-сурет. Төбелі қаңқалы кристалдар: а - мыс; б – мүсәтір



22-сурет. Кері қаңқалы кристалдар: а - флюорит; б - магнетит

Кристалл индивидтерінің келбетінен басқа кристалдар *кейтін* де ажыратылады, олар жақсы қырланған минералдарға қатысты болады (әдебиетте осы терминнің түсінігі бойынша көзқарастардың бірдей еместігін ескеру керек. Көп авторлар «келбет» пен «кейіп» терминдерін синонимдер деп санайды). Келбеттің сипаттамасы берілген минерал кристалдарында қандай да бір кристаллографиялық пішіндердің басымдылығына негізделеді.

Мысалы, галениттің (PbS) кристалдары әдетте кубтар түрінде кездесіп, олардың бұрыштары кейде октаэдр жақтарымен шамалы доғалданады, кейде кубоктаэдрлер және одан да сирек октаэдрлер түрінде кездесіп, куб жақтарымен біршама доғалданды (23-сурет). Олардың барлығының жалпы пішіні (кейпі) изометрлі болғанымен, бірақ кристалдарының келбеті әр түрлі: біріншісінде басым немесе тек қана кубтың жақтары дамыған, үшіншісінде керісінше негізінен октаэдрдің жақтары дамыған, ал екіншісінде – барлық жаралымдар шамамен бірдей дәрежеде. Кристалдардың қандай да бір келбетінің жаралуына минералжаралу жүретін орта құрамының ерекшеліктері ықпал ететіні көрінеді.



23-сурет. Галениттің түрлі келбетті кристалдары: *a* - кубтық келбет, шамалы октаэдр дамыған; *б* - кубоктаэдрлік келбет; *в* - октаэдрлік келбет, шамалы куб дамыған.

Минералдардың барлығын олардың кристалдарының пішіні бойынша бірден оңай танымағанымызбен, бірқатар минералдар үшін кристалдарының пішіні оларға тән болатыны сондайлық, ол өте маңызды диагноздық белгі болып табылады. Мысалы, кварцтың ромбоэдр мен трапецоэдр жақтарымен қиылған призма кристалдары минералдың қандай түске боялғанына қарамай әрдайым оңай танылады. Пириттің куб немесе пентагон-додекаэдр кристалдары, шпинельдің және магнетиттің октаэдр кристалдары, анартастың ромбододекаэдр кристалдары және тағы басқалар осындай.

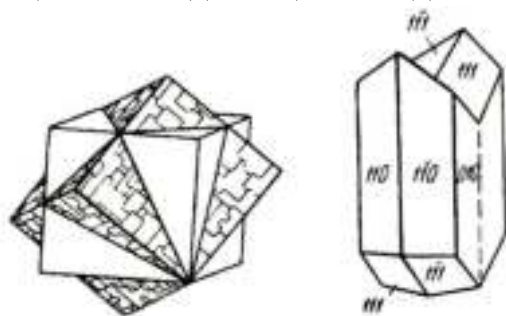
Кристалдар пішінінің өзіндік сипаты бірқатар минералдар атының өзінде көрініс тапқан. Мысалы: актинолит (грекше – сәулелі тас), анартас (латынша *granum* – түйір), лепидолит (грекше *лепис* – қабыршақ), аксинит (грекше *аксине* – балта), корундофиллит (грекше *филлон* – парак), хризотил (грекше – алтын талшық) және т.б.

Кристалдар симметриясының 32 түрінің атаулары мен халықаралық белгілеулерін келтіреміз (5-кесте).

5-кесте. Кристалдар симметриясының (нүктелік топтарының) 32 түрінің атаулары және халықаралық символдары

Категория	Сингония	Симметрия түрі				инверсиялық карапайым	инверсиальк пландық
		карапай ым	орталық	пландық	аксиа лық		
Төмен	Триклиндік	1	$\bar{1}$				
	Моноклиндік			m	2	2/m	
	Ромбылық			mm2	222	mmm	
Орташа	Тригондық	3	$\bar{3}$	3m	32	$\bar{3} m$	
	Тетрагондық	4	4/m	4mm	422	4/mmm	$\bar{4}$ $\bar{4} 2m$
	Гексагондық	6	6/m	6mm	622	6/mmm	$\bar{6}$ $\bar{6} 2m$
Жоғары	Кубтық	23	$m\bar{3}$	$\bar{4} 3m$	432	$m\bar{3} m$	

Қосақтар және заңдылық кірікпелер. Бір минералдың екі кристалының заңдылық бойынша кірігуі *қосақ* деп аталады. Мұнда индивидтер бір-бірімен берілген кристалдың симметрия осьтері қатарына жатпайтын басқа бір кездейсоқ осінің айналасында бұру арқылы (24 *а-сурет*), немесе симметрия жазықтығында шағылып (24 *б-сурет*) бірігуі мүмкін, немесе инверсиялау (айналдыру) жолымен жаралады. Үш индивид заңдылық бойынша кіріккен жағдайларда үшем, ал төрт индивидтің – төртегі және т.с. атауларға ие болады. Н.В. Белов көрсеткендей, қосақтың жазықтығы иондардың өте нағыз жайласу жазықтығымен өте жиі сәйкес келеді. Мысалы кубтық сингониялы көптеген минералдар кристалдарының (111) бойынша кірігуінің шпинельдік заңы осындай.



24-сурет. Қосақтар: *а* - үш реттік ось бойынша (флорит); *б* - (100) жазықтығы бойынша (гипс)

Көпшілік жағдайларда қосақтарды кристалдар бетіндегі кіретін бұрыштары сияқты олардың өзіне тән белгілері бойынша танымдауға болады (олар сондай-ақ ірі сынықты кристалдарға да тән). Бірақ бірқатар жағдайларда жасанды таптауға жүгіну қажет болады, ал ең сенімді нәтижелерді үйектелген жарықтағы кристалоптикалық зерттеулер береді.

Қосақтардың жаралуы былайша болуы мүмкін: 1) туындаған кристалшалардың ерітіндіде олардың өсу барысындағы жанасуы кезінде кірігуі жолымен; 2) механикалық әрекеттесуге байланысты (бір жақты сыртқы қысым кезінде); 3) кристалл заттың полиморфтық айналулары (түрленулері) кезінде; 4) тығыз жайласқан құрылымдарда қабаттардың орналасу реті бұзылған кезде (жайласудың өсудегі қателігі).

Кейбір минералдар үшін қосақ жарылымдары өздеріне тән болып, оларды диагноздауды көбінесе жеңілдетеді. Мысалы, рутил (TiO_2) мен касситериттің (SnO_2) иінді қосақтары, гипстің «қарлығаштың құйрығы» деп аталатындары (24 *б-суретте*), хризобериллдің үшемдері ($BeAl_2O_4$), ставролиттің (грекше *ставрос* – айқыш) айқыш тәрізді қосақтары және басқалар осындай.

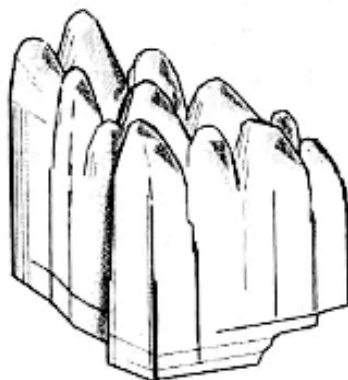
Әр түрлі минералдардың заңдылық кірігулері де әдебиетте ежелден сипаттаған. Кірігетін минералдардың заңдылық бойынша бағдарлануы тығыз жайласқан кірігу жазықтықтарының ортақтығымен немесе жақындығымен байланысты. Осындай кірігудің түрлі жағдайлары байқалады: 1) эпитақсия – бір минералдың жаралған кристалдары сыртынан басқа минерал өседі

(мысалы, солғын кен кристалдары (Cu_3SbS_3) халькопириттің (CuFeS_2) заңдылық бойынша бағдарланған кристалшаларымен немесе тұтас «жейдесімен» көмкереледі); г) эндотаксия – заңдылықпен бағдарланған кірінділер, мысалы, магнетиттің (FeFe_2O_4) кристалл түйірлеріндегі ильменит (FeTiO_3) қатты ерітіндінің ыдырау өнімі ретінде (жылтырланған шлифтерде микроскоппен анықталады); 3) гомоосьтік псевдоморфизм – бір минералдың шеткі жағында басқамен (мысалы, сфалериттің ZnS халькопиритпен CuFeS_2 алмасып, алмасатын минералдың тіпті қосақтық құрылысының да анықталуы) бағдарланған алмасуы және т.б.

Кристалл жақтарының мүсіні. Біз білетіндей, қарапайым символдармен белгіленетін кристалл жақтары мінсіз жазықтықтар болмайды. Оларды шағылған жарықта қараған кезде (әсіресе үлкейтіп қарағанда) әрдайым дерлік қандай да бір ақауларды: бейтегіс беттерді, вицинальдарды, айғыздықты, таптау фигураларын және басқаларды байқауға болады. Олардың кристалдар өсуі жылдамдығының әркелкілігіне немесе қалдық ерітіндідегі компоненттер концентрациясының өзгеруіне байланысты шала еруіне, температураның ауытқуына, кейде кристалдардағы механикалық бұзылуларға және басқаларға байланысты екені көрінеді.

Айғыздық бірқатар минералдар үшін кең таралған құбылыс, ол маңызды диагноздық белгі ретінде қызмет атқара алады. Ол бір минералдарда кристалдар созылымы бойынша білінсе (мысалы, турмалин мен эпидотта), ал басқаларда - көлденең болады (мысалы, кварцтың призма жақтарында). Пириттің куб кристалдары үшін (*11 в-суретте*) бір жағындағы айғыздар басқа әр көрші жақтарға қатысты перпендикуляр орналасады.

Жақтар айғыздығының жаралуы әр түрлі болуы мүмкін: 1) *комбинациялық* – тар жақтардың көп мәрте қайталануына байланысты (алмас, турмалин); 2) *қосақтық* – кристалдардың полисинтетикалық бітімінің нәтижесі ретінде (сфалерит, кейде плагиоклаздар және басқалар); 3) *индукциялық* – бір мезгілде жанаса өсетін кристалдардың өзара ықпал етуіне байланысты.



25-сурет. Топаз кристалындағы еру конустары

Кристалл жақтарындағы таптау фигуралары кристалдар еруінің бастапқы кезеңінің нәтижесі болып табылады. Эксперименттік зерттеулерге сай кристалдардың төбелері мен қырлары жақтарына қарағанда жылдамдау ериді. И.И. Шафрановский көрсеткендей, табиғи кристалдарда шала еру

нәтижесінде бірқатар минералдар кристалдарында конус тәрізді жаралымдар жаралады (кварц, топаз және басқалар – 25-сурет). Осы ғалым алмас кристалдарында төрттік және үштік симметрия осьтері айналасында жұмыр ромбодекаэдр жаралатын («додекаэдроидтар») мінсіз дұрыс конустар болатынын анықтаған.

Әр түрлі минералдардың тегіс жақтарындағы таптау фигуралары әр түрлі симметрияға ие болады, бұл олардың кристалдық құрылымымен байланысты. Сондықтан көбінесе таптау фигураларының бағдарлануы бойынша, мысалы кварц кристалдарында, олардың оң жақ немесе сол жақ кварцқа жататындығын, кейде қосақтық құрылымның бар екенін және басқаларды дәлелдеуге болады.

Мөлдірлігі

Мөлдірлік деп заттың өзі арқылы жарық өткізу қасиетін айтады. Абсолют беймөлдір заттар болмайды, бірақ көптеген минералдар, әсіресе металдар (тіпті жұқа үлбір түрінде де) көрінетін сәулелерді өте аз мөлшерде өткізетіндіктен, іс жүзінде олар тіпті жарық өткізбетін беймөлдір сияқты көрінеді. Дәл осылайша абсолют мөлдір материалдық орталар, яғни өзі арқылы өтетін жарықты тіпті жұтпайтын сияқтылар да болмайды. Ең мөлдір орталардың бірі – таза су. Оның өзі де қалың қабатта айқын көкшіл түске ие болып, оның көрінетін жарық спектрінің қызыл жағындағы сәулелерін айтарлықтай жұтып қоятынын куәландырады.

Біз физика курсынан берілген денеге түсетін жарық тасқынының бір бөлігі қайта тебілетінін немесе шағылатынын, ал басқасы ортаның ішіне енетінін білеміз. Әзірше жарықтың шағылу құбылысын жайына қоя тұрып (оған біз минералдардың жылтырлығы тарауында ораламыз), мұнда ортаға енген сәуленің қалай болатынын қарастырамыз.

Берілген ортаға енген жарық сәулесі өзінің жылдамдығын өзгертіп, шағылады да ішке қарай тереңдеп енген сайын біртіндеп өзінің энергиясын оның басқа түрлеріне (негізінен жылу энергиясына) айналдыратыны белгілі. Осыған байланысты жарық мөлшері біртіндеп азаяды, яғни жарықтың жұтылуы (абсорбция) орын алады.

Осылайша, берілген ортадан шыққан жарықтың қарқындылығы I оған енген жарықтың қарқындылығымен I_0 салыстырғанда біршама нашарлайды. Басқаша айтқанда, $I:I_0=a$ қатынасы әрдайым дұрыс бөлшек болады. Мұндағы a шамасы берілген ортаның қабат қалыңдығы бірге (1 см) тең болған кездегі мөлдірлік коэффициенті деп аталады. Ол заттың химиялық табиғатына және жарық толқынының ұзындығына (бірақ жарықтың күшіне емес) тәуелді болады. Бұл шама бірге жақындаған сайын материал мөлдірлеу болады және керісінше.

Мөлдірлік дәрежесіне байланысты ірі кристалдарда байқалатын барлық минералдар мынадай топтарға бөлінеді:

- 1) *мөлдір* – тау хрусталі, Исланд шпаты, топаз және басқалар;
- 2) *шала мөлдір* – зүмрат (изумруд), сфалерит, киноварь және басқалар;
- 3) *беймөлдір* – пирит, магнетит, графит және басқалар.

Үлкен кристалдарда немесе сынықтарда беймөлдір сияқты көрінетін көптеген минералдар жұқа сынықта немесе жұқа шлифте жарық өткізеді (биотит-қара слюда, рутил және т.б.).

Біз ірі кристалдардың орнына майда түйірлі агрегаттармен жұмыс жасаған кезде, заттың мөлдірлігіне қатысты басқа сурет байқалады. Егер дене көптеген ұсақ бөлшектерден – түйірлерден тұрып, олар оптикалық әр түрлі бағдарланған болса, онда мұндай ортада жарық сәулелері өздеріне тура ұзын жолдар сала алмайды. Мұндай орталардағы жарық әр түрлі бағытта көп дүркін сынады да ақыр соңында шашырайды және шағылады. Сондықтан мұндай орталар беймөлдір сияқты көрінеді. Оған былайша жеңіл көз жеткізуге болады: егер кальциттің мөлдір қалақшасын (Исланд шпатын) қалыңдығы дәл сондай кальцит түйірлерінің агрегатынан тұратын майда түйірлі ақ мәрмәрдің екі жағы да жылтырлатылған қалақшасымен салыстырсақ. Мұндағы Исланд шпаты арқылы біз оның астындағы жазуды оңай оқи аламыз, ал мәрмәр қалақшасы жарық өткізбейді. Тек жұқа шлифтерде ғана мұндай денелер өзінің мөлдірлігін байқатады.

Егер мұндай жағдайда ұсақ агрегатты құрылысқа ие затта жарықтың елеулі жұтылуы байқалмаса, онда оған сүттей ақ түс тән. Бұл түс ең күрт түрде зат дезагрегатталған күйде болған жағдайларда, яғни өте ұсақ сынықтардың немесе бөлшектердің аралығында ауа болғанда көрінеді. Бұл құбылыс бізге жақсы таныс: егер біз мөлдір көгілдір мұзды балғамен бір ұрсақ, онда соққы болған жерде сүттей ақ бояу пайда болады, өйткені ол ауаға толған өте ұсақ жарықшақтар мен кеуектердің пайда болуына байланысты.

Минералдардың түсі

Минералдардың бояуы олармен алғаш танысқан кезде-ақ өзіне еріксіз назар аударады, әдетте ол минералдарға тән ең маңызды белгілердің бірі болып табылады.

Сондықтан көптеген атаулар минералдарға осы белгісі бойынша берілгені әрине толығымен түсінікті. Мысалдар: лазурит, азурит (французша *azur* – лазурь, көк), хлорит (грекше *хлорос* – жасыл), родонит (грекше *родон* – қызғылт), рубин (латынша *ruber* – қызыл), крокоит (грекше *кросос* – шафран, яғни қызыл-жирен), аурипигмент (латынша *aurum* – алтын), хризолит, хризоберилл (грекше *хризос* – алтын), эритрин (грекше *эритрос* – қызыл), гематит (грекше *гематикос* – қан сияқты), альбит (латынша *albus* – ақ), меланит (грекше *мелас* – қара) және т.б. Және керісінше, «киноварь», «малахит жасылы» және басқалар біздің тілімізге бояулардың стандарт түсі болып енді, ол бұл түстердің берілген минералдарға тұрақты тән болуынан.

Жалпы алғанда минералдар бояуының проблемасы өте күрделі. Кристалл заттардың бояулары пайда болу себептері саласындағы біздің танымымыз физика мен кристалхимияның жетістіктеріне байланысты соңғы кезде айтарлықтай алға жылжыды, дегенмен әлі анықталмаған мәселелер көп болуда. Осы мәселе бойынша қолда бар материалды қорытындылауға және табиғи қосылыстардың бояуын олардың кристалхимиялық ерекшеліктерімен

байланыстыруға бірінші болып өзінің «Цвет минералов» кітабында түбегейлі әрекет жасаған А.Е. Ферсман (1937). Минералдар бояуының себептері мен түсінің қалыптасу механизмдерін зерттеуде ары қарайғы жетістіктер А.Н. Платоновтың «Природа окраски минералов» кітабында көрсетілген (Киев, Наукова думка, 1976).

Табиғи химиялық қосылыстарда жаралуы бойынша бояулардың үш: 1) идиоохромалық; 2) аллохромалық; 3) псевдохромалық тегі ажыратылады.

Идиоохроматизм (грекше *идиос* - дербес, меншікті). Түссіз кристалдар түрінде ешқашан кездеспейтін табиғи қосылыстардың бояуы көпшілік жағдайларда минералдың өзінің ішкі қасиеттеріне (оның конституциясына) байланысты. Мысалы, қара магнетит (FeFe_2O_4), латунь-сары пирит (FeS_2), кармин-қызыл киноварь (HgS), мыстың жасыл және көк оттегі тұздары (малахит, азурит, бирюза және басқалар), қанық көк лазурит және т.б. осындай.

Минералдардың осындай типикалық бояулары идиоохроматалық деген атқа ие болған. Әр түрлі минералдарда олар түрлі себептерге байланысты.

1. Көптеген минералдардағы бояу өзінің жаралуымен қосылыстардың өзінің құрамына қандай да бір хромофор, яғни бояу әкелетін химиялық элементке байланысты. Олардың қатарына, баяғы кездің өзінде анықталып қойғандай мыналар жатады: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni – яғни Менделеев кестесінің орталығында орналасып, ұзын периодтарға бөлінген темір әулетіндегі элементтер, және шамалы дәрежеде – W, Mo, U, Cu және TR.

Хромофорлардың ең жарқын өкіліне хром (грекше – *хрома* – бояу, түс) жатады, атауының өзі оның осы ерекшелігін көрсетеді. Минералдарда хромның болуы қарқынды бояуға әкеледі – қызыл (пироп, рубин және басқалар), ашық-жасыл (уваровит, изумруд, фуксит), күлгін (родохром, кеммерерит). Хромның қаншалықты күшті бояғыш екенін оның бар болғаны хром окисінің изоморфтық қоспасы ретіндегі 0,1 % мөлшері түссіз қосылыс алюминий тотығын қанық ашық-қызыл түске бояйтынын да көруге болады. Осы мөлшерде корунд массасындағы хромофорлардың екі ең жақын бөлшектерінің аралығындағы қашықтық 20\AA шамасын құрайды, яғни иондардың өзінің радиусынан көптеген есе артық (Al-де $0,57\text{\AA}$ және Cr-да $0,64\text{\AA}$) болады. Хром иондары алюминий иондарынан электрондық қабықшалары бойынша көп айрықшаланатын болғандықтан, өзінің төңірегінде электр өрісі симметриясында күшті бүлінулер жасайды және шашырау күйіне қарамай қосылыстың барша құрылымына өзінің ықпалын тигізетіні көрінеді.

Минералдардың жоғарыда көрсетілген жасыл және күлгін бояулары Cr_2O_3 мөлшерінің елеулі болуына (бірнеше процент және тіпті ондаған процент) байланысты. Таза хром окисінің өзі де жасыл түске боялған. Бірақ жасыл бояудың себебі химиялық қосылыстарда әрдайым хромның көп мөлшеріне байланысты болады деп айтуға болмайды. Мысалы жасыл берилл – изумрудтың керемет ашық жасыл бояуы Al_2O_3 құрамындағы Cr_2O_3 изоморфтық қоспасының проценттің бірнеше жүздік ауқымындағы тіпті мардымсыз мөлшерімен анықталады, ал кейде изумрудтың жасыл бояуы

V_2O_3 болуымен де байланысты болады. Сонымен минералдар бояуы құбылысы бір карағанда солай көрінетіндей сондайлық қарапайым нәрсе емес.

Құрамында Cr^{6+} бар $[CrO_4]^{2-}$ ионы жасанды қосылыстарда әдетте оларға жасыл түс береді, ал оның күшті үйектеуші катиондармен қосылысында қанық жирен-жасылға боялатыны байқалады. Мысалы крокоит ($Pb[CrO_4]$) минералы осындай.

2. Минерал кейбір жағдайларда қандай да бір түске хромофорларға ешқандай байланыссыз немесе оның химиялық құрамының өзгеруіне байланысты боялады, өйткені химиялық және спектрлік талдаулар бояғыш пигменттің ешқандай да қоспасын көрсетпейді.

Мәселен, тас тұздың ($NaCl$) әдемі көк түске боялатын жағдайлары белгілі. Мұнда бұл бояу өзінің жаралуымен осы қосылыс иондарының бір бөлігі, атап айтқанда натрийдің бейтарап атомдарға айналғанына байланысты болады, ол үшін натрий осыған қажет электрондарды өзіне қосып алады екен. Бұл айтылған *ақаулық бояу* деп аталатынның бір жағдайы (спектрдің кейбір бөлікшелерінде жарықтың айрықша жұтылуын туындататын белсенді орталықтарға құрылымның ақаулары жатады). Мұндай бояуды мөлдір тас тұзда жасанды туындату оңай. Ол үшін оған металл натрийдің буын сіңірсе жетіп жатыр. Дәл осындай нәтижені егер тас тұзға өзімен бірге еркін электрондар әкелетін катод сәулесімен ықпал ету жолымен алуға болады.

Сонымен, кейбір мөлдір минералдардың бояуы кристалдық құрылымның біркелкі құрылысының өзгеруімен және де иондардың қандай да бір себептер ықпалымен бейтарап атомдарға немесе қоздырылған (шамалы зарядталған) атомдарға айнала алуынан электрстатикалық күйінің өзгеруімен байланысты болуы мүмкін. Шын мәнінде минералдардың осылай жаралатын бояуы, яғни минералдардың конституциясына қатысы жоқ сырттан кіретін себептерге байланыстылығы оның индивидтерінің барлығына тән болмағандықтан, аллохроматалыққа жатқызылуы тиіс (ол туралы төменде айтылады).

3. Боялған минералдардың айрықша, ең болмағанда шағын тобын мынадай қосылыстар құрайды - оларда бояу хромофорлардың болуымен емес және кристалдық құрылымдардың электрстатикалық біркелкілігінің бұзылуына байланысты емес, құрылымның бос аралықтары ішінде иондардың немесе олардың тұтас топтарының болуына байланысты. Бұл жағдай атап айтқанда силикаттарға, олардың ішінде Cl^{1-} , $[SO_4]^{2-}$ және басқалар сияқты қосымша аниондардың «енуі» орын алатындарға қатысты. Оның мысалына ашық-көк минерал лазурит жатады.

Стереохроматизм деген атау алған бұл құбылыстың шынайы табиғаты әлі анықталмаған, бірақ бір анығы – мұндай минералдардың бояуы өздері хромофорлар боямайтын топтардың қосылуына немесе енуіне байланысты екені даусыз. Бұл бояулардың отқа төзімділігі мен беріктігі тән, осыған байланысты олар біздің эрадан бірнеше мың жыл бұрын белгілі болған, мысалы лазурит бояу ретінде қолданылған.

Аллохроматизм (грекше *аллос* – бөгде, бөтен). Бір минералдың өзі әр түрлі түс пен реңдерге боялатынының көптеген мысалдары белгілі. Мәселен, кварц әдетте түссіз, көбінесе өте мөлдір кристалдар (тау хрустали) түрінде кездеседі, әдемі күлгін түске боялады (аметист), қызғылт, сары-бурыл (темір оксидтері болуынан), алтындай (цитрин), сұр және түтіндей (раухтопаз), қанық қара (морион), ақыр соңында сүттей ақ түсті болады. Дәл осылай тас тұз – галит те ақ, сұр, сары, бурыл, қызғылт және көк түсті бола алады.

Көпшілік жағдайларда мұндай минералдардың бояуы бөгде майда шашыранды механикалық қоспаларға, белгілі бір түске боялған хромофорларға (бояғыштарға) байланысты. Мұндай бояушы заттар бейорганикалық та, органикалық та қосылыстардан тұра алады. Көбінесе түсті минералда қарқынды боялу туындату үшін олардың өте мардымсыз мөлшері де жеткілікті болады, мұнда боялу осы заттардың тек мөлшеріне ғана емес, сондай-ақ олардың дисперсиялылық дәрежесіне де байланысты болады.

Минералдың өзінің химиялық табиғатына тәуелсіз болатын осындай бояулары аллохроматалық (яғни минералдардың өзіне бөтен) деген атауға ие. Осындай жолмен боялған минералдар кристалзольдер болып табылады.

Ірілеу дисперсиялар да, яғни көзге көрінетін қандай да бір минералдардың шашыранды кірінділері байқалады. Мысалы, актинолиттің микроскоптық кірінділері бар жасылдау кварц кристалдары, сульфидтердің өте ұсақ кірінділеріне немесе көміртектілі заттарға толған қара кальцит және басқалар осындай.

Ақыр соңында, көптеген аллохромалық боялған шала мөлдір және беймөлдір коллоидтар (гельдер) мен метаколлоидтар туралы да айту керек. Көпшілік жағдайда ластаушы бояғыш қоспалар қатарына темірдің бурыл гидроокиселдері, қызыл темір окисі, қара марганец окиселдері, органикалық заттар және басқалар жатады. Көбінесе олардағы бояғыш пигмент әркелкі, кейде концентрлі қатарлар түрінде таралған. Мысалы, керемет нәзік әрі әр түсті суреттермен әшекейленген ақық осындай.

Псевдохроматизм (грекше *псевдо* – жалған, өтірік). Кейбір мөлдір минералдарда кейде «түстердің ойыны» байқалады. Ол түскен жарықтың жіктілік жарықшақтарының ішкі беттерінен кейде қандай да бір кірінділер бетінен шағылуына байланысты туындайды. Бұл құбылыс бізге керосиннің, мұнайдың, майдың су бетінде қалқып жүретін және түрлі-түсті «кемпірқосақ түстеріне» боялған құлпырма үлбір бойынша жақсы таныс. Ол мұнда мөлдір үлбірдің үстіңгі (оның ауамен шекарасынан) және астыңғы (судан ажырайтын шекарасынан) беттерінен шағылған жарық сәулелерінің интерференциялануымен түсіндіріледі.

Жалған бояудың осындай құбылыстары қатты мөлдір минералдарда да байқалады. Оның тамаша мысалына далашпаттар әулетінің плагиоклаздар тобына жататын әсемдік тас – лабрадор жатады. Оның әсіресе жылтырлаған жазықтықтарында белгілі бір бұрыштарға бұрған кезде кей жерлерінде әдемі көк және жасыл түсті құбылмалы жарқылдар көзге түседі. Бұл құбылулар негізделуі бойынша әр түрлі плагиоклаздың параллель орналасқан өте жұқа

калақтарына (ламельдеріне) түскен жарықтың интерференциясына байланысты. Мұндай микроқұрылым әуелгі гомогендік қатты ерітіндінің ыдырауы кезінде жаралады. Құлпырмалы ала-құла боялған үлбірлер көбінесе бурыл теміртастың (темір гидроксидтерінің) бүйрек тәрізді бетінде, темір жалтырының кристалдарында, борниттің (Cu_5FeS_4) шамалы тотыққан бетінде (күлгін және көк құлпырымдар түрінде) және басқаларда байқалады. Барлық осындай жағдайларда бұл бояудың минералдың өзінің табиғатымен ешқандай байланысы жоқ. Минералдардағы осындай үлбірлер *құлпырма* деп аталады.

Түстердің жіктелімі туралы. Минералдар бояуындағы реңдердің орасан зор әр түрлі болуының салыстырмалы сипаттауға келмейтіні олардың өте көп болғандығынан ғана емес, сондай-ақ біздің көру органымыз минералдар түсіндегі тек ірі айырмашылықты ғана тікелей қабылдай алатын қабілетіне байланысты. Оған көз жеткізу қиын емес, мысалы малахит пен гарниерит (никель гидросиликаты) сияқты екі жасыл минералды салыстыру жеткілікті. Оларды бөлек қарастырған кезде тәжірибесіз көзге бірдей боялған сияқты көрінеді, ал енді оларды қатар қойып қарастырсақ, бояуының реңдері айтарлықтай өзгеше екенін оңай байқаймыз.

Түс әсерін қабылдауда ұдайы машықтану процесінде түстерге деген көру жады біртіндеп қалыптасып, реңдерінің өзіне тән ерекшеліктері барған сайын көп қабылдана бастайды. Осы ерекшеліктерді еске сақтау қабілеті минералдарды диагноздауда үлкен қызмет атқарады.

Әдеттегі практикада минералдардың түсін анықтаған кезде оны қандай да бір жақсы белгілі нәрсенің немесе заттың бояуымен салыстырып бағалауға жүгінеді. Сондықтан минералдар түсінің қосарланған атауларын кең пайдаланады, мысалы: сүттей ақ, балдай сары, латунь-жасыл, кармин-қызыл, изумруд-жасыл, алма-жасыл (піспеген алманың түсі), шоколад-бурыл, қорғасын-сұр, қалайы-ақ және т.б.

Осы анықтаулардың барлығы аса салыстырмалы ғана екендігіне қарамай, олар қазір қабылданған және минералогия бойынша әлем әдебиеттерінің барлығында кездеседі.

Қалай болса да, алғашқы кезде біз ең болмағанда негізгі түстердің аттары туралы шарттасып, оларды белгілі бір минералдарға бекітуіміз керек. Негіз етіп түстердің мынадай жиі қолданылатын, бірқатар минералдар үшін біршама тұрақты атауларын қабылдауға болады:

- 1) күлгін – аметист;
- 2) көк – азурит;
- 3) жасыл – малахит;
- 4) сары – аурипигмент;
- 5) жирен – крокоит;
- 6) қызыл – киноварь (ұнтақта);
- 7) бурыл – лимониттің кеуек түрлестері;
- 8) сары-бурыл – лимониттің охра түсті түрлестері;
- 9) қалайы-ақ – арсенопирит;
- 10) қорғасын-сұр – молибденит;

- 11) болат-сұр – солғын кен;
- 12) темір-қара – магнетит;
- 13) индиго-көк – ковеллин;
- 14) мыс-қызыл – сомтума мыс;
- 15) жез-сары – халькопирит;
- 16) металл-алтын – алтын.

Көрінетін жарықтың барлық спектрі біркелкі жұтылған кезде пайда болатын ахроматалық түстердің мысалы ретінде мыналарды келтіреміз: түссіз - тау хрусталі, сүттей ақ - кварц, сұр - тас тұз және қара - пиролюзит.

Сызық түсі

Бұл терминмен минералдың майда ұнтақтағы түсін айтады. Мұндай ұнтақты біз сыналатын минералмен бисквит деп аталатын фарфор қалақтың жылтырланбаған күңгірт бетіне сызық жүргізу арқылы оңай аламыз. Ұнтақ қалақ бетінде берілген минералға тән түске боялған оның ізі түрінде алынады.

Бұл белгі минералдардың бояуымен салыстырғанда әлдеқайда тұрақты, сондықтан ол сенімділеу диагноздық белгі бола алады.

Сызық немесе ұнтақ түсі бірқатар жағдайларда минералдың өзінің түсіне сәйкес келеді. Мысалы, киноварьдың өзінің түсі де және ұнтағының түсі де қызыл, магнетиттің – қара, лазуриттің – көк және т.с. Басқа минералдарда олардың түсі мен сызық түсінің арасында күрт айырмашылық байқалады. Табиғатта белгілі минералдар қатарында мұндай айырмашылықты біз, мысалы, гематитте (минералдың түсі болат-сұр немесе қара, ал сызығы – қызыл), пиритте (минералдың түсі жез-сары, ал сызығы – қара) және т.б. байқалады.

Мөлдір немесе шала мөлдір боялған минералдардың көпшілігінің сызығы түссіз (ақ) немесе шамалы ғана боялған болып келеді. Сондықтан сызық түсі күрт боялған беймөлдір немесе шала мөлдір қосылыстар үшін ең үлкен диагноздық мәнге ие.

Табиғатта көбінесе бір минералдың өзі кейде тығыз, ал кейде ұнтақ тәрізді болып кездеседі. Олардың түсі де бір-бірінен бірқатар жағдайларда көп айрықшаланады. Оның мысалына жататындар: лимонит (темірдің гидроокисі) – тығыз массада қара, ал ұнтақталғанда (жоса түрінде) – сарғыш-бурыл; гематит (темірдің сусыз окисі) – кристалл түрлестерінде қара дерлік, ал ұнтақталған түрлестерінде ашық-қызыл және т.б. Кейбір жағдайларда минералдың түсі тығыз кристалл массаларында да, дисперсияланған күйде бірдей. Мысалы малахит аталған екі түрде де бірдей жасыл, азурит – көк, киноварь – қызыл, аурипигмент – ашық-сары және т.б.

Айта кететіні, көптеген шала мөлдір минералдардың құрамында қандай да бір қосылыстардың дисперсиялық фаза түріндегі қоспаларының болуына байланысты аллохромалық бояуы шын мәнінде осы қосылыстардың ұнтақ күйіндегі түсіне сәйкес келеді. Мысалы, темір гидроокиселдерімен боялған сары-бурыл және бурыл опал, майда таралған сусыз темір окисімен қанық кіріккен қызыл яшма және т.б. осындай.

Жылтырлығы және сыну көрсеткіші

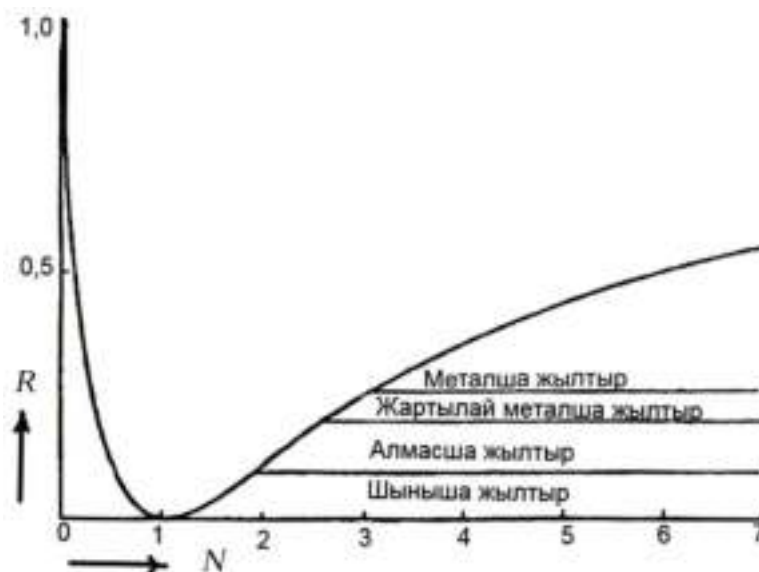
Минералға түскен жарық тасқынының бір бөлігі кері шағылады, бірақ та тербелістер жиілігі өзгерістерге түспейді. Осы шағылған жарық минерал жылтырлы түсінігін жасайды. Жылтырлықтың қарқындылығы, яғни шағылған жарық мөлшері кристалл ортадан шағылған кездегі жарықтың жылдамдығы аралығындағы айырмашылық күрт болған сайын, яғни минералдың *сыну көрсеткіші* неғұрлым көп болса, соғұрлым арта түседі.

Минералдардың сыну көрсеткіштерін білсек, онда олардың басым көпшілігі үшін жарықтың сыну көрсеткішін Френель формуласы бойынша есептеп шығару қиын болмайды:

$$R = [(N-1)/(N+1)]^2, \quad (1)$$

мұнда R – сыну көрсеткіші; N – минералдың ауаға қатысты орташа сыну көрсеткіші.

Осы формулаға N мәндерінің анықталған бір қатарын қою арқылы графикалық жолмен – қисық түрінде шағылу көрсеткішінің (жылтырлығының) сыну көрсеткішіне тәуелділігін оңай көрсетуге болады (26-сурет).



26-сурет. Минералдардың шағылу көрсеткішінің (R) сыну көрсеткішіне (N) тәуелділігі

Графиктен көрінетіндей, қисық $N=1$ мәні үшін, яғни ауаның сыну көрсеткішіне жақын болғанда минимумға ие болады. Минералдардың басым массасы бірден жоғары сыну көрсеткішіне болатындықтан, бізді қызықтыратын шағылу көрсеткішінің мәні R осы минимумның оң жағында орналасады.

Ежелде таза практикалық жолмен анықталған минералдар жылтырлығы қарқындылықтарының градациясы мынадай баспалдақты шкалаға дәл деп айтарлықтай сай келеді.

1. *Шыныша жылтырлық*, $N=1,3-1,85$ болатын минералдарға тән. Оларға жататындар: мұз ($N = 1,309$), криолит ($N = 1,34-1,36$), флюорит (N –

1,43), кварц ($N=1,544$); олардан кейін көптеген санды галоид қосылыстар, карбонаттар, сульфаттар, силикаттар және басқа оттек тұздары орналасады; бұл қатар шпинель ($N=1,73$), корунд ($N=1,77$) және анартастардың көпшілігі (N мәні 1,85-ке дейін) сияқты минералдармен аяқталады.

2. *Алмасша жылтырлық*, $N=1,85-2,6$ болатын минералдарға тән. Олардың мысалына жататындар: англезит ($N=1,87-1,89$), циркон ($N=1,92-1,96$), касситерит ($N=1,99-2,09$), жақтарының беті алмасша жылтырайтын сомтума күкірт ($N=2,04$), сфалерит ($N=2,3-2,4$), алмас ($N=2,40-2,46$), рутил ($N=2,62$). Рутилдің қанық боялған түрлестеріне көбінесе шала металл жылтырлығы тән.

3. *Шаламеталша жылтырлық* сыну көрсеткіші $N=2,6-3,0$ (L_i – жарығы үшін) мөлдір және шаламөлдір минералдарға тән. Мысалдары: алабандин ($N=2,70$), куприт ($N=2,85$), киноварь ($N=2,91$).

4. *Металша жылтырлық* сыну көрсеткіші $N>3,0$ минералдарда болады. Шағылу қабілеті артуы ретімен келесі мысалдарды келтірейік: гематит, пиролюзит (кристалды), молибденит, антимонит, галенит, халькопирит, пирит, висмутин және басқалар.

Шағылу қабілетінің қисығы (*26-суретте*) минимумның сол жағында күрт жоғары көтеріледі. Осы сыну көрсеткіші 1-ден аз алқапқа тек кейбір таза (сомтума) металдар ғана түседі: күміс ($N=0,18$), алтын ($N=0,36$), мыс ($N=0,64$) және басқалар.

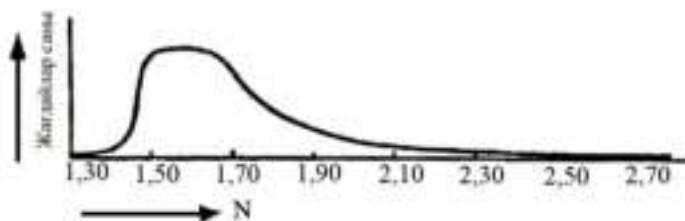
Беймөлдір минералдардың шағылыстыру қабілетін анықтаған кезде сыну көрсеткішінен басқа осы ортаның жұту коэффициентін (K) де ескермеуге болмайтынын көрсету қажет. Бұл жағдайлар үшін шағылыстыру көрсеткіші (R) келесі формуламен (минералдардың оптикалық изотроп киықтары үшін) өрнектеледі:

$$R = [(N-1)^2 + N^2 K^2] / [(N+1)^2 + N^2 K^2]. \quad (2)$$

Бұл жағдай беймөлдір минералдар үшін шағылыстыру көрсеткіштерінің шамасы іс жүзінде Френкель формуласы (1) бойынша анықталғаннан біршама жоғары болатынын білдіреді. Жоғарыда келтірілген ережеден ауытқитын сияқты сирек көрсеткіштер осымен жеңіл түсіндіріледі. Мысалы, сыну көрсеткіші 2,42 болатын магнетит алмас жылтырлығына ие болуы тиіс көрінеді, бірақ беймөлдірлігіне байланысты, яғни жарықты елеулі жұтуы бойынша оның шағылыстыру көрсеткіші біршама артады диаграмманың (*26-суреттегі*) шаламеталл жылтырлығы жолағына өтеді.

Егер біз минералдар әлемінде қандай жылтырлық басым болады екен деген сұрақ қойсақ, онда барлық мөлдір және жарық өткізетін минералдарды сынудың орташа көрсеткіші бойынша бөлгенде 1,5-1,7 мәндері үшін айқын білінген кең максимумды көреміз (*27-сурет*). Есептеу көрсеткендей, шыныша жылтыр минералдардың үлесіне 70 % шамасындағы табиғи қосылыстар келеді, олардың сыну көрсеткіші 1,9 шамасынан аспайды. Екінші топ, бірақ оған кіретіндер саны аздау, металл жылтырлықты минералдарға келеді. Дегенмен бұл металша жылтырлық практикалық жағынан маңызды

минералдардың тұтас қатарына тән болатындығы сондай, олардың көпшілігі бұрын (ал неміс тілінде қазір де осылай аталады) осы белгісі бойынша аталып келген. Мысалы: галенит (қорғасын жылтыры), халькозин (мыс жылтыры), антимонит (сүрме жылтыры), кобальтин (кобальт жылтыры), гематит (темір жылтыры) және т.б.



27-сурет. Минералдардың түрлі сыну көрсеткіші бойынша салыстырмалы таралғандығы

Сыну көрсеткіші жалпы алғанда иондардың рефракциясына, минералдардың химиялық құрамына, олардың меншікті салмағы мен кристалдық құрылымының ерекшеліктеріне байланысты екені белгілі. Көп бұрын анықталғандай, бірдей кристалдық құрылымға ие минералдарда сыну көрсеткіші меншікті салмағы сияқты әдетте катионының атомдық салмағы артқан сайын арта түседі. Мысалы, MgO (меншікті салмағы 3,64) үшін $N=1,73$, ал NiO (м.с. 6,4) үшін $N=2,23$; немесе Al_2O_3 (м.с. 5,2) үшін $N=3,01$ және т.с. Сондай-ақ қосылыстар құрамына изоморфты қоспалар түрінде жоғары валентті иондардың Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} , V^{5+} және т.б. кіруі сыну көрсеткішін елеулі арттыратыны белгілі. Изоқұрылымды қосылыстарда, мысалы NaCl мен KCl, катиондар өлшемінің артуы ($N^{1+} 0,98$ және $K^{1+} 1,33$) төмендеу тығыздықты жайласуға және тіпті N көрсеткішінің төмендеуіне (KCl үшін – 1,490, ал NaCl – 1,544) әкеледі, бұл меншікті салмақтың төмендеуіне сәйкес, бірақ атомдық салмақтары K-де (39,0) Na-дан (23,0) жоғары болса да. Кері сурет сыну көрсеткіші үшін NaF және NaCl қосылыстарында анықталады, мұнда фтор анионы (атомдық салмағы 19,0) хлор анионымен (а.с. 35,5) алмасады: NaF үшін $N=1,328$, ал NaCl үшін $N=1,544$, яғни бірінші қосылыста екіншіге қарағанда елеулі төмен, бірақ NaF меншікті салмағы (2,79) NaCl меншікті салмағынан (2,16) жоғары болса да. Бұл жағдай фтордың өте төмен рефракциясымен түсіндіріледі. Сондай-ақ катионның координациялық санының өзгеруі кристалдық құрылымның қайта құрылуы кезінде, жоғарыда көрсетілгендей (*полиморфизмді* қараңыз) меншікті салмағына, ал осыдан шығатыны – кристалл заттың сыну көрсеткішіне де ықпал ететіні өзінен-өзі түсінікті.

Жарықтың шағылу нәтижесіне ықпал ететін екінші маңызды факторға (жарықтың шағылысу және жұтылу көрсеткіштеріне тәуелсіз) жарықтың шағылысу бетінің сипаты жатады.

Жоғарыда біз минералдар жылтырлығын айнадай тегіс беттерге (яғни кристалл жақтарына және жіктілік жазықтықтарына) байланысты қарастырғанбыз. Бірақ егер минерал омырылымында мінсіз тегіс емес, жасырын төмпешікті немесе шұңқырлы беттер болса, онда шыныша, алмасша және басқаша жылтырлықтар біршама күңгірт реңге ие болады.

Мұнда шағылысқан жарық өзінің реттелгендігін жартылай жоғалтып, біршама шашырауға ұшырайды. *Майша жылтырлық* немесе көбінесе айтатындай, *май жылтырлығы* пайда болады. Бұл құбылысты біз егер тас тұздың жаңа омырылымындағы жылтырлығының ылғал ауадағы өзгеруін қарастырсақ көрнекі көз жеткізуге болады. Бірнеше күннен кейін жылтыр беттер бізге майдың өте жұқа үлбірімен көмкерілгендей болып көрінеді. Әсіресе бұл жаңа сынықтар бетімен салыстырғанда жақсы байқалады. Майша жылтырлықтың ең көрнекі мысалдарына сомтума күкірт омырылымындағы жылтырлық немесе шамалы ғана байқалатын ыдырауға ұшыраған элеолиттің (нефелиннің) жылтырлығы жатады.

Бейтегістігі дәрекілеу білінген беттер *балауыз жылтырлығына* ие болады. Әсіресе бұл жасырын кристалды массаларға және қатты ақшыл боялған гелдерге тән.

Егер майда дисперсиялы массалар қосымша майда кеуектілікке ие болса, онда мұндай жағдайда минералға түскен жарық сан қилы бағыттарда толық шашырап кетеді. Микроскоптық кеуектер жарық үшін өзіндік «ұстағыштар» болады. Осындай беттер *күңгірт* деп аталады. Оған мысал болатындар: бор, каолин (күрғақ күйдегі), түрлі жоса, күйе пиролозит MnO_2 , темір гидроокиселдерінің майда кеуекті массалары және т.б.

Құрылыс элементтері кеңістіктің бір немесе екі өлшемдерінде айқын білінетін бағдарлануға ие болатын кейбір минералдарда жылтырлық пен байланысты минералдың *құлпыруы* деп аталатын өзіндік құбылыс байқалады.

Параллель талшықты құрылысты минералдарда (асбест, немалит, селенит және т.б.) біз әрдайым нағыз *жібекше құлпыруды* байқаймыз. Қабатты кристалдық құрылымға ие және осыған байланысты жетік жіктілігі күрт білінген мөлдір минералдар өзіндік *інжуше құлпырымға* ие болады (мысалдары: мусковит, қалақша гипс, тальк және басқалар). Інжу құлпырылымының пайда болуы дәл осы қабаттылықпен байланысты екеніне оңай көз жеткізуге болады, егер жұқа жабын және терезе әйнектерінен буда жасап оларға үстінен қараса. Біз шын мәнінде інжудің жылтырлығына өте ұқсас өзіндік құлпырымды көреміз.

Жіктілігі және омырылымы

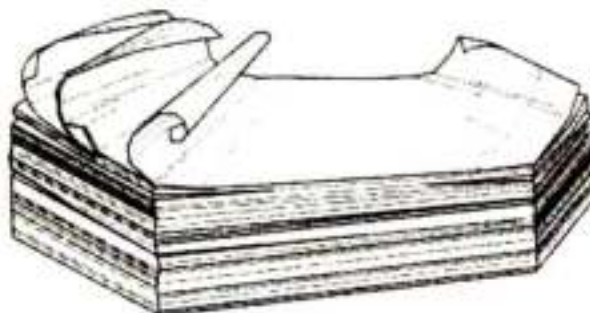
Жіктілік деп кристалдардың және кристалл түйірлерінің шын мәнінде бар немесе болуы мүмкін жақтарға параллель белгілі бір кристаллографиялық жазықтықтар бойынша сыну немесе тарамдалу қабілетін айтады. Кристалл заттардың бұл қасиеті олардың тек қана ішкі құрылысына байланысты және осы минерал үшін кристалдарының сыртқы пішініне байланысты болмайды (мысалы, кальциттің ромбоэдр, скаленоэдр және призма кристалдарында немесе тіпті бұрыс кристалдық түйірлерінде әрдайым ромбоэдр бойынша бір ғана жіктілік пішіні байқалады. Әр бір берілген кристалл затқа тән болатын бұл белгі минералды анықтауға көмектесетін маңызды диагноздық белгілердің біріне жатады. Көптеген минералдардың *шпаттар* деп аталуы кездейсоқ емес (далашпаттар, ауыр шпат, балқытқыш шпат, Исланд шпаты және т.б.). Ол туралы ортоклаз

(жіктілігі тік бұрыш бойынша), плагиоклаз (қиғаш бұрыш бойынша) және басқалар сияқты минералдардың аты да айтады (шпаттарға - грекше *spate* – қалақ - ежелден металша жылтырлыққа ие болмайтын минералдарды жатқызады, олардың бірнеше бағытта жақсы жіктілігі болады).

Практикада жіктілік білінімінің жетіктік дәрежесін ажырату маңызды. Осы көзқарасқа сәйкес келесі бес баспалдақты шкала қабылданған.

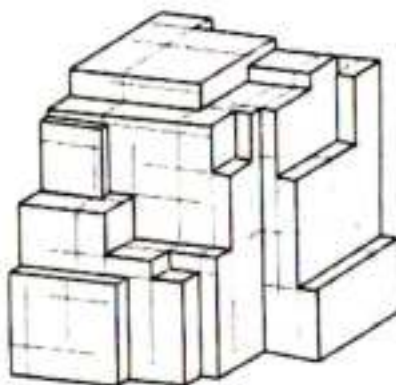
1. *Аса жетілген жіктілік* (мысалы, слюдалар мен хлориттерде).

Кристалл жұқа жапырақшаларға тарамдалуға қабілетті (28-сурет). Омырылым тек жіктілігі бойынша жүріп, басқаша болуы аса қиын.



28-сурет. Слюданың аса жетік жіктілігі

2. *Жетік жіктілік* (мысалы кальцит, галенит, тас тұз және т.б. кристалдарында). Балғамен соққан кезде жіктілігі бойынша сынып, сырттай қарағанда нағыз кристалдар сияқты сынықтар жаралады. Мысалы, галенитті сындырған кезде ұсақ дұрыс кубиктер (29-сурет), кальцитті уатқанда – дұрыс ромбоэдрлер және т.с. болады. Басқа бағыттар бойынша (жіктілігі бойынша емес) омырылым алу біршама қиын.



29-сурет. Галениттің үш бағыт бойынша жетік жіктілігі және сатыланған омырылымы

3. *Орташа жіктілік* (мысалы, далашпаттар, мүйізалдамышы және басқалар кристалдарында). Минерал сынықтарында жіктілік жазықтары бойынша да, кездейсоқ бағыттар бойынша бейтегіс сынықтар анық байқалады.

4. *Жетілмеген жіктілік* (мысалы, апатитте, касситеритте, сомтума күкіртте және басқаларда). Ол қиын байқалады, оны минерал сынықтарында іздеуге тура келеді. Омырылымдар әдетте бейтегіс беттер болып шығады.

5. *Аса жетілмеген жіктілік*, яғни іс жүзінде жоқ (мысалы, корундта, алтында, платинада, магнетитте және басқаларда). Ол айрықша жағдайларда ғана анықталады. Мұндай денелердің омырылымы әдетте ұлу тәрізді, ол қождың немесе жанартау шынысында – обсидианда байқалады (30-сурет). Ұсақ ұлуша омырылым көптеген сульфидтерге тән. Кейбір сомтума металдар үшін (мыс, күміс және т.б.) тікен, ілгек тәрізді омырылым тән.



30-сурет. Обсидианның ұлуша омырылымы

Жіктілігі бар түрлі минералдарда оның беттері кристалдық құрылымдардың түрлі типтері үшін әркелкі бағдарланған: иондық байланысты координациялық құрылымдарда, мысалы, галенит (PbS) пен галитте ($NaCl$) – куб бойынша; кальцитте ($Ca [CO_3]$) – ромбоэдр бойынша; комплексті аниондары бір бағытта созылған тізбектерден тұратын силикаттарда, мысалы пироксендер мен мүйізсалдамышында – призма бойынша; анион қабаттарымен сипатталатын силикаттарда, мысалы слюдалар мен хлориттерде – пинакоид бойынша.

Браве дамытқан бұрынғы ұғымдарға сәйкес жіктілік жазықтықтары кеңістік торының бір-бірінен ең қашық жазық торларға параллель өтеді. Г.В. Вульф кристалхимиялық деректерге негіздеп көрсеткендей, иондық байланысты кристалдарда жіктілік құбылысы кристалл оргаларда әр түрлі бағыттардағы құрылымдық бірліктер ілінісу күштерінің анизотропиясына байланысты. Мәселен, мысалы сфалериттің (ZnS) кристалдық құрылымында иондардың бір-бірінен ең қашық жазық торлары октаэдр жақтарына параллель орналасады, сонда Браве ережесіне сәйкес жіктілік те $\{111\}$ бойынша өтуі тиіс еді. Ал іс жүзінде жіктілік сфалеритте ромбтық додекаэдрдің $\{110\}$ жазықтықтарына параллель білінімденеді, мұнда жазық торлар аралығындағы қашықтық қысқалау болса да.

Ол мынаған байланысты: бірінші жағдайда бір-бірінен қашық жазық торлардың әрқайсысы аттас, бірақ заряды бойынша әр түрлі иондардан (Zn^{2+} , немесе S^{2-}) тұрады, осы торлар аралығындағы химиялық байланысты анықтайды. Ал екінші жағдайда әр тор мырыш пен күкірттің өзара өтемелеуші иондарынан тұрады да сондықтан қашықтығының қысқалау болғанына қарамай, бұл жазық торлар өз ара нашар байланысқан. Дегенмен

алмас, сфалерит сияқты кристалдық құрылымға ие болғанымен, бірақ тек қана көміртект атомдарынан тұрады да октаэдр бойынша жіктілікке ие болады (яғни, Браве ережесіне сәйкес).

Көбінесе бір минералдағы әр түрлі бағдарланған жіктілік жазықтықтары әр түрлі жетіктік дәрежесінде болады. Мысалы, моноклиндік сингонияға жататын гипс кристалдарында мынадай жіктіліктер байқалады: екінші пинакоид $\{010\}$ бойынша аса жетік, ромбылық призма $\{111\}$ бойынша – орташа және бірінші пинакоид $\{100\}$ бойынша – жетілмеген. Жіктілік бағыттарының саны да бірқатар жағдайларда маңызды диагноздық белгі болады. Мысалы, бірқатар сыртқы белгілері (түсі, қаттылығы, жылтырлығы және басқалары) бойынша бір-біріне аса ұқсас сфалерит (ZnS) пен вольфрамит $[(Fe, Mn)WO_4]$ сияқты минералдар бір-бірінен мыналарымен ажыратылады: сфалерит кристалдары мен түйірлерінде $\{110\}$ бойынша жіктіліктің бірнеше (алты) жазықтығы байқалады, ал вольфрамитте жетік жіктілікті біз әрдайым тек қана бір жазықтықта $\{010\}$ бойынша, кристалдардың немесе түйірлердің ұзындығы бойынша және жалпаюына көлденең бағытта табамыз.

Кристалдарда жіктіліктен басқа *дербестік* жазықтықтары да байқалуы мүмкін, олар Н.В. Беловтың ұсынысы бойынша ең тығыз жайласу жазықтықтары бойынша заңдылықтық бағдарланған құрамы басқа субмикроскопиялық «қабатаралық» заттарға байланысты. Жіктіліктен айырмашылығы дербестіктер қатал жалпақ болмайды және әдетте бір бағытта бағдарланады. Дербестік білімінің себебіне кристалл индивидтеріндегі ішкі кернеу де жатуы мүмкін. Ол сыртқы механикалық деформацияға немесе изоморфтық қоспалардың зоналық таралуына байланысты. Бұл жағдай кристалдардың жапсарлас бөлікшелеріндегі кристалдық торлардың әрөлшемділігінен туындайды.

Дербестік, жіктілік сияқты емес, ол минералдың міндетті қасиеттерінің қатарына кірмейді, өйткені оның конституциясымен анықталмайды. Осыған қарамай, көптеген минералдар үшін дербестік аса тән және индивидтердің басым көпшілігінде білінеді, ал жасайтын беттерінің сапасы бойынша жіктілік жазықтықтарымен бәсекелесе алады (моноклиндік пироксендер).

Қаттылығы

Қаттылық деп берілген минералдың қандай да бір сыртқы механикалық әрекетке, атап айтқанда тырнауға қарсылық көрсету дәрежесін айтады.

«Дененің қаттылығы» түсінігі бұл мәселені зерттеу жүргізілгеніне қарамай, осы уақытқа дейін белгілі дәрежеде толық анықталмаған. Қаттылықты тырнауға, тесуге, қысымға, жылтырлауға қарсыласуы бойынша да ажыратады. Барлық осы әдістердің зерттеу әдістерінің нәтижелері көрсеткендей, біз іс жүзінде өзінің табиғаты бойынша әркелкі физикалық құбылыстармен ұшырасамыз.

Кәдімгі минералогиялық практикада қаттылықты анықтаудың ең қарапайым тәсілі – бір минералды екіншісімен тырнау қолданылады, яғни минералдың салыстырмалы қаттылығы анықталады. Мұндай қаттылықты

бағалау үшін он минералдан тұратын Моос шкаласы қабылданған. Бұл шкаладағы әр келесі минерал өзінің алдыңғыларының бәрін өзінің үшкір шетімен тырнап жырады.

Бұл шкаланың эталондарына қаттылығы 1-ден 10-ға дейінгі ретпен орналасқан келесі минералдар қабылданған:

1. Тальк	$Mg_3[Si_4O_{10}(OH)_2]$
2. Гипс	$C(SO_4) \cdot 2H_2O$
3. Кальцит	$Ca(CO_3)$
4. Флюорит	CaF_2
5. Апатит	$Ca_5[PO_4]_3F$
6. Ортоклаз	$K[AlSi_3O_8]$
7. Кварц	SiO_2
8. Топаз	$Al_2[SiO_4](F, OH)_2$
9. Корунд	Al_2O_3
10. Алмас	C

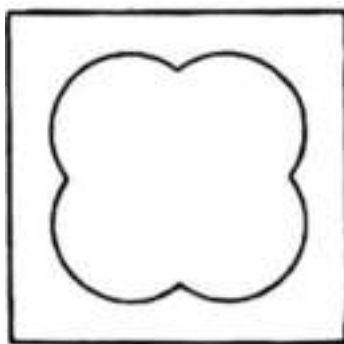
Зерттелетін минералдың қаттылығын анықтау оның эталондық минералдардың ең соңында қайсысын жырғанын байқау жолымен жүргізіледі. Мысалы, егер зерттелетін минерал апатитті жырса, ал өзін ортоклаз тырнаса, онда оның қаттылығы 5 пен 6-ның аралығында болғаны.

Минералдар қаттылығын анықтаудың осы қарапайым да қарадүрсін әдісі бізді минералдарды диагноздау үшін толық қанағаттандырады.

Моос шкаласының мәндері ауқымында көптеген минералдардың әр түрлі жақтары мен сынықтарындағы қаттылығы біршама тұрақты болады, дегенмен оның тырнау бағытына байланысты өзгертін мысалдары да белгілі. Мысалы, кианит $Al_2[SiO_4]O$ минералында созылу бағытында қаттылық 4,5 болса, ал дәл сол жазықтықтың көлденең бағытындағы қаттылығы 6–7. Сондықтан бұл минералдың дистен деп аталуы да кездейсоқ емес (грекше *ди* – екі жақтама, *стенос* – қарсыласатын).

Ғылыми-зерттеу мақсатында минералдар қаттылығын дәлірек анықтау арнайы аспаптарда – склерометрлерде алмас немесе металл үшкірімен жүргізіледі. Біз бұл қондырғыларды қарастыруға тоқталып жатпаймыз. Кристалл беттерін тырнау әдісімен бүлдіру құбылыстарын түбегейлі зерделеу кезінде алынған кейбір қорытындыларды ғана келтіреміз.

Ең алдымен анықталғаны, кристалл заттардың қаттылығы векторлық қасиеттерге (анизотропияға) ие, яғни кристалдың әр түрлі бағытында оны мәні бірдей болмайды. Бұл айтылған кубтық сингониялы минералдардың өзіне де қатысты. Мысал ретінде *31-суретте* тас тұз кубының жағындағы қаттылық «гүлі» келтірілген.



31-сурет. Тас тұз кубы жағындағы қаттылық «гүлі»

Егер кристалдың сыналатын жазықтығы жіктілік жазықтығына перпендикуляр бағдарланса, онда ол жіктілік жазықтығы ізіне параллель бағытта ең кіші, ал перпендикуляр бағытта ең үлкен қаттылық мәніне ие болады.

Кристалхимиялық көзқарас бойынша кристалл заттардың қаттылығы олардың құрылымының типіне және атомдар (иондар) байланысының беріктігіне байланысты. Бұл салада біздің қолымызда әлі онша толық деректер болмағанымен, қалай десек те кейбір жағдайлар жеткілікті дәрежеде біршама толық анықталған.

Иондық кристалл денелер үшін бірқатар эмпирикалық деректерді салыстыру жолымен анықталатыны – қаттылық жалпы алғанда кристалдық құрылымдар тығыздығына тура пропорциялы болатыны. Қаттылық ионаралық қашықтықтар артқан сайын қосылыстардың берілген типі үшін азаяды:

	BeO	MgO	CaO	SrO	BaO
<i>AX</i> аралығы, Å	1,55	2,10	2,40	2,57	2,77
Моос бойынша қаттылығы	9	6,5	4,5	3,5	3,5-3

Және бір анықталғаны, бірдей құрылымда кристалданатын және ионаралық қашықтықтары шамалас қосылыстар үшін валенттілік, яғни иондардың заряды артқан сайын қаттылық жоғарылайды.

Бұдан басқа, академик В.С. Соболев көрсеткендей, қосылыстардағы катиондардың координациясы да үлкен мәнге ие болады. Оксидтер мен силикаттарда ең үлкен қаттылық қосылыстардың $r_k:r_a$ қатынасы координациялық сан орнықтылығының төменгі шегіне сәйкес келетін катиондарға жатады. Құрамында алтылық координациялы алюминий бар силикаттар үшін қаттылық алюмосиликаттарға (төрттік координациялы Al бар) қарағанда жоғары болады. Қосылыстар құрамында гидроксил иондары мен судың болуы қаттылықты біршама төмендетеді.

Айта кететіні, минералдардың жасырын кристалды, майда кеуекті және ұнтақ тәрізді түрлестері жалған төмен қаттылыққа ие. Мысалы, гематиттің (Fe_2O_3) кристалдардағы қаттылығы 6 болса, ал қызыл жоса түріндегіде – 1-ден төмен, бұл оның майда дисперсияланған массадағы жекелеген бөлшектері аралығында із жүзінде ілінісу жоқ екенін көрсетеді.

Тұтас алғанда табиғи қосылыстардың басты массасы 2-ден 6-ға дейінгі қаттылыққа ие. Қаттылау минералдарға сусыз окиселдер мен силикаттар жатады: кварц - SiO_2 (қаттылығы 7), касситерит – SnO_2 (6-7), корунд - Al_2O_3 (9), шпинель тобындағы минералдар MgAl_2O_4 (8), берилл (7,5-8), турмалин (7-7,5), анартастар (шамамен 7) және т.б.

Морттығы, майырылғыштығы, серпімділігі

Бұл қасиеттер минералдарды диагноздаған кезде екінші дәрежелі мәнге ие, бірақ бірқатар минералдар үшін олар аса өзіндік мәнге ие болады.

Морттық деп минералдың оның бетінде пышақтың ұшымен сызық жүргізген кезде осы қысымнан үгілу қасиетін түсінеді. Мұндай жағдайда, мысалы «солғын кен» деген атпен белгілі минерал «тозаңдалады», яғни шеттерінде ұнтақтардың күңгірт сызығын береді. Оған сыртқы белгілері бойынша ұқсас халькозин мұндай жағдайда тегіс жалтырақ із береді, бұл оның майысқақ деформациялануын, яғни майырылғыштық қасиетін куәландырады. Осындай құбылыс, бірақ күрттеу білінген формада, майырылғыш сомтума металдарда (мыс, алтын, күміс және басқа) байқалады. Майырылғыш қасиет сондай-ақ мынадай түрде де білінеді – олардың түйіршіктерін төстің үстінде кішкентай балғамен соққанда жұқа қалақшаларға жалпаяды.

Нашар кристалдық құрылымға ие бірқатар минералдар үшін пластикалық құбылыс кристалл зат қабаттарының бір немесе бірнеше жазықтықтар бойымен параллель жылжудан тұратын сырғанауына байланысты (тас тұздағы сырғанаулар). Басқа минералдарда пластикалық механикалық қосақжаралумен сүйемелденеді (мысалы, кальцит кристалдарында).

Серпімділік, яғни заттың деформациялаушы күштің ықпалымен өзінің пішінін өзгертуі және осы күшті алған кейде оның қайта қалпына келуі де кейбір минералдар үшін өзіндік сипатқа ие. Мұндай қасиетке мысалы слюдалар ие, олар құрамында кальций бар басқалардан, морт слюдалар деп аталатындардан және иген кезде сынатындардан осы қасиетімен айрықшалаанады. Хлориттерге ұқсас слюдалар қатты иген кезде сынбайды, бірақ өзінің бұрынғы жағдайын қайта қалпына келтірмейді. Асбест түрлерінде бөлінуге қабілетті минералдардың көпшілігі тарамдаған кезде текстильдік өңдеуге жататын (жіпше иірілетін) өте майда майысқақ талшық береді. Гипстің талшық тәрізді түрлесі – селенит – мұндай қасиетке ие болмайды.

Меншікті салмағы

Минералдардың меншікті салмағы (қазіргі кезде ол көбінесе «тығыздық» терминімен алмастырылуда, минералогияда қалыптасқан салт бойынша тығыздықтың бірлігі $г/см^3$ пайдаланылады) ең алдымен кристалл затты құрайтын атомдардың немесе иондардың атомдық салмағына байланысты екені белгілі. Содан соң, иондар радиусының өлшемдері айтарлықтай рөл атқарады. Радиустың үлкеюі атом салмағы артуын

өтемелейді, тіпті кейде ол меншікті салмақтың азаюына әкеледі. Мысалы, калийдің атомдық салмағы натрийдікінен 1,7 есе көп болғанына қарамай, KCl меншікті салмағы (1,98) NaCl меншікті салмағынан (2,17) аз болады. Өйткені K^{1+} ионының радиусы (1,33) Na^{1+} ионы радиусынан (0,98) артық, бұл жағдай кристалл заттың көлеміне қатты ықпал етеді. Одан басқа, жоғарыда көрсетіліп өткендей (*полиморфизмді* қараңыз) кристалдық құрылымдағы өзгеріс, атап айтқанда координациялық санның артуы оның көлемінің кішіреюіне әкеледі, сондықтан меншікті салмақ артады. Сонымен, В.С. Соболев бойынша, катион валенттілігінің төмендеуі (немесе анион валенттілігінің жоғарылауы) басқа жағдайлардың барлығы бірдей болған кезде меншікті салмақтың көбеюімен де сүйемелденуі тиіс.

Минералдардың меншікті салмағы кең ауқымда ауытқиды: 1-ден аз мәннен (мұз, кейбір органикалық минералдар) 23-ке дейін (осмийлі иридий тобындағы минералдардың кейбір түрлері).

Табиғи органикалық қосылыстардың, Менделеев кестесінің жоғарғы бөлігінде орналасқан жеңіл металдар оксидтері мен тұздарының басты массасы 1–3,5 ауқымындағы меншікті салмаққа ие: янтарь, қатты битумдер (1–1,1), галит – NaCl (2,1–2,5), гипс – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (2,3), кварц – SiO_2 (2,65), алмас – C (3,51) және басқалар. Тек бұл топтағы минералдардың кейбіреулері ғана ауырлау меншікті салмаққа ие болады. Мысалы, корунд пен оның түрлері – Al_2O_3 (4) осындай. Сульфаттар арасында айрықша бөлінетіні – барит – $BaSO_4$ (4,3–4,7), сондықтан да ол осындай атқа ие болған (грекше *барос* – ауырлық).

Менделеев кестесінің төменгі бөлігінде орналасатын нағыз ауыр металдар қосылыстары 3,6–9 аралығындағы орташа меншікті салмақ мәндерімен сипатталады. Мысалдар: сидерит – $FeCO_3$ (3,9), сфалерит – ZnS (4), пирит – FeS_2 (5), магнетит – $FeFe_2O_4$ (4,9–5,2), гематит – Fe_2O_3 (5–5,2), англезит – $PbSO_4$ (6,4), церуссит – $PbCO_3$ (6,5), касситерит – SnO_2 (7), галенит – PbS (7,5), киноварь – HgS (8), уранинит – UO_2 (8–10).

Ең үлкен меншікті салмаққа сомтума ауыр металдар ие: мыс (8,9), висмут (9,7), күміс (10–11), алтын (15–19), сомтума платина тобының минералдары (14–20), иридий мен осмийлі иридий тобының минералдары (17–23).

Минералдардың меншікті салмағы негізінен екі тәсілмен анықталады: 1) сұйықты ығыстыру әдісімен, яғни үлгілердің салмағын өлшеу және олардың құтыға ығыстырып шығарған суының көлемін өлшеу жолымен; 2) суға батырылған минерал салмағының жоғалуын анықтау жолымен (үлгінің абсолют салмағын оның суда жоғалтқан салмағына бөледі). Минералдың ұсақ түйіршіктерінің меншікті салмағы *пикнометр* деп аталатын аспаптың немесе арнайы жетекшілік құралдарда сипатталған ауыр сұйықтар және Вестфаль таразысы көмегімен.

Қандай да бір минерал үшін анықталатын меншікті салмақтың жеткілікті елеулі ауытқуы біршама сирек байқалады және ол изоморфизмнен басқа, әдетте бөтен минералдардың өте ұсақ кірінділерімен, солардың ішінде газ бен сұйықтың көпіршіктерімен байланысты болады.

Минералдардың меншікті салмағындағы айырмашылық кенсіз минералдарды (кварц, кальцит, барит және басқалар) кен минералдардан (галенит, сфалерит, касситерит және басқалар) бөлу мақсатында әр түрлі гравитациялық әдістермен байытқан кезде пайдаланылады. Байытқан кезде пайдалы қазбалардың мөлшері жоғарылау концентраттар алынады.

Магниттілігі

Айқын білінген магнитті қасиеттерге ие минералдар саны онша көп емес. Парамагнитті қасиеттері шамалы минералдарды магнит оңай тартады (пирротиннің күкіртке жұтаң түрлестері). Бірақ өздері магнит болып табылатын минералдар да бар, яғни олар ферромагнитті болады және өзіне темір үгінділерін, ілмектерді, шегелерді тартып алады. Мұндай қасиетке магнетит, никельді темір, ферроплатинаның кейбір түрлестері ие. Соңында, магнитпен тебілетін диамагнитті минералдар белгілі (сомтума висмут).

Магнитті қасиеттерге ие минералдардың саны көп болмағандықтан, бұл белгі маңызды диагноздық мәнге ие. Минералды магниттілікке сынау еркін айналмалы магнит нұсқарының көмегімен оның ұштарына сыналатын үлгіні жақындату арқылы жүргізіледі. Магнитті қолдануға да болады, ол үшін минералдың ұсақ түйірлерін пайдалану керек, ал магнит қағазбен көмкеріледі.

Магнит нұсқарының көмегімен анықталмайтын нашар магнитті қасиеттерге минералдардың жеткілікті көп саны ие. Осы шамалы білінген магнитті қасиеттерге минералдарды шлих деп аталатын материалда зерттеген кезде, электромагнит көмегімен фракцияларға ажырату негізделген. Шлих табиғи уатылған минералдар массасын шаю арқылы алынады.

Радиобелсенділігі

Менделеевтің периодтық жүйесінің ең соңында уран-радий радиобелсенді элементтерінің тобы орналасады, олар айрықша қызығушылық туындатады. Радиобелсенділік құбылысын А. Беккерель 1896 жылдың өзінде ашқан. Оны ары қарай зерделеу атом құрылысының жалпы заңдарын ашуға және ядролық физика деп аталатын саланы дамытуға әкелді.

Белгілі болғандай, иондардың жаралуы, химиялық қосылыстардың және жалпы химиялық процестер негізінен дерлік атомдардың сыртқы электрондық қабықтардың құрылысына және электрондар қайта топтасқанда бөлінетін энергияға байланысты. Атомдар ядросы бұл кезде ешқандай өзгерістерге ұшырамайды. Радиобелсенді түрленулер болса, керісінше, ядролардың өзінде жүретін өзгерістермен байланысты. Осыған байланысты атомдар ядросының құрылысы туралыны есте сақтау қажет.

Анықталғандай, атом құрылысына бөлшектердің үш негізгі түрі катысады: протон мен нейтрон – ядрода, ал электрон – ядроның төңірегінде орналасады. Протондар саны атомның номеріне, ал нейтрондар – массалық саны (атомдық салмағына жуық) мен атомдық нөмері аралығындағы айырмасына тең. Элементтердің периодтық жүйесін қарастырғанда (2-кестеде), элементтердің бірінші қатарларында атом ядросының протондар

мен нейтрондар саны бойынша әдетте бір-біріне тең екенін оңай көреміз. Ауырлау элементтерге өткен сайын біз нейтрондар саны протондармен салыстырғанда біртіндеп артатынын байқаймыз (энергияның минимумына, осылайша ядроның орнықтылығына да жету үшін деп саналады). Соңғы қатарда енді нейтрондардың протондарға қатысты аса елеулі артықтығы анықталады. Мысалы, ауыр уран U^{238} ядросында 92 протон және 146 нейтрон ($238-92$), ал U^{235} изотопының ядросында – үш нейтронға кем болады (протондар саны бірдей болса да).

Периодтық жүйенің осы соңғы элементтерінде атомдар ядросы онша орнықты болмайды. Осындай элементтерге радиобелсенділік ыдырау деп аталатын құбылыс аса тән, ол төмендегі бөлшектерді *ұдайы бөліп шығаруда* көрініс табады:

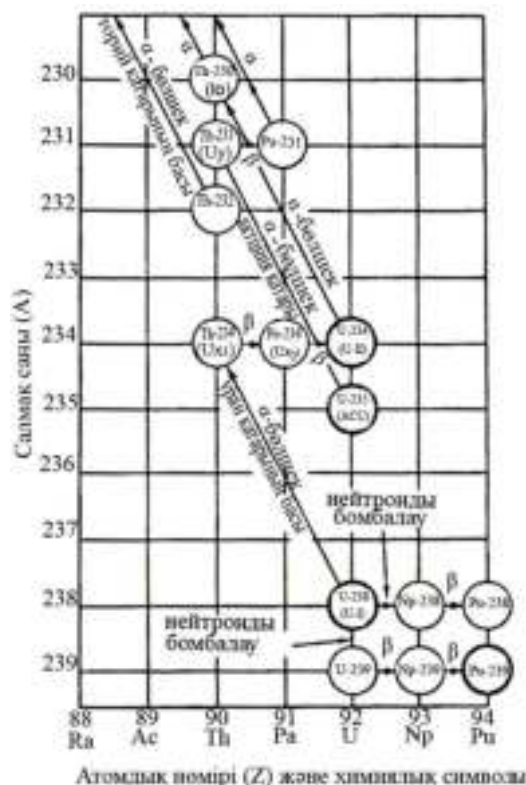
1) α -бөлшектер, яғни атомдық номері 2 және массалық саны 4 болатын гелий атомдарының ядросы – ол орасан зор жылдамдықпен бөлініп шығады да ауаны иондайды, яғни оны электр өткізгіш жасайды; бұл бөлшектерді бөліп шығару берілген элементтің атомын біртіндеп жеңілдеу элементтер атомына айналдырады, мұнда әр бөлшек бөлініп шыққан кезде атомдық номер екі бірлікке, ал атомдық масса төрт бірлікке азаяды;

2) β -бөлшектер, олар электрондармен бірдей – осындай бір бөлшекті бөліп шығару әрине, ядроның *зарядын бір бірлікке арттырады* (массалық саны сақтала отырып); осылайша өзгеру өнімінің атомдық нөмері де бір бірлікке артады;

3) γ -сәулелер, олар рентген сәулесі сияқты электромагнит сәулелену болып табылады.

Атомдардың энергияның үлкен шығынымен сүйемелденетін осындай ұдайы түрленуі температура мен қысымға тәуелсіз жүреді. Біртіндеп α - және β -бөлшектерінің бөлініп шығуы нәтижесінде жаралатын ақырғы өнімдерге қорғасынның орнықты изотоптары жатады. Жаралатын аралық атомдар ыдырауының жылдамдығы секундтың бөліктерінен миллиардтаған жылдарға дейінгі аса кең ауқымда ауытқиды. Берілген изотоп атомдарының барлық санының жартысы ыдырау үшін қажет уақытты *жартылай ыдырау периоды* деп атайды. Ол әр атом үшін тұрақты.

Тізбектелген радиобелсенді түрленулердің үш қатары анықталған: 1) уран қатары, ол уран U^{238} изотопынан басталады (*32-сурет*), мұнда ыдыраудың аралық өнімдері ішінде жартылай ыдырау периоды 1600 жыл болатын радий де жаралады; 2) актиний қатары – уранның басқа U^{235} изотопынан басталып, түрленудің аралық өнімдері ішінде актиний де кіреді; 3) торий қатары – Th^{232} изотопынан басталады.



32-сурет. Табиғи радиобелсенді түрленулерінің үш қатарының бастапқы бөлікшелері және жасанды алынатын трансурандық элементтер – нептуний мен плутоний

Минералдардың радиобелсенділігі олардың ауаны иондар жасауы бойынша электроскоптар, иондаушы камералар және есептеуіштердің әр түрлі жүйелері көмегі бойынша анықталады. Химиялық белсенді сәулелер бөлуге қабілетті құрамында уран бар минералдар фотографиялық қалақшаларға да күшті әрекет көрсетеді. Радиографияларды алу үшін осыны пайдаланады. Осы мақсатта жылтырланған руда үлгісін қараңғы бөлмеде немесе жәшікте біліндіру үшін фотоқалақшаның үстіне белгілі бір уақытқа қояды. Белсенді сәулелер жарыққа сезімтал қабатта кәдімгі химиялық әрекет жүргізеді. Білінімдегеннен кейін қатты қарайған жерлер құрамында уран бар минералдардың бар екенін көрсететін болады. Радиографияның позитивтік бейнелерінде, яғни фотоқағазда, оның ақшыл бөлікшелері радиобелсенді элементтерге бай минералдарға, ал қаралары – құрамында ондайлар жоқ минералдарға сай келетін болады.

Уақыттың орасан зор кезеңдері ағымында өтетін радиобелсенді ыдырау құбылысы құрамында бір кезде радиобелсенді минералдар жаралған әр түрлі таужыныстардың абсолют геологиялық жасын анықтау үшін пайдаланылады. Таужыныстар жасын осылай анықтау ең алдымен әр радиобелсенді заттың ыдырау жылдамдығы тек қана тұрақты болып қоймай, оның температураға да және жүріп жататын химиялық реакцияларға да тәуелсіз екендігіне байланысты мүмкін болады. Екінші маңызды жағдайға минерал ыдырауы ақырғы өнімдерінің (гелий мен қорғасынның) мөлшері радиобелсенді минералдар жаралған сәттен бері өткен уақытқа тікелей тәуелді екендігі жатады.

Минералдардың басқа қасиеттері

Минералдардың көптеген басқа қасиеттерінің (жылуөткізгіштік, электрөткізгіштік, пироэлектрлік және пьезоэлектрлік қасиеттері, детекторлық қасиеттері, балқығыштық, ерігіштік және басқа) ішінде тек ең көп диагноздық мәнге иелерін ғана, яғни бірқатар жағдайларда минералды анықтауға немесе жасалған анықтауды тексеруге көмектесетіндерін ғана көрсетеміз. Сондай-ақ кен қазушылар өздерінің практикасында пайдаланатын қасиеттерін де еске саламыз.

Ерігіштік, балқығыштық, жсалынды бояу және солар сияқты басқа қасиеттер оларды арнайы зерттеумен айналысуды қажет етеді. Олар толығымен дәнекерлеуші түтікше курсында қарастырылады, сондықтан мұнда біз тоқталмаймыз. Минералдардың кейде кен іздеушілер, кен жұмыскерлері мен өндірушілері пайдалы қазба кенорындарын іздеу және барлау кезінде пайдаланған кейбір қасиеттерін көрсетеміз.

Кейбір минералдардың соққан немесе сындырған кезде шығаратын *иісі* кейде кенде қандай да бір элементтердің болатынын көрсетті. Мысалы, сомтума күшәла, арсенопирит ($\text{Fe}[\text{AsS}]$) және металдардың басқа арсенидтері қатты соғып қалғанда күшәланың сарымсаққа тән иісін шығарады, ол әсіресе қыздырғанда және отқа қақтағанда күшті білінеді. Кейде желілік кварц, ал онымен көбінесе сирек металдар минералдары байланысты болады, жарып сындырған кезде өзіндік жағымсыз иіс шағарып, ол кен қазу практикасында кейбір жағдайларда жетекші белгі болып табылады. Бірқатар пайдалы қазбаларда саздың иісі және басқалар ажыратылады.

Кейбір минералдар, әсіресе ұнтақталған массаларда *сипалау* арқылы оңай танылуы мүмкін. Мысалы, көпшілікке белгілі талькті сипалағанда майлы сияқты көрінеді, ол осы қасиетімен өзіне ұқсас пирофиллитен ажыратылады. Дәл осылай ярозиттің – $\text{KFe}_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6$ ұнтақ түрлестері саусақтар аралығында езгілеген кезде майлы, майланған зат сияқты сезім береді де өзіне түсі бойынша ұқсас жоса сияқты лимонит $\text{HFeO}_2 \cdot \text{aq}$ массаларынан айрықшаланады, ал лимонит осылай сипалаған кезде қатаң, құм түйірлері сияқты көрінеді.

Тамаққа қолданылатын кейбір пайдалы қазбалардың сапасын анықтаған кезде *дәмдік* сезінулерге жүгінеді, мысалы, ас тұзды, артезиан ауыз суын және басқаларды іздеу мен барлау кезінде.

Кейде әсіресе, кен қазу практикасында дыбыстық құбылыстар да белгілі бір көмек көрсете алады. Ұңғышылар осы жағынан кейде асқан шебер қабілеттілік көрсетеді. Мысалы, церуссит ($\text{Pb}[\text{CO}_3]$) массалары еденге құлаған кезде әйнек құлағанда қирайтындай дыбыс шығарады. Дәл осылай, беріктігі бойынша әр түрлі таужыныстар мен рудалар да кен аспаптарымен соққылаған кезде шығаратын дыбыстар бір-бірінен ажыратылады, оларды тек үлкен тәжірибе болған кезде ғана байқауға болады.

Осылайша, минералдарды далалық практикада анықтағанда барлық бес сезім – көру, сезіну, иіскеу, дәм және есіту қатысатынын көреміз. Айрықша рөлді, әрине, көру мен тәжірибе нәтижесінде дамитын көргенде есте сақтап қалу атқарады.

3-ТАРАУ

ТҮБЕГЕЙЛІ МИНЕРАЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ ТУРАЛЫ

Студенттер практикасында жер қыртысында таралған минералдарды қарапайым әдістермен анықтауды үйрену үшін біршама ірі кристалдармен немесе біркелкі минералдық массалармен жұмыс жасау тура келеді. Осы мақсатта әдетте екінші тарауда сипатталған зерттелетін минералдардың сыртқы диагноздық белгілерін пайдаланады. Минералдардың көпшілігі, әсіресе құрамында өнеркәсіп үшін құнды металдар бар минералдар *дәнекерлеуші түтікше* көмегімен және элементар *сапалық химиялық* реакциялармен қосымша зерттеулерді қажет етеді. Бұл әдістер арнайы құрастырылған анықтамалықтарда берілген.

Бірақ сиректеу кездесетін немесе қарапайым әдістермен қиын анықталатын жүйелі минералогиялық зерттеулер кезінде ғана байқалатын минералдар тек жетілдірілген әдістемелерді қолдану арқылы ғана дәл анықтала алуы мүмкін. Осындай түбегейлі зерттеулердің қажеттілігі табиғи қосылыстардың құрамын толығырақ білуге қажеттілік пайда болған кездегі жағдайлардың барлығында білінеді: 1) геологиялық карталарды құрастыру үшін қажет таужыныстарды петрографиялық зерделеуде; 2) қандай да бір жаңа кенорынды игерген кезде, осыған байланысты шикізаттың барлық компоненттерін комплексі пайдалану мәселелерін шешу мақсатында рудалардың заттық құрамын жан-жақты зерделеу мәселесі қойылады; 3) минералогиялық жағынан айрықша қызық аудандарда арнайы зерттеулер үшін; 4) минералдық затты тереңдете зерттеулерді қажет ететін геохимиялық мәселелерді шешкен кезде.

Минералдарды түбегейлі зерделеген кезде қажеттілігіне қарай әдетте келесі зерттеу әдістерін қолданады: кристалхимиялық, рентгенметриялық, кристаллооптикалық, термикалық, спектрлік және рентгенспектрлік электрондық-зондылық талдаумен бірге химиялық-аналитикалық. Осы әдістердің барлығы арнайы жетекшіліктерде толық мазмұндалады. Мұнда біз тек олардың қысқаша қалай жүргізілетінін және қашан қолданылатынын көрсетеміз.

Кристалхимиялық талдау – оны Е.С. Федоров әзірлеген. Бұл әдіс біз кристалдармен жұмыс жасаған жағдайлар кезінде ғана қолданыла алады. Бұл талдаудың мәнісі кристалл жақтары аралығындағы бұрышты өлшеумен қатар, қандай да бір шамада кристалдардың сыртқы пішіні бойынша ішкі құрылысын анықтауда жатыр. Өйткені ең жақсы дамыған әрі жиі кездесетін кристалл жақтары әдетте құрылымдық бірліктердің ең тығыз жайласқан жазықтықтарына сәйкес келеді.

Осындай жолмен кристалдардың сингониясы мен симметрия түрі ғана анықталып қоймайды, сондай-ақ минералдың құрамы да анықталады. Е.С. Федоров «Царство кристаллов» (1920 жылы) монументтік еңбек жазып, мұнда кристалхимиялық талдау бойынша арнайы кестелер келтірген.

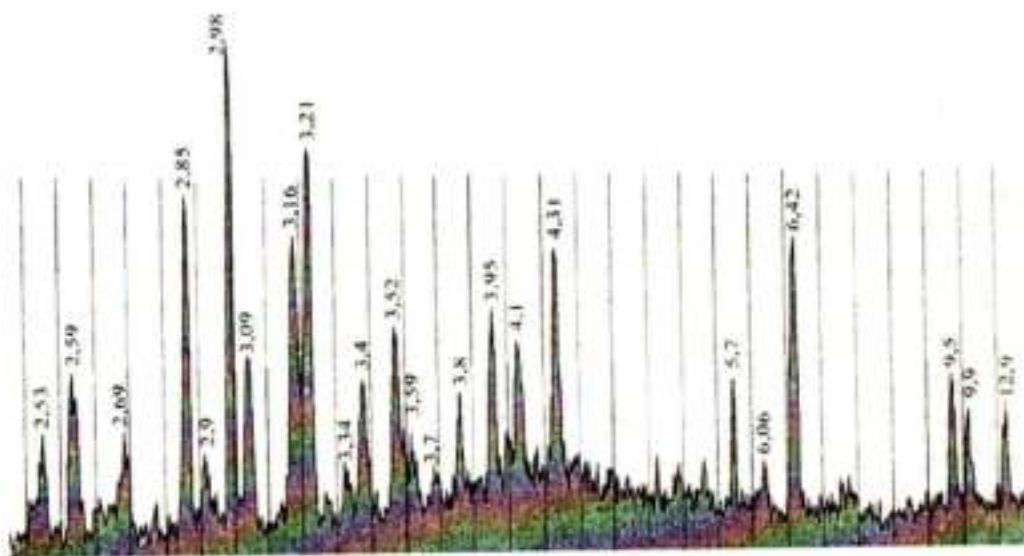
Айта кететіні, кристалл затты зерттеудің рентгендік әдістердің практикада кең ендіру барысында, кристалхимиялық талдау диагноздау әдісі ретінде қазір біртіндеп өзінің мәнін жоғалтты және тек тарихи жағынан ғана қызық болып қалды. Бірақ кейбір кең таралған минералдар (кальцит, пирит, циркон) кристалдарының әр түрлі келбеттерінің типін олардың жаралу жағдайына байланысты зерделеу кристалдар пішінінің типоморфтық мәнін анықтауға әкелді және іздеулік кристалморфологияның маңызды ережелерін сипаттауға мүмкіндік берді.

Рентгенметриялық талдау (рентгенография) (оны рентгенқұрылымдық талдаумен араластырмау керек. Рентгенқұрылымдық талдаудың мәселесіне заттың кристалдық құрылымын анықтау жатады) – кристалл затты алынатын рентгенограммаларды эталондықтармен салыстыру жолымен анықтау үшін қолданылады. Ол әр түрлі әдістермен жүргізілуі мүмкін, олардың ішінде ең көп қолданылатыны: кристалды айналдыра бұру (Поляни әдісі), рентгендік гониометр әдісі (Вейссенберг әдісі) және ұнтақ (Дебай-Шеррер) әдісі.

Бастапқы екі әдіс біз монокристалдармен жұмыс жасаған жағдайларда қолданылады. Кристалды айналдыра бұру әдісі деп айналдыра бұрған кристалды монохромалық рентген сәулесімен рентгенге түсіруді айтады. Осыған керісінше Лауэ әдісінде кристалл қозғалмайды, рентген түтікшесінің ұдайы спектрімен сәулелендіріледі. Кеңдеу қолданылатын рентген түсіруде Вейссенберг әдісі бойынша кристалды айналдырудан басқа сондай-ақ цилиндр үлдірді кристалды бұру осіне параллель, яғни рентген сәулесіне перпендикуляр бағытта үнемі қозғап отырады.

Дебай-Шеррер әдісінің басымдығына оны минералдың агрегаттық массаларын *жасырын кристалды және майда дисперсиялы* заттармен қоса зерделеуге мүмкіндік беретіні жатады. Сондықтан ол минералогтар практикасында диагноздау мақсатында кең қолданылады. Рентгенграмма, ол әдетте *дебаеграмма* деп аталады, арнайы камерада жарыққа сезімтал үлдірдің жолағында алынды. Дебаеграммада білінімдегеннен кейін әр түрлі қарқындылықты сызықтар – доғашықтар (үгітілген сыналатын зат кристалл сынығының ең тығыз жайласқан жазықтықтарынан шағылған рентген сәулесінің конустары жасайтын сақиналар бөліктері) көрінеді. Алынған дебаеграмманы сыналатын затқа сыртқы белгілері бойынша ұқсас басқа белгілі заттар дебаеграммаларымен салыстырып (сызықтарының қарқындылығы бойынша және есептеп шығарылған жазықтық аралық қашықтықтары бойынша), берілген минералды дәл анықтауға болады. Ол үшін спектрлік зерттеулер нәтижесі және ең болмағанда кейбір оптикалық константалар болу керек. Бұл әдістің лайықтылығына дебаеграмма алу үшін бар болғаны ұнтақ түріндегі 1 мм^3 заттың жеткілікті екендігі жатады. Бұл айтылған толық химиялық талдау жүргізу үшін жеткілікті материал мүмкін болмаған жағдайларда айрықша маңызды. Бірақ, айта кететіні, өте майда дисперсиялы заттар шамалы білінген, анық емес дебаеграмма берсе, ал аморфтық денелер рентген сәулесінде тіпті білінбейді.

Қазіргі кезде ұнтақтың рентгенграфиясы негізінен ұнтақ дифрактометриясы әдісімен жүргізіледі. Мұнда шашыранды сәулелену кванттар есептеуімен анықталып, ол өзіжазғышпен тұрғызылған қисықтар түріндегі нәтижелер алуға мүмкіндік береді (33-сурет). Бұл әдістің сезімталдығы мен дәлдігі дифракцияланған сәулеленуі фототіркеу кезіндегіден жоғары, бірақ Дебай-Шеррер әдісіндегіге қарағанда 5-10 есе артық зат қажет болады. Ұнтақ дифрактометриясы минералдар кристалдық торы параметрлерін жоғары дәлдікпен бағалауды қамтамасыз етеді. Осы әдіс көмегімен атомдардың позициялары бойынша таралуы сияқты кристалдық құрылымдардың жекелеген сырын анықтауға мүмкіндік береді, яғни рентгенқұрылымдық талдаудың жекелеген мәселелерін сәтті шеше алады. Заманауи дифрактометрлерді (34-сурет) пайдаланып полиминералды қоспалардағы компоненттерді сенімді анықтауға және олардың тіпті массалық қатынастарын бағалауға болады (сандық рентгенфазалық талдау).



33-сурет. Эвдиалиттің дифрактограммасы. Қисықтың шыңдары тордың белгілі бір әулеттері жазықтықтарынан дисперсияланған сәулелену қарқындылығының максимумдарына сай келеді. Шыңдардың үстіндегі цифрлар тиісті жазықтықтар аралығы қашықтарын (A) көрсетеді.



34-сурет. Дифрактометр

Осыған байланысты қалыңдығы бірнеше миллимикрон (нанометр) өте жұқа үлбірлерді немесе төтенше майда дисперсиялы коллоидтық массаларды зерттеудің электронграфиялық әдістері туралы да ескерте кетпекпіз. Бұл әдіс электрондардың заңдылық бойынша орналасқан атомдармен кездескен кезде, яғни біз рентген сәулесі үшін алғандарымыз сияқты заңдылық шашырауы қасиеттеріне негізделген. Мұндағы айырмашылық мынада – рентген сәулесі кристалл заттың тереңіне кіреді, ал электрон будасы болса тек 0,01 μ (10 нм, яғни миллиметрдің жүз мыңнан бір бөлігіне дейінгі) шамасына дейінгі тереңдікке ғана ене алады.

Электронграфияның аса нәтижелі заманауи варианттарының біріне электрондық микроскопты қолданып іске асырылатын *электрондар микродифракциясы* әдісі жатады. Микродифракция микрозондылық талдаумен бірігіп кристалдық құрылым және микрондық масштабтағы өте ұсақ минерал бөлшектерінің құрамы туралы аса құнды ақпарат жеткізеді. Бірақ ол аса жұқа препараттар даярлауды қажет етеді.

Резонанс әдістері өте көп, олар минералдардың құрамы мен құрылымдарын зерттейді. Оларға заттар спектроскопиясының сан қилы түрлері кіреді. Олардың ішінде минералогияда айрықша рөл атқаратындар: инфрақызыл спектроскопия (ИҚС); көрінетін алқаптағы оптикалық спектроскопия, сондай-ақ электрондық парамагнитті резонанс (ЭПР) спектроскопиясы; ядролық магнитті резонанс (ЯМР) және Мессбауэр спектроскопиясы (ЯГР).

Инфрақызыл спектроскопия минералдарды эталондық спектрлері бойынша идентификациялауға мүмкіндік береді. Одан басқа бұл әдіс заттың құрылымдық күйі туралы – атомдар координациясы және атомдар топтануларының геометриясы, кристалдық құрылымның жетілгендігі туралы құнды ақпарат береді. ИҚ-спектрлерде сондай-ақ минерал бөлшектерінің өлшемдері мен пішіндерінің ерекшеліктері де көрініс табады, ал ол заттың дисперсиялылық дәрежесін зерделеуге мүмкіндік береді.

Оптикалық спектроскопия көрінетін алқапта ион-хромофорлардың табиғаты, концентрациясы және құрылымдық жағдайы туралы пайдалы ақпарат әкеледі, бұл изоморфтық алмасулар сипатын толық зерделеуге мүмкіндік береді.

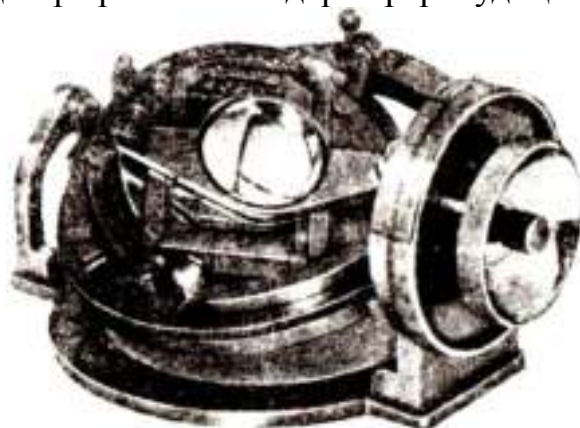
ЭПР спектроскопиясы жұпталмаған электрондары бар атомдар құрылымында электрондық-тесік орталықтардың болуы мен орналасуын да (темір мен платина тобының иондары, сирекжер элементтер), және де типі мен концентрациясын да анықтауға мүмкіндік береді.

ЯМР спектрлерінен минералдар құрылымындағы протондардың орналасуы мен күйі туралы өте құнды мәліметтер шығарып алуға болады. Ал рентгенқұрылымдық әдістер болса іс жүзінде протонды бөлуге қабілетсіз.

Мессбауэр спектрлері темір құрылымындағы атомдардың күйін (концентрациясы, валенттілігі және координация ерекшеліктері) анықтау үшін пайдаланылады.

Кристаллооптикалық талдау микроскоп көмегімен зерделенетін минералға тән бірқатар оптикалық қасиеттерді анықтауды қамтиды.

Мөлдір минералдар – олар таужыныстар мен рудаларды құрайды, жұқа шлифтерде (қалыңдығы 0,03 мм шамасында) немесе ұнтақтар түрінде зерттеледі. Зерделенетін минералдарда анықтауға жататын оптикалық константалар қатарына кіретіндер: сыну көрсеткіші N (оптикалық изотроп минералдар үшін) немесе сынудың басты көрсеткіштері N_g , N_m және N_p (анизотроп минералдар үшін) – арнайы таңдап алынған иммерсиялық сұйықтар көмегімен немесе дәлірек микрорефрактометрде анықталады; содан кейін қоссыну N_g-N_p , оптикалық таңба (анизотроп минералдар үшін), оптикалық осьтер бұрышы $2V$ (қос осьті анизотроп минералдар үшін) және басқалар. Мөлдір минералдардағы үйектеуші микроскоп көмегімен *өтетін жарықта* анықтау әдісі соңғы кезде жетілудің жоғары дәрежесіне жетті, әсіресе плагиоклаздар үшін. Оларды Е.С. Федоровтың әмбебап үстелшесінде (35-сурет) анықтаудың әдістемесі әзірленіп, оны ары қарай академик А.Н. Заварицкий дамытқан. Осы әдіспен жұқа мөлдір шлифтерде кірікпелер түрінде анықталатын өте ұсақ кристалл түйірлерінің (диаметрі миллиметрдің жүздеген бөліктері) өзі де дәл анықтала алатын болғандықтан, ол бұл әдістің үлкен жетістігі деп саналады. Мөлдір минералдарды микроскоп арқылы анықтаудың кесте түріндегі арнайы анықтауыштары әзірленген. Оларды петрографтар таужыныстарды микроскоппен зерделегенде кең пайдаланылады. Бұл әдісті қолдану микроскоппен жұмыс жасауды меңгеруді және зерттеудің бірқатар арнайы тәсілдерін үйренуді қажет етеді.



35-сурет. Е.С. Федоровтың әмбебап үстелшесі

Беймөлдір минералдар негізінен металл қазбалар кенорындары рудаларының құрамына кіреді, сондай-ақ таужыныстарда кірікпелер түрінде кездеседі. Олар айнадай жылтырланған шлифтерде (аншлифтерде) *шағылған жарықта* микроскоп арқылы опак-иллюминатор деп аталын арнайы жарық берушінің көмегімен зерделенеді. Оптикалық константалар қатарына жататындар: шағылу көрсеткіші R (минералдың түскен жарықтың қандай да бір мөлшерін шағылдыру қабілеті, микрофото-мегаокуляр немесе фотоэлемент көмегімен өлшенеді), ал оптикалық анизотроп қососьті минералдар үшін – шағылудың басты көрсеткіштері R_g , R_m және R_p , қосшағылу R_g-R_p және басқалар. Анизотроп, әсіресе қососьті минералдардың оптикалық константаларын анықтау әдістемесі әлі әзірленбеген. Осыған қарамай шағылу көрсеткішін минералдардың микроскоп астында

зерделенетін басқа қасиеттерін зерттеу деректерімен бірге анықтау (қаттылығы, түсі, реактивтерге қатынасы және т.б.) рудаларды микроскоп астында шағылған жарықта зерделеу үшін үлкен қызмет көрсетеді (*минераграфия*). Осы жолмен көп жағдайларда өлшемдері тіпті миллиметрдің мыңнан бір бөлігіндей (яғни микроөлшемді) руда минералдардың өте ұсақ кірікпелерінің өзі анықтала алады.

Термикалық талдауды зерттеулер практикасына академик Н.С. Курнаков енгізген. Ол заттың қызыну (немесе суыну) қисығын оның эндо-және экзотермикалық көрсеткіштерін анықтау мақсатында алуға саяды. Аталған көрсеткіштер зерттелетін затта температура көтерілгенде орын алатын физикалық және химиялық түрленулерге байланысты (судың бөлінуі, тотығу, тотықсыздану, жаңа полиморфтық модификацияларға өту және басқалар).

Минералогия практикасында бұл әдіс әдетте көзбен (немесе басқа тәсілдермен) қиын анықталатын жасырын кристалды және майда дисперсиялық массалар үшін қолданылады. Бірқатар минералдық жаралымдар (каолин, алюмогидраттар, темір гидроксидтері, карбонаттар, хлоридтер және басқалар) үшін минерал түрлерін анықтауға жағдай жасайтын өзіндік қызыну қисығы алынады.

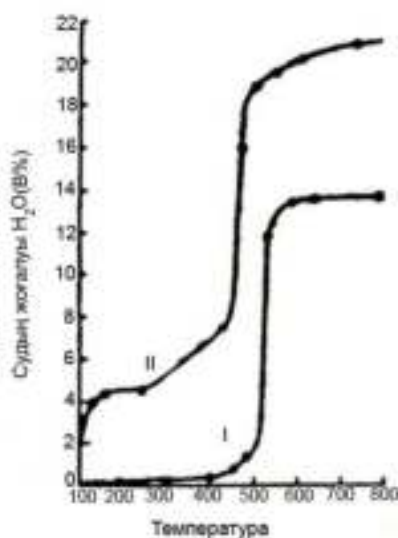
Айта кету керек, осы әдіспен диагноздық мәнге ие қандай да бір өзіндік деректер алуға болатын минералдар санына келсек, ол табиғатта белгілі минералдар санының шамалы бөлігін ғана құрайды. Оларға негізінен құрамында су, гидроксил және көмірқышқыл бар химиялық қосылыстар жатады. Содан соң осы әдіспен зерттелетін заттың тек негізгі массасының табиғатын білуге болады. Сыналатын минералдық массалардағы көп жағдайларда бізді қызықтыратын механикалық қоспалар, олардың мөлшері 5-10 % шамасына жетпесе, кейбіреулерін айтпағанда, жалпы анықталмайды.

Басқа жағынан, бірқатар жағдайларда минералдық заттарды зерделеген кезде олардың қасиеттерін толықтау танымдау қажеттілігі пайда болады, әсіресе осы заттар практикалық мәнге болғанда. Осы затты қыздырған кезде не болатынын дәл білу де маңызды. Осы мақсатта тек қызыну қисығын алу ғана жеткіліксіз болады. Заттың анықталған түрленуі нәтижесінде алынатын өнімдер химиялық талдауды, оптикалық қасиеттерін зерделеуді және рентгенметриялық зерттеулерді қажет етеді.

Осы түрленулер қандай температурада болатынын дәл білу маңызды. Анықталғандай, термограммалар осы талапқа сай келе бермейді – бұл түрленулерді өзіжазғыш аспаптармен тіркеу әдетте кешігіңкіреді, айырмашылық 60-100⁰С-қа жетіп, тіпті одан да асады. Осы жағынан құрамында су және гидроксил бар минералдар үшін әлдеқайда дәл деректерді минералдарды қыздырған кездегі *дегидратация қисықтарынан* алуға болады. Осы мақсатта сыналатын зат 1-2 г немесе одан да көп мөлшерде алдымен платина тигелімен бірге өлшеніп алынады да электр пеште біртіндеп белгілі бір температурада (интервалы әдетте 50⁰С) салмағының азаюы соның алдындағы өлшеумен салыстырғанда 0,03-0,05 % болғанға дейін ұсталады және тек осыдан кейін ғана пештің температурасы келесі

сатыға көтеріледі. Осындай жолмен алынған судың азаю қисығы затта түрлену қандай температура кезінде болатыны туралы анық түсінік береді.

36-суретте сусызданудың екі қисығы келтірілген: каолиниттің $Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8$ және галлуазиттің - $Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8 \cdot 4H_2O$. Құрамында су жоқ, тек қана ОН гидроксил тобы бар каолинит үшін (қисық I) күшті өзгеру температурасының 500-550⁰С интервалында болады, галлуазитте (қисық II) кристалдану суының молекулалары 150⁰С-қа дейін бөлінеді (қисықтың бірінші секірісі), ал гидроксил топтары – 450-500⁰С температура кезінде (қисықтың жоғары қарай екінші жоғары секірісі). Рентгенметриялық зерттеулермен анықталғандай, бұл минералдардың кристалдық торы – гидроксил иондарының жоғалуына байланысты бүлінеді, сыну көрсеткіші қатты төмендейді.



36-сурет. Каолинит (I) пен галлуазиттің (II) сусыздану қисықтары

Химиялық талдау (классикалық немесе «сулы» талдау) зерттеулердің қиын және қымбат әдісіне жатады. Сондықтан толық химиялық талдауға белгілі минералдардан бірқатар қасиеттерімен айрықшаланатын жаңа минерал немесе оның қандай да жаңа түрлесі анықталуы мүмкін деп пайымдауға негіз бар жағдайларда ғана жүгінеді. Өйткені химиялық талдау деректерінсіз құрамы өзгермелі болатын зерделенетін минерал түрлестері туралы мәселені шешу мүмкін емес немесе минерал сирек қосылыстар қатарына жатады, ал ол туралы толық талдаулардың саны шектеулі ғана және т.с.

Толық химиялық талдау үшін қажет, яғни қоспалардан тазартылған таза заттың мөлшері ең аз дегенде 1-2 г болу керек. Оны алу әрдайым мүмкін бола бермейді, әсіресе таужыныста немесе рудада сирек кездесетін және шашыранды ұсақ кристалдар немесе минерал түйірлері үшін.

Егер зерттелетін минерал қуыстарда ұсақ кристалл друзалары түрінде байқалса, онда оны әдетте алдымен қандай да тәсілмен алу керек, мысалы, ағаш сапқа отырғызылған болат иненің көмегімен. Осындай жолмен алынған массаны бинокуляр лупаның астында сол иненің көмегімен мұқият сорттайды да бізді қызықтыратын минералды химиялық талдау және басқа

зерттеулер үшін қажет мөлшерде бөліп алады. Егер минерал таужыныста көп мөлшерде септеленсе, онда таужынысты тұтастай уатады және ұсатады. Ол үшін оны тесіктері 0,5 және 1 мм немесе одан да ірі елеуіш арқылы бірнеше рет өткізеді (сеппе минерал түйірлерінің өлшеміне байланысты). Минерал іріктеп алу да осындай тәсілмен бинокулярлы лупа астында жүргізіледі.

Егер минерал акцессор, яғни таужыныста сирек сеппе түрінде болған жағдайда, концентраттар алу үшін қандай да бір механикалық тәсілге жүгінуге тура келеді. Мұнда минералдардың меншікті салмағындағы (гравитациялық әдістер) немесе магниттілік қасиеттеріндегі (магниттік айыру әдістері) айырмашылық болмаса минералдардың флотациялау реагенттеріне (флотация әдістері) немесе электрге (электрстатикалық әдістер) қатынасы және т.б.

Байытудың көптеген гравитациялық әдістері ішінде ең қарапайымына минерал түйірлерін ауыр немесе тұтқыр сұйықтарда (йодты метилен, бромоформ, Туле сұйығы және т.б.) айырып алу жатады. Үлкен массалар жағдайында бұл мақсатта өте ыңғайлы саналатыны – шыны цилиндр түтікшеде су сорғаламасы спиральдана көтерілетін лабораториялық гидравликалық жіктеуіштер, сондай-ақ Вильфли немесе басқа концентрациялаушы столдар типтік лабораториялық шағын столдар. Осы приборлардағы жұмыс үшін ұсақталған материалды алдымен түйірлерінің ірілігі бойынша тиісті кластарға арнайы таңдап алынған елеуіштер көмегімен бөлу қажет. Ауыр минералдар үшін осы мақсатқа, бірақ дәрекілеу түрде уатылған материалды кеншілердің ожауында немесе табағында шаймалау жолымен жетуге болады.

Жер сияқты майда дисперсиялы массалардың құрамын зерделеу қажет болған жағдайларда шыны банкаларда тұндыру немесе меншікті салмағы бойынша фракцияларға сұйық немесе тұтқыр орталарда центрифугалау көмегімен айырып алуға жүгіну керек.

Химиялық талдауға даярланған материал алдымен спектрлік талдаудан өтуі тиіс, егер ол бұрын жасалынбаған болса. Спектрлік талдау минералдың құрамында жалпы қандай химиялық элементтер бар екенін және олардың қайсысы химиялық талдау арқылы анықталатынын білу үшін қажет. Айта кететіні, бұл анықтаулар спектрограф көмегімен жылдам жүргізіледі және элементтердің біршама сандық қатынасы жағынан да дерек береді. Мұны химиялық талдауды бастамай тұрып білген маңызды.

Заманауи химиялық талдау аналитикалық химияның классикалық әдістерімен (салмақтық әдістер, колориметрия, титрлеу) шектелмейді, сонымен қатар жалын фотометриясы әдістері, атомдық абсорбция, индукциялық қоздырылған плазма спектроскопиясы және басқаларда кең қолданылады.

Салмақтық процентпен көрсетілген толық химиялық талдау деректерін атомдық (молекулалық) шамаларға қайта есептеп шығып, соның көмегімен минералдың химиялық формуласын шығаруға болады. Осы мақсатта әр элементтің (окиселдің) салмақтық шамалар деректерін оның атомдық салмағына (окиселдің «молекулалық салмағына») бөледі (Атомдық

салмақтар Менделеев кестесінен алынады. Окиселдің молекулалық салмағы элементтер атомдар салмағының қосындысынан құралады. Мысалы, SiO_2 үшін ол $28,1+2 \times 16=60,1$ болады).

Алынған сандар минералдың құрамына кіретін осы элементтер (немесе окиселдер) қандай қатынаста болатынын көрсетуі тиіс. Химиялық талдау деректері бойынша есептелетін компоненттердің ара қатынасы талдаулардың өзінің жоғары дәлдігіне немесе оның жеткіліксіздігіне байланысты, немесе басқа себептерден ешқашан қатал еселікте болмайтынын көрсету қажет. Осыны көрсету үшін екі мысал келтірейік.

1-мысал. Нагольный кряж бурнониті химиялық талдауының деректері

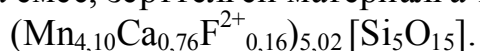
Элемент	Салмағы бойынша %	Атомдық салмағы	Атомдық саны	Қатынасы
Pb	42,75	207,2	0,204	1
Cu	12,77	63,6	0,201	1
Sb	24,76	121,8	0,206	1
S	19,40	32,0	0,606	3
Қосындысы	99,68			

Осылайша, минералдың химиялық формуласы PbCuSbS_3 түрінде көрсетілуі тиіс.

2-мысал. Қызыл-Таш (Оңтүстік Орал) кенорны родонитінің химиялық талдау деректері

Окиселдер	Салмағы бойынша %	Атомдық салмағы	Атомдық саны	Қатынасы
SiO_2	46,06	60,1	0,767	1
Al_2O_3	0,11	101,9	0,001	-
Fe_2O_3	жоқ	-	-	-
FeO	1,83	71,8	0,025	
MnO	44,76	70,9	0,630	1
CaO	6,59	56,1	0,117	
Қосындысы	99,35			

Бұл минералдың химиялық формуласы ең жалпы түрде былай көрсетіле алады $(\text{Mn,Ca})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ немесе $(\text{Mn,Ca})\text{SiO}_3$. Эмпирикалық кристалхимиялық формулаға өткен кезде, анион радикалында кремнийдің бес атомы бар екенін және алюминий мөлшерінің өте аз екендігіне байланысты ескермесе де болатынын басшылыққа алып, мынадай нәтиже аламыз – ол родонитке жалпы минералдық ретінде ғана емес, зерттелген материалға тікелей қатысты:



Алынған эмпирикалық формула катион бөлігінде біршама артықтық бар екенін көрсетеді. Ол ең алдымен талдау қателіктеріне немесе басқа минералдар қоспаларының бар екендігіне байланысты болуы мүмкін, әрине мұнда зерделенетін родонит үлгісі құрамының стехиометрия ережелері талаптарынан ауытқуы жоқ.

Кейде химиялық талдау үшін бөтен қоспалардан өте таза минерал алу мүмкін емес жағдайлар болады. Химиялық талдау деректерін есептеген кезде, егер бөтен қоспалардың мөлшері шамалы және оның минералогиялық табиғаты анықталған болса, онда зерттеулердің микроскоптық деректерімен сәйкестендіре отырып бізді қызықтыратын минерал құрамын мөлшерлеп есептеу керек болады. Егер қоспалар көп мөлшерде болса, онда мұндай жағдайда минералдық құрамға есептеулер жүргізу әрдайым дұрыс бола бермейді.

Химиялық талдау нәтижелерін кристалхимиялық формулаға есептеп шығару – айрықша өнерді қажет ететін және стандарт рецепт қолдануға әрдайым келе бермейтін мәселе. Зерделенетін минерал құрамының айрықшалығын ескеру керек болады, көбінесе есептеудің әр түрлі тәсілдерін біріктіріп барып ең жақсысын таңдау қажет.

Одан басқа, химик-аналитик минералогтың қолына берген нәтижелерді ешқандай да қателіктері жоқ абсолют мәндер, қалытқысыз шындықты көрсететін нәтижелер ретінде қабылдаудан сақтану керек.

Талданатын минералдың әркелкілігін дәл ескеру мүмкін емес. Ол изоморфтық қоспалардың зоналана таралуы түрінде де, бөтен минералдар мен басқа микрокірінділердің болуы түрінде де орын алады. Оларды материалды таңдаған кезде толық жойып жіберу ешқашан мүмкін болмайтындықтан, бұл классикалық химиялық талдаудың оның мәртебелері қатарына кіре қоймайтын әрі іс жүзінде түзеле де қоймайтын ерекшелігіне жатады.

Спектрлік талдау минералогиялық зерттеулер практикасында кең қолданылатыны сондайлық, ол көптеген кездерде дәнекерлеу түтікшесі әдісін алмастырады, әсіресе лабораториялық жағдайларда. Минерал құрамында болатын химиялық элементтерді анықтаудың бұл әдісі мынаған негізделетіні белгілі - әр химиялық элемент жеткілікті қыздырған кезде өзіне тән белгілі бір ұзындықты толқындар шығарып, олар спектроскоп көмегімен анықталады. Спектрлік талдаудың басты басымдығына минерал құрамындағы металдар катиондарын анықтаудың дәлдігі мен жылдамдығы жатады. Әсіресе ол молибден, индий, германий, галий, кадмий және басқалар сияқты құнды сирек металдарды анықтау үшін мәнді. Одан басқа, бірқатар металдар үшін олардың шамамен сандық мөлшерінің мәнін анықтау әдістемесі әзірленген.

Талдау жасауға қажет материалдың мөлшері бірнеше миллиграммен ғана шектеледі. Әдістің бір артықшылығы да осында. Спектрлік талдау не дегенімен ең ары кеткенде жартылай сандық әдіс болып қана қалады. Дегенмен элементтердің минимал анықталатын мөлшері (байқалу шегі) өте төмен болғандықтан, бұл әдіске әзірше балама жоқ, әсіресе геохимияда. әрине өте қымбат және қиын *масс-спектрметрлік* талдауды айтпағанда.

Рентгенспектрлік (микрондылық) талдау мынаған негізделген – антикатодтың бетіне орналасқан сыналатын зат катод сәулесі (электрондар тасқыны) әрекет еткенде оның құрамындағы химиялық элементтердің

әрқайсысы үшін белгілі бір ұзындықты толқынды рентген сәулесін шығарады, яғни біз кәдімгі спектрлік талдауда алатынға ұқсас. Мұнда тек рентген түтікшесі электрондарына берілген кернеу қандай да бір элементке тән болатын сәулені қоздыруға жеткілікті болуы тиіс. Рентгенспектрлік талдау минералдардағы Y, Nb, Ta, Hf, Re сияқты сирек элементтердің сандық мөлшерін анықтағанда айрықша құнды. Өйткені оларды кәдімгі химиялық әдістермен анықтау төтенше қиын мәселе болып табылады.

XX ғасырдың 60-шы жылдарынан бері микрозондылық талдау техникасы үнемі жетілдіріліп келген және қазіргі кездегі даму сатысының жоғарылығы сондай, минералдардың химиялық құрамын зерттеуде бұл әдіске іс жүзінде тең келетіндер жоқ. Бірақ оның бірнеше кемшілігі бар, оларға негізінен мыналар жатады – атомдық нөмірі 4-ке дейінгі элементтерді анықтаудың мүмкін еместігі; атомдық нөмірі 5-тен 9-ға дейінгі элементтерді анықтау дәлдігі жетілдіруді қажет ететіндігі. Басқа жақтарынан бұл әдістеме тамаша, әсіресе экспрестілігі мен жоғары кеңістіктік анықтағыштығы жағынан алғанда.

Элементтердің мөлшерін анықтау бетіне өткізгіш зат (графит, алтын) тозаңы бүркілген жылтырланған препараттарда жүргізіледі. Көбінесе түйірлер жиынтығынан тұратын препарат эпоксид шайырынан тұратын түтікшеге салынады да бағанаға орналастырылады. Оның құрылысы электрондық микроскоптың бағанасына өте жақын (*37-сурет*). Бағананы вакуумдағаннан кейін электрондық өрісте (50-300 Кв) үдетілген фокусталған электрондар будасы (өзіндік электрондық зонд) препараттың бетіне бағытталады да оның атомдарында сипаттамалық рентген сәулеленуін қоздырып, ол қандай да бір типті есептеуіште анықталады. Зонд қимасының диаметрі 1 микрометрге дейін жеткізіле алады, қоздыру алқабының тереңдігі де әдетте сол шамада. Детекторлардан белгілер (сигналдар) күшейтіледі және электр импульстеріне түрлендіріледі де өңдеу үшін компьютерге түседі. Машиналық өңдеуде сәулелену спектрі талданады, оның құрамындағы анықталатын элементтерге сай келетін шыңдар қуаты бойынша бағаланады, ал осы қуаты үлгідегі элементтердің мөлшеріне пропорциясы болады.

Ең дәл (салыстырмалы қатесі 1 % салмақ және одан жоғары мөлшерде – 1-2 %) сандық нәтижелер алу үшін зерттелетін минералда анықталатын элемент атомдары туындататын сипаттамалық сәулелену осы элементтің мөлшері белгілі эталонның сәулеленуімен салыстырылады. Мұндай жағдайда сәулеленудің толқындық детекторлы аспаптары пайдаланылады. Әрбір жаңа элемент анықтау жұмыстың мұндай сұлбасында детектордың күйіне келтіруін өзгертуді қажет етеді.



37-сурет. Электрондық-зондылық микроанализатор

Сәулеленудің энергиядисперсиялық детекторы іс жүзінде үлгіде бар барлық элементтерді бір мезгілде шамамен 1-2 минут ағымында анықтауға мүмкіндік береді. Бірақ мұндай анықтаулардың дәлдігі он еседей төмен, энергиясы бойынша сәулелену кванттарын анықтаудың нашарлауы спектр шыңдарының бір-бірін жабуына әкелуі мүмкін және осыдан кейін кейбір элементтер ажыратылмай қалады. Сериялық талдау үшін бір энергиядисперсиялық және бірнеше толқындық детектормен қамтамасыз етілген аспап ұтымды болады.

Микрозондылық талдауда үлгінің бір нүктесінде тоқтап қалмай, скандаушы режимді қолдану мүмкін. Бұл элемент мөлшерінің таралуын үлгінің алаңы бойынша бағалауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ кері шашыраған электрондарда түсіру және жұмыстың кейбір басқа режимдері де қолданылады, олар үлгі туралы көптеген құнды мәліметтер береді.

Люминесценттік талдау. Минералдардың сәулеленуі (жарқырауы) әр түрлі факторлар ықпалынан болады: қыздырған кезде (мысалы, флюоритте), қысымның ықпалынан, кейде еріген кезде (сондай-ақ кейбір қосылыстар кристалданғанда), ақырында ультракүлгін, катод және басқа қысқа толқынды сәулелермен сәулелендіргенде. Біз ең үлкен қызығушылықты минералдар жарқырауының соңғы жағдайлар туындатады.

Люминесценция құбылысы қараңғыда байқалады. Ультракүлгін сәуле алу көзіне сынапты кварц шам немесе ұшқын шығарғыш, ал катод сәулесінің – ыстық та, салқын да катодты катод түтікшелері жатады. Мұнда соңғы жағдайда люминесценциялану құбылысы вакуумде байқалады.

Осы қасиетке ие минералдар сәулелену ықпалынан жарықтана бастайды және әр түске боялған сияқты болады, кейде өте ашық түске. Бұл күрделі құбылыстың табиғаты кристалдық құрылымдардағы кейбір атомдардың қозуына (энергетикалық молығуға) саяды. Мұндай атомдардың бастапқы күйіне қайта келуі (релаксациясы) бірнеше сатыда жүреді.

Сондықтан осындай өтулерге сәйкес келетін сәулелену релаксациясы кезінде бөлінетін кванттар, қоздыратын көрінбейтін қысқа толқынды жарыққа қарағанда, толқындардың үлкен ұзындықтарына сай келеді. Қозатын сәулелену энергиясы осылайша ұзындау толқынды көрінетін жарыққа айналады. Айта кету керек, катод сәулелерінде ультракүлгіндерге қарағанда минералдардың көп мөлшері люминесценцияланады.

Осындай жолмен таужыныста маңызды минералдар сеппесін өте оңай анықтауға болады, ал жай көзбен байқау күрделі шаруа. Мысалы, шеелит ($\text{Ca}[\text{WO}_4]$) сынапты кварц шамы сәулесінде әдемі көкшіл (кейде жасылтым) реңге қанық боялып, оны басқа минералдардан оңай айыруға мүмкіндік береді; алмас солғын-көкшіл немесе сарғыш-жасыл түспен флюоресценцияланады; флюорит CaF_2 – ашық көк реңдерге сәулеленеді және т.б. Құрамында уран, әр түрлі құрамды битум және басқалар бар бірқатар минералдардың жарқырауы өте нәтижелі болады.

Сонымен қатар ізделетін минералдарды анықтаудың осы тәсілін әрдәйім сенімді деп айтуға болмайды, өйткені кейде осы шеелиттің немесе алмастың ультракүлгін немесе катод сәулелерде еш байқалмайтын түрлестері де кездеседі. Бірқатар минералдар сәулеленгенде оларға көбінесе тіпті мардымсыз мөлшерде болатын бөтен заттардың қоспалары айрықша рөл атқаратыны анықталған. Жасанды сәулеленген қосылыстарда, егер затта бір мезгілде құрамы бойынша әр түрлі қоспалар болатын болса, онда сәулелену бояуы өзгертіні байқалған. Бояуы кейде сөнеді (мысалы, мыстың болуына байланысты болатын сәулеленуді висмут сөндіреді). Сондай-ақ әр кенорыннан алынған бір минералдың өзі бояуы әркелкі сәулелену береді (мысалы, кальций карбонаты).

Шлихтік (шаймалық) талдау. Таужыныстар мен рудалардың мору процесінде жер бетіндегі қирау өнімдерінде химиялық орнықты минералдар – кварц, магнетит (FeFe_2O_4), циркон ($\text{Zr}[\text{SiO}_4]$), турмалин, рутил (TiO_2), кейде касситерит (SnO_2), алтын, платина және басқалар қалып, олар ағын судың шаймалауы нәтижесінде өзен аңғары түзілімдерінде және теңіз жағалауы бойында шашылымдар түрінде жинақталады. Осы қопсық түзілімдер сынамаларын (қарапайым аспаптар (табақ, ожау, бутара, вашгерд) көмегімен шаймалаған кезде *шлих* деп аталатын ең ауыр минералдар концентраты алынады.

Шлихтегі минералдарды диагноздау және сандық анықтау үшін алынған материалдың орташа сынамасы (салмағы 10-20 г) алдымен түйірлерді стандарт елеуіштен өткізіп алып, ірілігі бойынша фракцияларға бөлінеді. Содан кейін әр фракциядан қарапайым таға тәрізді магнитпен қағаз арқылы магнитті фракция тартылып алынады. Беймагнитті қалдық электромагнит көмегімен (ток күші әр түрлі шамада) әр түрлі магнит өтімділікті бірқатар фракцияларға бөлінеді, осыдан кейін минералдарды бөлу меншікті салмағы бойынша ауыр сұйықтарда (бромфор, Туле сұйығы және басқа) арнайы бөлгіштерде немесе қарапайым химиялық воронкаларда жүргізіледі.

Минералдардың осындай жолмен алынған барлық фракциялары алдымен минералдарды сыртқы белгілері бойынша (түйірлерінің пішіні, мөлдірлігі, жылтырлығы, түсі, қаттылығы және басқа) бөледі де биноклярдың астында қарап шығады. Содан кейін оптикалық константаларының анықталуы тиісті сыну көрсеткішті иммерсиялық сұйықтарда жүргізіледі. Қажеттілігіне қарай сапалық микрохимиялық реакциялар, спектрлік, люминесценциялық және басқа зерттеу әдістері қолданылады. Беймөлдір руда минералдардан айрықша тәсілмен бакелит лак немесе басқа цементтеуші зат көмегімен жылтырланған шлифтер жасалынады да олар микроскопта шағылған жарықта зерделенеді.

Шлихтің құрамына кіретін барлық минералдарды сандық анықтау аса қиын мәселе болып табылады (ол үшін жалпы да, жекелеген де сынамалар салмағын өлшеу, әр минерал мөлшерінің көлемдік процентін есептеу, олардың меншікті салмағын анықтау керек және басқалар). Әдетте шлихте кездесетін қандай да бір ең басты пайдалы компоненттің мөлшерін есептейді, мысалы касситеритті – SnO_2 , шеелитті – $\text{Ca}[\text{WO}_4]$ және т.б.

Осындай жолмен жасанды шлихтер де зерделене алады. Мұндай шлихтерді шомбал таужыныстардың ұсатылған сынамаларынан олардың құрамында қандай да бір минералдар болуын анықтау мақсатында алады. Бұл минералдар пайдалы қазба кенорындарын іздеу мәніне ие. Мұндай зерттеулер әдетте геологиялық карта түсіру кезінде жүргізіледі. Осындай әдістерді қолдану В.В. Ляхов пен оның қызметкерлеріне Россияның аумағындағы көптеген таужыныстардың акцессор минералдарын өте мұқият түрде бөлуге және түбегейлі зерделеуге мүмкіндік берді.

Пайдалы компоненттердің қопсық түзілімдерде және түбірлік таужыныстарда шашырау ореолдарын, сондай-ақ ауыр минералдардың тасымалдану жолдарын зерделеу, практика көрсеткендей, кенорындарды іздеуде маңызды мәнге ие болады.

Электрондық-микроскоптық зерттеулер. Микроскоптың шешу шегі (өлшемі бойынша өте ұсақ бөлшектердің анықталғыштығы) елеулі шамада нысанға түсетін жарық толқынының ұзындығына байланысты екені (жарық толқынының ұзындығы кішірейген сайын, микроскопта да өте ұсақ бөлшектерді көруге болады) белгілі. Кәдімгі оптикалық микроскоптың шешкіштік қабілеті біршама төмен: ақ жарықта байқау жүргізгенде өлшемі $0,5 \mu$ шамасындағы бөлшектерді ажыратуға болады. Қысқалау толқынды ультракүлгін жарықта микрофотографиялағанда және үлкен апертуралы иммерсиялық нысандарды қолданғанда, анықталғыштық шегін $0,2 \mu$ шамасына дейін азайтуға болады. Бірақ ультрақысқа толқынды электрондық буданы пайдаланған кезде (айрықша құрылымды электрондық микроскоптарда) шешкіштік қабілеті көптеген есе артады ($0,002 \mu$ немесе 2 нм шамасына дейін). Осылайша электрондық микроскоп көмегімен (38-сурет) майда дисперсиялық заттар: майда металл торларға отырған түтін мен тозаң, суда саз өнімдерінің жүзгіндері (ол үшін жүзгін тамшысы нәрселік әйнекте кептіріледі) және басқалар зерттеле алады.



38-сурет. Скандаушы электрондық микроскоп

Өкінішке орай, электрондардың затқа ену қабілеті аса шектеулі болады (жарық сәулесінде мөлдір болатын зат бөлшектері электрондық тасқында әдетте беймөлдір болып шығады). Сондықтан электрондық микроскоптық зерттеулер көбінесе осы тәсілмен қарастырылатын бөлшектердің пішіндері мен өлшемдері туралы тек жалпы мағлұмат қана береді.

Одан басқа, нығыз нысандар үшін кристалл жақтары бедерінің майда ерекшеліктерін беретін, сондай-ақ минералдардың тапталған немесе тапталмаған жылтырланған беттерін сипаттайтын «репликалар әдісі» (реплика – беттердің жұқа коллодий немесе кварц-полистирол және басқа үлдірлерде алатын таңбасы) пайдаланылады.

Заманауи микроскоптардың үдемеленетін кернеуін аса жұқа препараттар алу үшін жаңа әдістер мен аспаптарды (иондық жұқарту, ультрамикротомдар) қолданумен біріктіре көтеру осындай зерттеулердің нәтижелігін арттырады, әсіресе микрозондылық талдаумен және микродифракциямен біріктіре жүргізгенде. Трансмиссиялық (зат арқылы өтетін) электрондық микроскопия қазіргі кезде кристалдық құрылымдардағы дислокацияны тікелей байқауға мүмкіндік береді. Ол арқылы кристалдық құрылымның шындыққа жеткілікті сәйкес келетін бейнесін алып, онда кейбір атом топтамаларын және айрықша ірі атомдарды ажыратуға болады.

Эксперименттік зерттеулер (химиялық және физикалық-химиялық) лабораториялық жағдайларда құрамы бойынша табиғи жаралымдар сияқты минералдарға сай келетін жасанды қосылыстар алу ісінде өте маңызды рөл атқарады. Осы жолмен, ең болмағанда кейбір жағдайларда, құрамы мен қосылыстарының формасы бойынша табиғилар өте ұқсас немесе дәл сондай минералдары алуға және минералдардың табиғатта жаралу мен кристалдану жағдайларын анықтауға қол жетеді. Осы жағынан минералогтар үшін минералдық шикізатты пайдалану проблемаларымен айналысатын химиялық және физикалық-химиялық институттардың зерттеу мен эксперименттік жұмыстары да айрықша қызығушылыққа ие болуы тиіс.

4-ТАРАУ

ТАБИҒАТТА МИНЕРАЛДАРДЫҢ ЖАРАЛУЫ

4.1. Жалпы жағдайлар

Кристалл фазалардың жаралуы және өсуі. Қатты кристалл заттың жаралуы әр түрлі жолдармен жүруі мүмкін: 1) *сұйықтың* (балқыманың немесе ерітіндінің) кристалдану жолымен; 2) кристалдардың қуыстар қабырғасында *газ тәрізді* өнімдерден түзілуі жолымен; 3) *қатты* массалардың (атап айтқанда, коллоидтардың) алмасу немесе қайта кристалдану жолымен. Табиғи кристалл жаралымдарының басты массасы силикат балқымалары мен су ерітінділері кристалдануының нәтижесі болып табылады. Мұнда магмалық кристалл таужыныстардың орасан зор массасы, пайдалы қазба кенорындарының басым көпшілігі, тұзтұнба алаптарының кристалл шөгінділері және басқалар жатады.

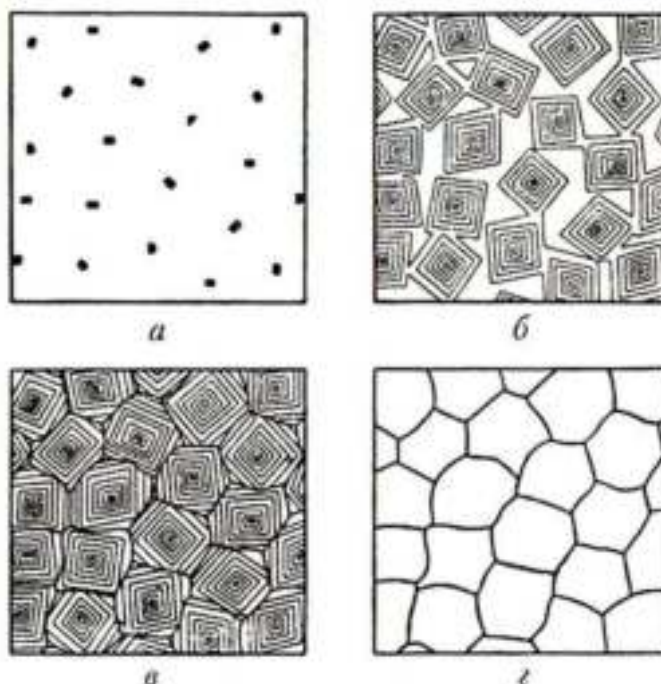
Кез-келген салқындаушы балқыманың кристалдануы теориялық жағынан осы заттың балқу температурасына сай келетін белгілі бір температурада басталады. Дәл солай ерітіндінің кристалдануы да еріткіштің осы затпен қанығуы сәтінде басталуы тиіс. Дегенмен, тәжірибе көрсеткендей, сұйық фазалардың кристалдануы біршама *аса салқындауы* немесе *аса қанығуы* кезінде басталады. Егер сұйықтың аса суынуы лабораториялық та, табиғи да жағдайларда кәдімгі құбылыс болып табылатын болса, ал керісінше кристалл заттың аса қызынуын (балқу температурасынан жоғары) алу өте қиын екенін ескеру қажет. Осы айтылған су қосылған ерітінділерде ерітіндінің аса қанығуы мен еритін қатты фазаның сақталуына да қатысты.

Сұйық ортаның аса қанығуы немесе салқындау дәрежесі сондай-ақ кристалданушы сұйықтың химиялық құрамына және біршама дәрежеге дейін қысымға байланысты. Қысымның өзгеруі кристалдардың салқындаушы будан жаралған кезінде айтарлықтай мәнге ие болады.

Кристалдардың аса суынған балқымада және аса қаныққан ерітіндіде өсу процесі дәл бірдей. Кристалдардың туындауы *мәжбүрленген* болуы мүмкін (гетерогендік нуклеация), егер сұйықты қандай да бір қатты заттардың сынықтары немесе тозаңдары бар болса. Олар өздерінің кристалхимиялық қасиеттері бойынша ұрық рөлін атқарады, болмаса аса қаныққан немесе аса суынған ерітінділер мен балқымаларда мұндай ұрық болмаса кристалдану өз бетінше жүреді (гомогендік нуклеация).

Балқыманың немесе ерітіндінің әр түрлі жерлерінде (нүктелерінде) өз бетінше кристалдануы кезінде *кристалдану орталықтары* деп аталатындар пайда болады, олар кристалл нышаналары болып табылады. Кристалдану процесінің алғашқы сәттерінде (мәселен, қандай да бір компонентті сұйықта делік) осы кристалдану орталықтарының төңірегінде еркін даму жағдайларында дұрыс кристалшалар өседі. Олардың осылай өсуі кристаллографиялық пішіндердің дамуы таршылық жағдай пайда болғанға дейін жүреді (39 а,б-сурет). Кристалдану жалғасқан сайын бос қалған

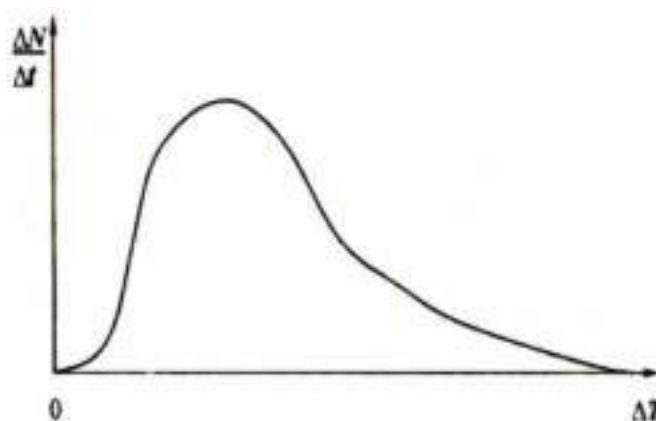
кеңістік үшін күрес басталады да ақыр соңында біз сыртқы келбеттері бұрыс пішінді кристалдық түйірлер агрегатын аламыз (39 в,г-сурет).



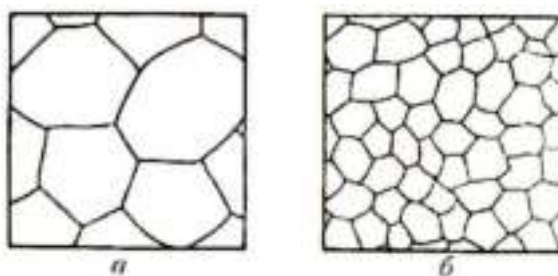
39-сурет. Гомогендік сұйықтың біртіндеп кристалдану сұлбасы

Кейбір жағдайларда тіпті жекелеген түйірлердің кристалдық-зоналық құрылысын байқауға болады, бұл олардың біртіндеп өскенін куәландырады.

Сұйықтың аса салқындау немесе аса қанығу дәрежесі мен шамалы аса салқындаудан бастап қатаю басталған сәттен өз бетінше пайда болатын кристалдану центрлерінің саны аралығында бейсызықтық тәуелділік анықталған: сұйық неғұрлым *күштірек* аса салқындаса немесе аса қанықса, соғұрлым берілген көлемде уақыт бірлігінде пайда болатын кристалдану орталықтары көбірек болады (40-сурет). Осылайша сұйықтың толық қатаю нәтижесінде кристалл түйірлердің өлшемдері де кішірейе береді (41-сурет). Бірақ аса салқындау дәрежесі артқан кезде ұрықтардың жаралу жылдамдығы максимумға жетеді де ары қарай бәсеңдейді.



40-сурет. Ұрықтар жаралуы жылдамдығының ($\Delta N/\Delta t$) балқыманың аса салқындау дәрежесіне (ΔT) тәуелділігі



41-сурет. Кристалдану орталықтары санының агрегат құрылымына ықпалы: *a* – ірі түйірлі агрегат; *б* – ұсақ түйірлі агрегат

Егер кристалдану ерітіндінің біршама нашар аса қанығуы кезінде басталса, онда мұндай жағдайда пайда болатын кристалл ұрықтарының саны да біршама аз болатындықтан, ақыр соңында өлшемдері бойынша да ірі түйірлі агрегаттар жаралады (*41 а-суретте*). Егер кристалданудың басталуы күштірек аса қанығу (немесе аса суыну) кезінде жүрсе, онда әрине соның нәтижесінде біз кристалл түйірлерінің ұсақ түйірлі агрегаттарын алатын боламыз (*41 б-суретте*). Ерітінді өте күрт аса қанығуы жағдайларында кристалданатын кезде бізде жасырын кристалды жаралымдар түзіледі. Балқыманың терең (өте жылдам) аса салқындауы жанартау шынысының жаралуына әкеледі.

Эксперименттік деректерге сәйкес, кристалдардың сұйықта туындау сәті әр түрлі себептерге: заттың химиялық табиғатына; кристалл ұрықтарының пайда болуын жылдамдататын немесе баяулататын қоспаларға; механикалық күштерге (ерітіндіні сілкіту, ыдыстың қабырғасына үйкеу); кейде дыбыстың, жарықтың әрекетіне және т.б. байланысты.

Тәжірибелер көрсеткендей, еркін ортада өсетін кристалдар маңында концентрациялық тасқындар пайда болады: аса қанық ерітінді кристалмен жанасу алқабында оған өзінің артық еріген затын беріп жеңілдейді де жоғары көтеріліп, орнын аса қанық ерітіндінің жаңа порциясына (бөлігіне) береді. Кристалдардың өсу жылдамдығы ерітінді аса қаныға түскен сайын жоғары болады.

Егер өсу жағдайлары өсетін кристалдың әр жағы үшін туындау сәтінен бастап тұрақты болса, онда кристалдарының пішіні олардың өсу барысында өзгермейді, тек олардың өлшемдері ғана артады. Бірақ кристалдардың әр түрлі жақтары өсуінің жылдамдығы уақыт бірлігінде көбінесе бірдей болмайды, осының нәтижесінде жақтарының саны азаяды. Және анықталғаны, кристалдар пішініне басқа заттардың еріген қоспалары да айтарлықтай ықпал жасайды. Мәселен, хлорлы натрий әдетте куб пішінінде кристалданады, бірақ құрамында NaCl-дан басқа CaCl₂ және MgSO₄ болса – октаэдр түрінде бөлінеді.

Кристалдар жылдам өскен кезде бұрыс пішіндер жаралады. Ең бастысы ол мынадай жағдайларда байқалады – қандай да бір себептермен қоректендіруші ерітіндінің біркелкі тасқыны келуі бүлінген кезде (мысалы, тұтқырлығы артатын орталарда, коллоид ерітінділерде және т.б.). Мұндай жағдайларда ең көп қоректі өсетін кристалдардың төбелері мен қырлары,

яғни кристалдық құрылымдардың валенттілікке ең аз қаныққан бөлікшелері алады. Мұндай кезде жақтардың воронка тәрізді қуыстар жасап қисаюына, ал көбінесе кристалшалардың біртіндеп бірінің үстіне бірі (негізінен төбелері бойынша) өсуіне әкеледі. Осының нәтижесінде кеңістікте бұтақтары белгілі бір ретпен орналасқан кристалл қаңқалар немесе дендриттер деп аталатындар жаралады. Осындай бұтақтардың шеттерінде көбінесе жуандаулар және ірілеу әрі дұрыстау кристалл индивидтерінің жаралуы байқалады. Оның түсіндірілуі мынадай болуы ықтимал – заттың кристалдануы кезінде ерітіндінің аса қанығуы жапсарлас бөлікшелерінде төмендейді де кристалдар өсуі үшін біршама қалыпты жағдайлар туындайды.

Айта кететіні, кристалдар тек қана сұйық ортада, яғни кристалдарға диффузияланатын ерітіндінің аса қаныққан порцияларының есебінен емес, сондай-ақ қаныққан ерітіндімен қылтүтік каналдар бойынша қоректенген жағдайлар кезінде ауа немесе газ орталарда да өсуі мүмкін. Ол туралы мына тәжірибе сенімді куәландырады. Егер астүздың қаныққан ерітіндісі бар стаканға ерітіндіні жақсы сіңіретін мақтадан иірілген жіпті салсақ, онда біраз уақыттан кейін ауа ортасы жағдайына жіпте жоғары қарай қылтүтіктік күштер ықпалынан көтерілетін ерітінді есебінен кристалл агрегаттар жаралады. Ауа ортада бұл ерітінді судың булануы салдарынан күшті аса қанығуға ұшырайды да мұндай жағдай мақта жіпте онда еріген заттың кристалдануына әкеледі.

Еріткіштің осындай жолмен баяу булануы кезінде жақсы жаралған кристалдар да пайда бола алатыны ешқандай күдік туғызбайды. Мәселен, аязды ашық түндерден кейін байқалатын ылғал топырақтан мұз инелерінің өсу жағдайлары да көпшілікке белгілі екені ықтимал. Ал осындай инелер суда оңай еритін тұздардың ылғал ұнтақтарынан – мысалы, хлорлы калийдің баяу кебуі нәтижесінде өсіп шығады. Қуыстарда кездесетін көптеген минералдардың ұзын ине тәрізді кристалдарының осындай жолмен пайда болуы әбден мүмкін.

Сонымен, кристалдардың жаралуы ауа тәрізді ортада сұйық ерітіндімен қоректендірмей-ақ жүре алады, яғни заттың бу тәрізді күйден тиісті температура (балқу температурасынан төмен) мен қысымда бірден қатты күйге өтетін жағдайларда. Оның мысалына қардың ауада жұлдызша кристалдар түрінде немесе әр түрлі минералдардың жанартаулар әрекеті аудандарда құрғақ айдалу өнімдері ретінде жаралуы жатады.

Көп жағдайларда кристалдардың және кристалл түйірлердің өзіндік айрықшалығына оларда бөтен заттардың (қатты, сұйық, газ тәрізді) өте ұсақ кірінділерінің болуы жатады. Олар көбінесе кристалдарға күңгірттік немесе беймөлдірлік береді. Бұл кірінділер жұқа жылтырланған қалақшаларды микроскоппен қарағанда оңай байқалады. Тек беймөлдір минералдарда ғана сұйық және газ тәрізді кірінділерді анықтау біршама қиындықтарға тіреледі.

Бұл бөтен заттар, олардың кеңістікте таралуын зерделеу көрсеткендей, кристалдың жылдам өсу процесі барысында механикалық жолмен енгені айқын. Олар кристалл ішінде көбінесе белгілі бір кристаллографиялық бағыттар бойымен орналасады. Мысалы, жанартау шынысының (магманың

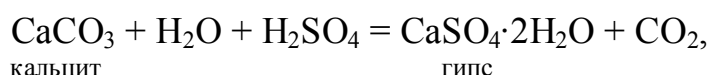
қатайған тамшыларының) кристалдық-зоналық плагиоклаздардағы кірінділері немесе кварцтың, кальциттің, топаздың және басқа минералдардың күңгірт кристалдарындағы К, Na, Са және басқа тұздардың сұйық ерітінділері, болмаса газдардың әдетте сұйықтар қоспалы көпіршіктері осындай.

Бір қызығы, газ-сұйық ерітінділер қыздырған кезде белгілі бір температурада әдетте біркелкі сұйыққа айналады (газ сұйықта ериді), ал салқындатқанда газ көпіршік қайта бөлінеді. Осындай жолмен бірқатар жағдайларда ерітіндінің өте ұсақ тамшыларын өзіне қосып алған минералдың кристалдануы қандай температурада жүргенін жуықтап анықтауға болады.

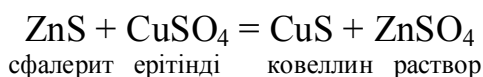
Кейбір жағдайларда газ-сұйық кірінділерде үшінші, яғни қатты фаза да (мысалы, NaCl кристалшалары) байқалады. Бұл кристалшалар қыздырған кезде, Н.П. Ермаков көрсеткендей, сұйықта бірінші болып ериді, ал содан кейін газ көпіршік те жоғалады.

Кристалдарда бастапқы газ-сұйық кірінділерден басқа сондай-ақ кейінірек қосылған туынды кірікпелер де анықталады, олар кристалдардағы «бітелген» жарықшақтарда орналасады (Г.Г. Леммлейн). Туынды газ-сұйық кірінділерде қыздырған кезде сұйық тамшыларындағы газ көпіршіктің жойылуы бастапқы кірінділердегілерге қарағанда бұрын басталады. Ары қарай қыздырған кезде бірінші де және екінші де жағдайда кристалл масса шытынай бастайды (сұйық кірінділерде өте күшті қысым пайда болуынан).

Егер осы таужынысқа сіңген қандай да бір ерітінді онымен алмасу ыдырауы реакциясы бойынша әрекеттессе, онда мұндай жағдайда көбінесе барша таужыныс немесе оның кейбір құрамдастары есебінен жаңажаралымдар пайда болады. Мұндай процесс *алмасу* немесе *метасоматоз* деп аталады. Оның мысалына құрамында күкірт қышқылы бар сумен әрекеттескен кальциттің гипспен алмасуы жатады:



немесе сфалериттің мыс сульфаты ерітіндісімен реакциясы кезінде ковелинмен алмасуын айтуға болады:



Таңдалатын метасоматоз жағдайында (яғни таужыныстың қандай да бір белгілі минералдарының алмасуы кезінде) бұрынғы минералдың сыртқы пішінін, ал кейде ішкі құрылысының ерекшеліктерін де қабылдаған жаңа жаралған минерал *метасома* деген атауға ие болады. Жекелеген жағдайда, егер орын алмасуға қандай да бір кристалл ұшыраған болса, біз *псевдоморфозаны* көретін боламыз, яғни ол осы минералдың кристалл пішініне жат болады. Органикалық қалдықтар, мысалы ағаштар коллоидтық опалды немесе темір сульфидтеріне сіңіріп, солармен орын алмасқан

жағдайда, бұл ағаштар көбінесе өзінің құрылысының барлық ерекшеліктерін сақтап қалады.

Осымен қатар табиғатта қатты орталарда (таужыныстарда) метасоматоздық жолмен дамыған, жақсы жаралған кристалдардың пайда болу жағдайлары да таралған. Мұндай жаралымдар *метакристалдар* деп аталады және олар тек кейбір минералдарда ғана белгілі. Олардың мысалына тақтатастардағы, мәрмәрдегі және басқа таужыныстардағы пириттің тамаша жаралған куб кристалдары жатады. Метакристалдардың ішінде көбінесе сыйыстырушы таужыныстың алмасуға түспеген қалдықтары сақталады. Олар көбінесе таужыныстардағы өте жұқа, тіпті байқалмайтын жарықтар бағыттары пайда болады, бұл олардың таужыныстармен салыстырғанда кейіндеу жаралғанын көрсетеді.

Қатты орталарда орын алатын минералдардың қайта кристалдану және түрлену процестері жүйенің тепе-теңдік физикалық-химиялық факторларының айтарлықтай өзгеруі ықпалынан жүреді, ол атап айтқанда аймақтық метаморфизм деп аталатын жағдайларда болады.

Минералдардың еруі және ыдырауы. Айтылып кеткендей, көптеген минералдар өздері жаралғаннан кейін сыртқы жағдайлар өзгеруінің ықпалынан әр түрлі өзгерістерге ұшырайды, кейде толықтай ериді немесе ыдырайды да химиялық реакциялардың ерімейтін өнімдері жаралады.

Ерудің бастапқы сатыларын жекелеген кристалдарда оңай байқауға болады, мұнда олар келесі құбылыстармен сипатталады:

1) егер кристалл өскен кезде оның төбелері мен қырлары жылдам дамуға бейім болса, ал еріген кезде оларда ерітіндіге өтудің ең жоғары жылдамдығы байқалады да осыған байланысты кристалл еріген пішінге ие болады;

2) егер кристалл өскен кезде ең орнықтыларға оның баяу өсетін жақтары жатады, ал еріген кезде еру жылдамдығы ең жоғары болатын жақтары пайда болады;

3) баяу өсетін жақтары әдетте жалтыр тегіс беттерге ие болады; ал еріген кезде баяу еритін жақтары көбінесе күңгірт көрінеді;

4) ерудің бастапқы сәттерінде жақтарында көбінесе өте ұсақ көп жақты ойықтар жаралады, олар таптау фигуралары деп аталады.

Табиғи жағдайларда минералдардың шала немесе *ыдырауы* негізінен тотығу және тотықсыздану процестерімен байланысты. Әсіресе бұл айтылғандар құрамына табиғи жағдайларда әр түрлі валентті (мысалы, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , S^{2-} , S^{6+} және басқа) бірнеше иондар жасауға қабілетті элементтер кіретін минералдарға қатысты.

Егер минералда бастапқыда төмен валенттілікті катиондар болған болса, онда олар тотығу жағдайларына (айталық, таужыныстар мен рудалардың мору зонасына) түскенде, әрине жоғары валенттілікті иондарға өтуге тырысады. Мұнда катиондар өлшемі кішірейеді де ол әдетте кристалдық құрылымның бұзылуына әкеледі. Мысалы, FeS (пирротин) қосылысында темірдің екі валентті катионы ортаның оттегі пен сутекке баю жағдайында үш валентті катионға оңай айналады да темірдің қиын еритін

гидроксидтері жаралады. Ал күкірттің екі валентті анионына келсек, ол алты валентті катионға дейін тотығып, сутек иондарымен ерітіндіге өтетін күкірт қышқылын жасайды да $[\text{SO}_4]^{2-}$ комплексті анионын түзеді. Осылайша, пирротиннің орнында онымен өздерінің қасиеттері бойынша ортақ ештеңесі жоқ басқа зат пайда болады. Дәл солай екі валентті марганец карбонаты (MnCO_3) осындай жағдайларда марганецтің төрт валентті гидроокиселін оңай жасайды.

Егер осы темір және марганец гидроокиселдері геологиялық процестер кезінде жер қыртысының тотықсыздануы басым тереңдік жағдайларына түссе, элементтердің жоғары валенттілікті катиондары төменгілерге өтеді және бұл өту қосылыстардың сусыздануымен сүйемелденеді. Осындай жағдайларда жаңа минералдар: гематит (Fe_2O_3) немесе магнетит ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_4$), браунит ($\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{4+}\text{O}_3$), гаусманит ($\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{O}_4$) және басқалар пайда болады.

Курстың сипаттамалық бөлігінде біз осы текті көптеген мысалдарды кездестіреміз.

Минералдар генерациясы. «Генерация» термині латыншадан аударғанда *ұрпақ* дегенді білдіреді. Осы сөз терминнің дәл мағынасын береді. Қандай да бір минералдың генерациялары деп оның берілген минералдық ассоциациядағы жасы әр түрлі бөлінімдерін айтады. Олар салыстырмалы өлшемдерімен, сыртқы түрімен немесе химиялық құрамының ерекшеліктерімен айрықшаланады. Минералдардың болу жағдайларына, әсіресе рудалы кенорындарда жүргізілген байқаулар көрсеткендей, сол бір минералдың минералжаралу процесінің бір сатысы ағымында пайда болған бірнеше ұрпағы болатынын өте жиі көрсетеді. Бір жағдайларда, *42-суретте* көрсетілгендей, ұсақ кристалдардың жастау ұрпақтары дәл осы жерде бұрынғы және өлшемдері бойынша ірілеулерінің үстіне өседі, ал басқа жағдайларда олар басқаша, мысалы бұрынғы ірі түйірлер түрінде және басқа минералдар арасындағы ұсақ жарықшақтарда кейінгі майда бөлінімдер немесе өте ұсақ кірінділер түрінде білінеді де тек қана микроскоп арқылы анықталады және т.б.



42-сурет. Екінші генерация ромбоэдрлері кальцит скаленоэдри үстіне бағдарлана өседі
(автоэпитаксия)

Рудаларды түбегейлі микроскопиялық зерттеулермен анықталатындай, *әр рудажасаушы минералдың* дерлік бірнеше генерациясы болады, бұл жағдай рудажаралу процесінің күрделілігін көрсетеді. Минералдардың парагенезистік қатынастарын зерделеген кезде осы жағдайды ескеру керек.

«Генерация» термині жалпы айтқанда жекелеген минералдарға ғана емес, сондай-ақ минерал комплекстеріне, атап айтқанда таужыныстар мен рудаларға да қатысты. Мысалы, диабаз немесе кварцты порфир желілері көбінесе бірнеше ұрпаққа бөлінеді, оны бір таужыныс желілерінің қиылысуына қарап білуге болады. Басқа мысал: кейбір молибден кенорындарында ірі кристалды молибденит (MoS_2) бар зор түйірлі кварц желілері арасында, кейде молибден рудаларының кейінгі генерацияларында байқалады (желішіктер және сынықтар аралығындағы цемент түрінде), олар майда түйірлі кварц пен мол жабық қабыршақты молибдениттен тұрады.

Минералдық агрегаттар. Ерітіндінің немесе балқыманың кристалдануы және қатаюы нәтижесінде кристалл түйірлерінің бір-бірімен кіріккен қоспасы жаралып, ол минералдық агрегат деген атауға ие болады.

Агрегаттар *мономинералды*, яғни бір минералдың кристалл түйірлерінен тұратын (мысалы, мәрмәрдің немесе магнетит рудасының штуфы), және *полиминералды*, яғни құрамы мен қасиеттері бойынша әр түрлі бірнеше минералдан құралған (мысалы, гранит кесегі немесе мысты-мырышты сульфид рудасы) болады.

Минералдық агрегаттар өздерінің құрылысы және морфологиялық белгілері бойынша аса әркелкі. Олардың көпшілігі өзінше болатындығы сондай, олар айрықша атауларға ие болған. Минералдық агрегаттардың ең өзіндік морфологиялық ерекшеліктері заттың кристалдылық дәрежесіне байланысты. Осы көзқарастан ең алдымен олардың екі үлкен тобы бір-бірінен айтарлықтай айрықшаланады: 1) айқын кристалды агрегаттар; 2) жабық кристалды және колломорфты массалар.

Минералдық агрегаттардың басты типтерін атайық.

1. *Түйірлі агрегаттар* – кристалл түйірлерден, кейде қандай да бір минералдың жақсы жаралған кристалдары комбинациясынан тұрады. Агрегаттардың бұл типі жер қыртысында ең көп таралғандығымен пайдаланады. Олардың мысалдарына толық кристалды магмалық таужыныстар, пайдалы қазба кенорындарының көптеген сульфид және басқа рудалары, т.б. жатады.

Құрайтын минералдарының өлшемі бойынша ажыратылатындар: 1) ірі түйірлі агрегаттар – түйірлерінің көлденең өлшемі 5 мм-ден асады; 2) орташа түйірлі – түйірлері 1-5 мм, жай көзбен оңай ажыратылады; 3) ұсақ түйірлі, олардың түйірлерінің өлшемі 1 мм-ден кіші.

Жабық кристалды агрегаттардың құрылысы тек микроскоппен жұқа шлифтерде ғана анықтала алады.

Оларды құрайтын түйірлердің пішіні де агрегаттардың морфологиялық ерекшеліктеріне өз таңбасын қалдырады. Егер агрегат біршама изометриялық пішіндерден тұрса, онда оны жай *түйірлі* деп атайды. Егер түйірлер қалақша кейіпті болса, онда мұндай агрегаттар *жапырақша* немесе *қабыршақты* деп аталады – ол құраушы индивидтердің өлшемдеріне байланысты. Ең соңында, индивидтері бір бағытта созылған кейде радиал орналасқан (*43-сурет*) агрегаттар кездеседі, олар *сырықша*, *инеше*, *талшықша* агрегаттар деген атауларға ие болады.



43-сурет. Вивианит кристалдарының радиал будалары (В. Слетов пен В. Макаренконың суреті)

Сондай-ақ пішіндері әр түрлі минералдардан тұратын агрегаттар да таралған, мысалы: анартастың изометриялы кристалдары бар слюдалы тақтатастар (*44-сурет*), турмалиннің сырықша кристалдары бар кварцтың түйірлі массалары және т.б.



44-сурет. Мусковитті тақтатастағы алмандин. Кола түбегі

Кеңістікті толтыру дәрежесі бойынша нығыз және болбыр түйірлі агрегаттарды ажыратады. Олардың мысалына кебірсіген тұзды көлдер түбіндегі болбыр кристалл жаралымдар жатады.

2. *Друза* – жақсы жаралған кристалдардың кірікпесі, олар қандай да бір қуыстың қабырғасына өседі. Оның мысалына жиі кездесетін кварц кристалдарының друзасы жатады (*45-сурет*). Друзалар кристаллографиялық көзқарас жағынан ғана қызық болып қоймайды, сондай-ақ оларда көбінесе

ерітіндінің ең соңғы порцияларынан кристалданған әр түрлі минералдардың бөліну реттілігін зерделеуге болатындығымен де қызық.



45-сурет. Кварц кристалдарының друзасы

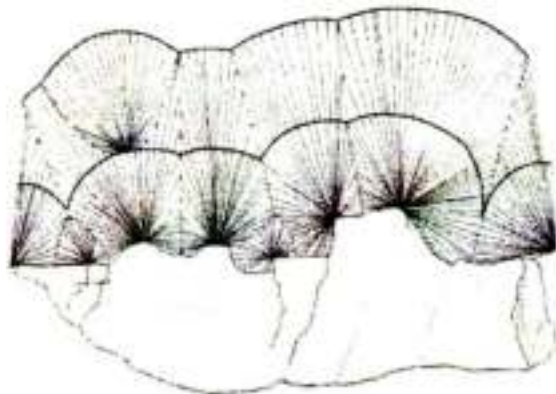
Друзаларда жақсы жаралған кристалдардың болу фактісінің өзі олардың бос кеңістікте, яғни қандай да бір бастапқы қуыстарда, ашық жарықшақтарда, уатылған таужыныстарда және т.б. пайда болғанын куәландырады. Қуыстардың өлшемі әр түрлі болады, кішкентай кеуектерден бастап, үңгірлерге дейін. Мұндай үңгірлер «хрусталь қоймалары» деп те аталып, олардың қабырғаларында мөлдір кварцтың және басқа минералдардың ірі кристалдары тұтасып тұрады.

Кристалл дарактары тығыз жымдасып, бір-біріне параллельге жуық бағытта созылған мұндай минерал жаралымдары *тарақ* немесе *щетка* агрегаттар деп аталады. Әрине, қуыстың қабырғаларында туындаған кристалдар өсудің бастапқы сәттерінің өзінде бір-бірімен жақындасып, ар ары қарай тарылған жағдайларда осы қабырғаларға перпендикуляр бір бағытта ғана дамығаны көрінеді. Жаралымдардың осы категориясына кристалл қабықтар да жатады, олар ұсақ әрі тығыз кіріккен кристалшалар түрінде жаралады, сондай-ақ кристалдар щеткасы да осыған жатады.

Зерделеу көрсеткендей, мұндай жағдайларда бастапқыда пайда болған көптеген кристалл ұрықтары өздерінің өсуін әр түрлі сан килы бағыттарда дамытады. Бірақ ары қарай өсу процесінде кеңістік үшін күресте біртіндеп кристалл дарактарының аз саны ғана өсу мүмкіндігін алады, солардың ішінде дамуын негізінен кристалдар туындаған бетке перпендикулярға жақын бағытта ең жақсы өсуін дамыта алады («геометриялық сұрыпталу принципі»). Егер осы бет ойыс болса, онда радиал бірігетін сәуле сияқты минерал агрегаттары пайда болады, ал егер дөңес болса – ажыраған ине немесе бағанаша кристалл массалары жаралады.

Радиал-сәуле агрегаттардың (сферолиттердің) жаралуы көбінесе туындаған кристалдардың өсу процесінде тоқталмай тарамдалуымен байланысты, кейде олар бірнеше қосымша туындаулармен сүйемелденеді. Кристалдар туындағанда жекелеген бөлшектер бетінде геометриялық сұрыптау көбінесе сондай-ақ тарамдалу процестерінің қатысуымен *ядросферолиттер* деп аталатындардың жаралуына әкеледі. Тарамдалған

кристалдар кристалданған кезде күрделі бетте *сферолит қабықшалары* жаралады, мұнда геометриялық сұрыптау белгілері жекелеген сферолиттер аралығында да байқалады (46-сурет).

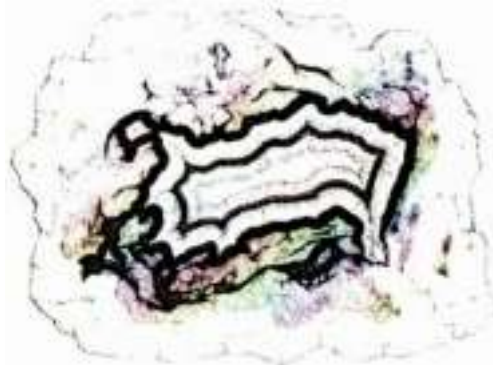


46-сурет. Гематиттің бүйрек тәрізді агрегатының сферолит құрылысы

3. *Тасшемендер (секрециялар)* бұрыс, әдетте дөңгеленген пішінді қуыстардың кристалл затқа толуы нәтижесінде жаралады. Көптеген тасшемендердің өзіне тән айрықшалығына минерал заттың қуыс қабырғаларынан орталығына қарай концентрлі ретпен біртіндеп қабаттала түзілуі жатады. Мұнда жекелеген қабаттар көбінесе бір-бірінен түсі бойынша және жиі құрамы бойынша да айрықшалаанады.

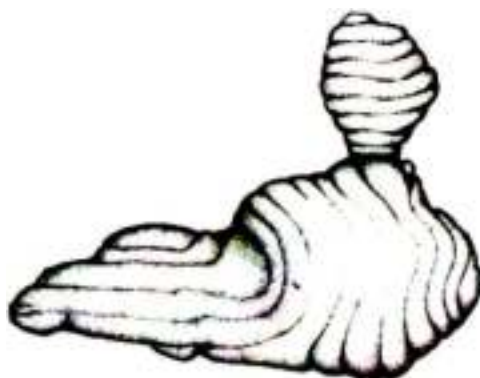
Ұсақ қуыстар әдетте толығымен минерал затқа толады. Кейде орталық бөлігі қандай да бір минералдың радиал-талшықты агрегаттарына толады, мысалы цеолиттің. Ал ірі қуыстар орталығында кейде қабырғалары кристалдар друзасымен немесе сорғалама жаралымдармен көмкерілген бос қуыстар байқалады.

Ұсақ (көлденеңі 10 мм-ге дейін болатын) тасшемендер *бадамшалар (миндалиналар)*, ал ірілеулері – *жеодалар* деп аталады (47-сурет).



47-сурет. Қуысы кварц щеткаларына толған халцедон жеодасы (В.Слетовтың суреті)

4. *Тасберіштер (конкрециялар)* шар тәрізді немесе пішіні онша дұрыс емес сфералық жиырылымдар мен жалбырлар түрінде жаралады (48-сурет). Олар қопсық шөгінді таужыныстарда, негізінен таужыныстардың саз, құм және жер сияқты өнімдері ішінде пайда болады. Тасберіштердің өлшемі кең ауқымда ауытқиды – бірнеше миллиметрден ондаған сантиметрге дейін, кейде көлденеңі бірнеше метрге дейін жетеді. Олар өскен сайын біріге береді де пішіні бойынша ірі күрделі денелер жасайды.



48-сурет. Шақпақтас конкрециясы (В. Слетовтың суреті)

Олар көбінесе бөтен текті денелер айналасында пайда болады, бірақ ол міндетті түрде емес. Мұндай денелерге көп жағдайларда органикалық қалдықтар жатады. Марказит пен фосфориттің құмды тасберіштерінің жылтырланған қималарында таужыныстың өзінің қабаттылығына сай келетін құмның қабаттала орналасуы көрінеді. Бұл факт тасберіштер ең болмағанда кейде таужыныстар қалыптасқаннан кейін жаралатынын көрсетеді. Орталығы арқылы өтетін омырылымында олар көп жағдайларда радиал-сәулелі құрылысты екенін байқатады. Кейде осымен қатар минералдық массаның онша айқын білінбейтін концентрлі-зоналы құрылысы байқалады.

Осылайша, тасберіштер өзінің жаралуы бойынша жоғарыда қарастырылған тасшемен жаралымдардан елеулі айрықшаланады. Тасшемендерге керісінше, тасберіштер қандай да бір орталықтан сыртқа қарай өседі. Тасберіштердің радиал-сәулелі құрылысы өзінің жаралуымен жекелеген кристалл дарактары аралығындағы геометриялық сұрыптауға міндетті.

Фосфорит, пирит, марказит, кейде сидерит, барит және басқалар тасберіштер түрінде өте жиі кездеседі.

5. *Оолиттер* жаралу тәсілі бойынша көпшілігінде тасберіштер сияқты. Олар да сфералық жаралымдар, бірақ өлшемдері кіші (миллиметрдің ондаған бөліктерінен 10 мм-ге дейін). Сулы ортада бөтен жүзгін денелердің сыртында – құм, органикалық қалдықтардың сынығы және тіпті газ көпіршіктерін айнала пайда болады. Оолит жиырылымдардың өзіндік ерекшелігіне олардың анық білінген, біршама дұрыс концентрлі қабаттылығы, кейде қабықшалығы жатады. Пішіні бойынша ұқсас, бірақ концентрлі қабаттылықсыз жаралымдар *жалған оолиттер* (ноқаттар) деп аталады.

Қазіргі әкті оолиттердің жаралуы қозғалмалы суда жүзгін күйінде жүреді, мұнда олар белгілі бір өлшемдерге жету барысында су түбіне отырады. Цементтелген оолит жиырылымдарынан тұратын шөгінді таужыныстар өлшемдеріне байланысты *бұршақ тастар* деп аталады.

6. *Сорғалама пішіндер* деп аталатын минералдық жаралымдар друза кристалдары сияқты қуыстарда байқалады, солардың ішінде табиғи үңгірлерде де. Бұрын оларды коллоидтардың кристалдануы нәтижесінде пайда деп жорамалдаған. Мұндай агрегаттар әрдәйім дерлік сферолит немесе микросферолит құрылымға ие болады, олар *сталактит (тасұңгі)* немесе

жалған сталактит (49-сурет), бүйрек тәрізді, жүзім тәрізді және басқа пішіндер түрінде байқалады (50-сурет). Қуыстардың төменгі бөліктерінде ағып түскен тамшылардан жоғары қарай конус тәрізді көтерілген сталагмиттер (тасқадалар) пайда болады. Олар дегенмен барлық минерал жаралымдарында байқалмайды. Сорғалама пішіндердің жаралуы басым көпшілік жағдайларда шынайы ерітінділерден жаппай кристалдануға байланысты, бұл кристалдану тарамдалумен және дарақтардың геометриялық сұрыпталуымен сүйемелденеді. Жаралатын агрегаттардың әр түрлі болуы дарақтар туындауы жылдамдығының және өсу режимінің айырмашылығына байланысты. Бұл жағдайлар табан беті мен өсетін кристалдардың әр түрлі күйдегі сұйық ортасымен жапсары сипатына байланысты (үлбір, тамшы немесе тұрынды ерітінділер, ерітінділердің ламинар немесе турбулент ағындары және т.б.). Жалғансталактиттер сферолит қабықшалардың сулы ортадағы майысқақ коллоид түтікшелерде туындауы және кристалдануы жолымен пайда болатындығы ықтимал екені көрінеді.



49-сурет. Халцедонның жеодадағы жалғансталактиттері (В. Слетовтың суреті)



50-сурет. Карст үңгіріндегі кальцит геликтиттері (В. Слетовтың суреті)

Мұндай жаралымдардың өлшемі сан қилы болады – микроскоптықтан бастап үлкен үңгірлердегі арагонит пен кальциттің ($\text{Ca}[\text{CO}_3]$) жуан бағана тәрізді сталактиттері мен сталагмиттеріне дейін.

Осындай пішіндерде сан қилы минералдар кездесе алады: темір гидроокиселдері (лимонит, гетит), марганец гидроокиселдері (псиломелан), опал, малахит, гипс, арагонит, кальцит, әр түрлі металдар сульфидтері және басқалар.

Сорғалама жаралымдарды жылтырлаған үлгілерде зерделеу көрсеткендей, олар өте жиі концентрлі-зоналы (көлденең қималарда)

құрылысымен сипатталады. Мұндай құрылым бір минералдың өзінен тұратын, бірақ түстері әр түрлі немесе физикалық қасиеттері әр түрлі (малахит, лимонит және т.б.), болмаса әлдеқайда сирек жағдайларда құрамы бойынша әр түрлі (мысалы лимонит, халцедон және малахит, лимонит және сомтума мыс және т.б.) минералдар зонасының алма-кезек орналасуына байланысты. Жекелеген концентрлі қабаттардың минералдық құрамының айырмашылығы өсу процесінде ағып келген ерітінділер құрамының өзгергенін куәландырады.

7. *Жер сияқты массалар* өздерінің аты көрсетіп тұрғандай, жұмсақ ұн сияқты жаралымдар болып табылады. Оларда тіпті лупаның көмегімен қандай да бір кристалл жаралымдарды ажырату мүмкін емес. Әдетте біз оларды көбінесе рудалар мен таужыныстардың химиялық моруы кезінде пайда болатын қабықшалар немесе шоғырлар түрінде байқаймыз. Түсіне қарай мұндай массаларды кейде *күйе* (қара түсті жаралымдар) немесе *жоса* (сары немесе бурыл түсті шоғырлар мен қабықшалар) тәрізділер деп атайды.

Мысалы никель (тініке) гидросиликаттарының түсі әр түрлі минералдық жаралымдары, марганец гидроокиселдерінің күйе тәрізді жаралымдары, темір гидроокиселдерінің жоса тәрізді жаралымдары және мурудың басқа қалдық өнімдері осындай.

8. *Жұғындылар және жағындылар* кейде жұқа үлбірлер түрінде кристалдар бетінде кездеседі. Оларға құрамы бойынша әр түрлі заттар жатады. Олардың қатарына, мысалы, тау хрусталі кристалдарындағы темірдің бурыл гидроокиселдерінің жұқа үлбірлері, мыс кенорындарын сыйыстыратын таужыныстардағы мыс көгілдірі мен жасылдары және басқалар жатады.

9. *Таңдақтар* деп әдеттер рудалар, тужыныстар, құрғақ топырақ, жарықшақтар бетінде мезгіл-мезгіл пайда болатын болбыр үлбірлер мен қабықшаларды немесе үзік-үзік таралған мүк тәрізді және ұлпа жаралымдарды айтады. Олар қандай да бір тұздардан, көбінесе оңай еритін сулы сульфаттардан тұрады. Жылдың жаңбырлы мезгілдерінде олар әдетте жоқ болып кетеді, ал құрғақ ауа райында қайта пайда болады.

Осы типті жаралымдарға таужыныстар бетінде майда жарықшақтар бойында байқалатын марганец гидроокиселдерінің дендрит сияқты бөлінімдерін біршама жиі байқауға болады (*51-сурет*).



51-сурет. Марганец гидроокиселдерінің дендриті

10. *Лизеганг сақиналары мен спиральдары*. Бұл терминмен қандай да қосылыстардың микрокеуек орталарда диффузия кезінде мезгіл-мезгіл шөгу нәтижесінде жаралатын ырғақты алмасып отыратын жолақ жаралымдарды атайды. Олар Р. Лизегангтың концентрлі сақиналар мен спиральдар (орамдар) түрінде алған нәтижелеріне өте ұқсас болғандықтан осылай аталған. Бұл тәжірибенің мәнісі мынада: $K_2Cr_2O_7$ сіңірілген желатиндегі $AgNO_3$ тамшысының айналасында ерітіндінің диффузиясы кезіндегі реакция процесінде $Ag_2Cr_2O_7$ микроскоптық кристалшалары пайда болған. Олар алғашында ерітіндімен бірге қозғалған, ал содан кейін өскен сайын өздерінің өлшемдеріне байланысты ары қарай жылыстай алмайтын болғандықтан, желатиннің кеуектерінде тоқталып қалған және сондықтан мезгіл-мезгіл концентрлі сақиналар түрінде шөккен. Оларға өте ұқсас жаралымдар майда кеуекті таужыныстарда мору процестерінде пайда болады. Мысалы, әктаста, құмтаста және басқа таужыныстарда бурыл темір гидроокиселдеріне боялған ырғақты сақиналар, жолақтар, гиперболалар осындай. Мұнда заттың мезгіл-мезгіл шөгуі әрине зольден гель түрінде дисперсиялық фазаның немесе электролиттің сындарлық концентрациясы кезінде жүреді. Егер мұнда бір мезгілде таужыныстың шаймалануы орын алғанда, онда ақырғы нәтижесінде біз концентрлі-қабықты жаралымдарды көреміз, оларда гельдің тығыз жолақтары жер сияқты бөлікшелермен алмасып отырады.

Кейбір жағдайларда сақиналардың немесе спиральдардың орнына ағаш тәрізді жаралымдар пайда болады. Мысалы, опалдағы темір немесе марганец гидроокиселдерінің бөлінімдері («мүк» ақық) осындай. Оларды жасанды жолмен желатинде де оңай алуға болады.

Минералдар парагенезисі (грекше *пара* – қатар, қасында; *генезис* – жаралу). Бұл термин «минералдардың бірге болуы» ретінде қарастырылып, оны геологиялық әдебиетке Брейтгаупт 1849 жылы енгізген. Бірақ алғаш, аталған уақыттан әлдеқайда бұрын (1798 жылы) осы түсінікті «минералдар қатарластығы» деген атпен орыс ғалымы В.М. Севергин ұсынған болатын. В.И. Вернадский 1923 жылы бір минералдық денеде минералдардың бірге болуын *минералдық ассоциация* деп атауды ұсынған, ал «парагенезис» терминіне ол басқа мағына берген.

Ол бұл ілімнің бастауы металл рудалар мен асыл тастардың серіктерін іздеген ежелгі кен қазушылардың байқаулары кезімен байланысты екенін атап көрсеткен. «Олар алғаш оны өздері білмесе де, минералдық ассоциацияларды зерделеген» - деген. Мысалы, құрамында көбінесе күміс болатын галенит (PbS) әдетте сфалеритпен (ZnS) бірге кездесетіні баяғыда анықталған. Дәл осылайша алтын кварцпен, киноварь (HgS) антимонитпен (Sb_2S_3) және т.б. кенорындар кең таралған. Қазіргі кезде бұл салада жинақталған зор көлемді эмпирикалық материал іздеу-барлау жұмыстарын жүргізген кезде үлкен көмек көрсетеді.

Вернадский қандай да бір минералға немесе химиялық элементке белгілі «барлық минералдық ассоциацияларды» және де «парагенезис» деп атап, құрамында берілген минерал кездесетін минералдық денелерді, минералдық ассоциацияларды және генерацияларды ескеру керектігін

ұсынған (История минералов земной коры. 1923. т.19. – с. 153). Өкінішке орай, Вернадский осы ұсынысын көрсететін нақты мысалдарды келтірмеген. Дегенмен, ол өзінің осы еңбегінің басқа жерінде «*минералдар бірлестігі заңдылықтарын* – олардың парагенезисін» зерделеу қажеттілігін көрсеткен (Сол еңбек, 11 б.). Осы ұғымды бұл мәселе минералогияда айрықша қызығушылыққа ие болады.

Сан қилы таужыныстар мен рудаларды түбегейлі зерделеген кезде алынған өте бай минералогиялық материал осы бағыттағы зерттеулерді елеулі тереңдетуге мүмкіндік берді. Минералогтар анықтағандай, минералжаралу процестерінде физикалық-химиялық жағдайларға және ерітінділердің қоршаған ортамен әрекеттесуіне байланысты осы процестер дамуының әр сатысында берілген минералдық денеде *бірге жаралған минералдар тобы* ретінде белгілі парагенетикалық ассоциациялар пайда болады. Оларға тән болатыны, әр осындай топ минералдар жаралуының өзінің жағдайларын көрсетеді. Анық болу үшін келесі қарапайым мысалға тоқталамыз.

Көбінесе бір руда кесегінде бірге байқалатын минералдар арасында *жаралу уақыты мен жаралуы бойынша екі немесе бірнеше әр түрлі минералдар тобы* анықталады. Мысалы, лимонит (темір гидроксидтері) пен малахит (мыс карбонаты) көбінесе шала ыдыраған мыс пен темір сульфидтерімен (мысалы, пирит – FeS_2) және халькопиритпен (CuFeS_2) бірге байқалады. Бірақ геологиялық деректер әрдайым сульфидтердің бір жағдайларда бұрын жаралғанын, ал кейінгі темір гидроксидтері мен мыс карбонаты тіпті басқаша (мору жағдайларында) жаралғанын және кеңістікте сульфидтермен тек оларға кіретін химиялық элементер (темір мен мыс) көзі бойынша ғана байланысты екенін көрсетеді. Сонымен, берілген минералдық ассоциацияда біз минералдардың *жаралу жағдайлары бойынша әр түрлі екі тобын* көреміз.

Минералдық ассоциацияларды зерделеудің осындай тәсілін ұстанғанда ғылыми да, практикалық та жағынан төтенше маңызды *минералдар парагенезистік ассоциацияларының уақытта заңдылық ауысымы* анықталады. Олар минералжаралудың тарихи барысындағы физикалық-химиялық жағдайлардың өзгеруін куәландырады. Кеңес ғалымдары табиғатта байқалатын минералдардың әр түрлі бірлестігін талдаудың геометриялық әдісін әзірлеген. Бұл әдіс кәдімгі зерттеу әдістерінде зерттеуші байқай алмайтын көптеген ерекшеліктер мен фактілерді ашып көрсетуге мүмкіндік берді.

Типикалық парагенезистік ассоциацияларды білу минералогияда үлкен мәнге ие. Ол бірге кездесетін минералдарды анықтауға көмектесіп қана қоймайды, сондай-ақ пайдалы қазбаларды іздеу де үлкен қызмет атқарады. Мысалы, магнийге байыған негізді магмалық таужыныстарда біз пирротин (FeS) мен халькопирит (CuFeS_2) сияқты сыртқы белгілері бойынша оңай анықталатын минералдарды кездестіреміз, онда міндетті түрде қиын диагноздалатын, бірақ никельдің өнеркәсіпте өте маңызды минералы –

пентландитті іздеуіміз керек. Өйткені пентландит осы таужыныстар құрамында аталған минералдармен бірге жаралатын минерал.

Табиғатта минералдар парагенезистік ассоциацияларының сан қилы түрлестері байқалатынын көрсету қажет. Ол кристалданатын ерітінділердің немесе олармен әрекеттесетін таужыныстардың тек бастапқы құрамына ғана емес, сондай-ақ температураға, қысымға немесе жер қыртысының минералдардың жаралуы мен түрленуі жүретін тереңдігіне және басқа факторларға байланысты. Мұндайда бір минералдар сыртқы факторлардың тек қана белгілі бір мәндерінде пайда бола алатын болса, басқалары керісінше минералжаралудың әр түрлі процестері кезінде жаралады. Мәселен, гипс ($\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) бір жағдайларда көбінесе қабаттық тұзды жатындарда хлорлы және күкіртқышқылды ассоциацияларда кездеседі, олар көп алаптары мен лагуналарда қанық тұздықтардың кебірсуі нәтижесінде жаралады. Басқа жағдайларда гипс таужыныстардың химиялық мору өнімі ретінде байқалып (жауын-шашын мөлшері аз алқаптарда), темір гидроокиселдерімен және ыдыраудың сазды өнімдерімен ассоциацияланады. Мұнда кен үңгімелері көрсеткендей, тереңдеген сайын гипс те жылдам жоқ болады. Гипстің кристалдар түрінде жарықшақтарда, ыдыраған және түссізденген лава мен интрузиялық таужыныстар арасында, сольфатар (жанартау әрекеті аудандарындағы бу тәрізді күкіртті бөлінімдер) маңында болуы жағдайлары хатталған. Гипс мұнда сыйыстырушы таужыныстар әктілі минералдары құрамында күкірт қышқылы және т.б. бар ыстық судың ықпал етуінен жаралғандығы көрінеді.

Минералдар парагенезистік ассоциациясының сан қилылығы көбінесе мыналарға байланысты күрделенеді: көпшілік жағдайларда бір процеске байланысты бірге жаралған минералдардың берілген тобына өздерінің жаралуы басқа процеске байланысты минералдар ассоциациясы үстемеленеді, мұнда жаңажаралымдар көбінесе бұрын жаралған минералдар есебінен біршама дамиды. Сондықтан мұндай жағдайларда жаралуы бойынша әр түрлі минералдардың *бірге жаралған топтарын бөлек* ескеру де маңызды. Өйткені минералжаралудың әр процесі үшін әрине минералдар бірлестігінің өздерінің заңдылықтары болады. Минералжаралудың жаңа процесі үстемелену фактісінің өзі минералдық фазалар тепе-теңдігінің физикалық-химиялық жағдайлары өзгергендігін куәландырады. Ол көбінесе мынаған әкеледі – ең болмағанда бұрын жаралған минералдардың бір бөлігі жаңа жағдайларда орнықсыз болады да тиісінше өзгерістерге немесе жаңа минералдармен орын алмасуға ұшырайды.

Жекелеген минералдарға тән химиялық элементтер ассоциацияларына келсек, бұл мәселе кристалл денелер үшін тұтасымен кристаллхимия заңдары негізінде шешіледі. Кристалдық құрылымдардағы әр текті элементтер бірлестігі атомдар немесе иондар құрылысына, олардың өлшемдері мен қасиеттеріне байланысты химиялық ерекшеліктеріне қатысты екені белгілі. Бір атомдарды және атомдар топтарын басқалармен алмастыру да олардың өлшемдеріне байланысты болады, ал иондық қосылыстарда сонымен қатар

қосынды оң және теріс валенттіліктер теңдестікте болуы қажет шарт сақталады.

Минералдардың типоморфтық белгілері. Кейбір минералдар кенорындардың қандай да бір берілген типіне немесе берілген таужынысқа тән кристалдардың типтік пішіндеріне ие болатынына ежелден көңіл бөлініп келген. Мысалы, әдетте бос қуыстарда кристалдар түрінде кездесетін кальцит ($\text{Ca}[\text{CO}_3]$) бір кенорындарда өзіндік скаленоэдр пішіндерінде байқалса, ал басқаларда – ірі доғал немесе үшкір ромбоэдрлер түрінде, үшіншілерде – қалақша кристалдар, төртіншілерде – ұсақ сырықша кристалшалар түрінде және т.б. кездеседі. Кристалдардың осы сан қилы пішіндерін олардың жаралу температурасымен байланыстыруға әрекет жасалған. Бірақ ақыр соңында анықталғаны, жалпы кристалдардың морфологиясына және өлшемдеріне температура ғана емес, сондай-ақ ерітінділердегі компоненттердің концентрациясы, оларда қандай да бір еріген қоспалардың болуы мен ерітінділердің аса қанығу дәрежесі де ықпал ететіні.

Қазіргі кезде минералдардың типоморфтық белгілеріне кристалдар пішінін ғана жатқызып қоймайды, сондай-ақ минералдың жалпы қандай да бір типикалық белгілерін, мысалы түсін, минералдар құрамындағы кез келген химиялық элементтер қоспасын (типохимизм), қосақтар типтерін және т.б. жатқызады. Әрине, белгілі бір кенорындарға тән осы белгілер минералдар кристалданған ерітінділер құрамының ерекшеліктеріне, температураға, қысымға және минералжаралудың басқа жағдайларына байланысты екені даусыз. Бірнеше мысал келтірейік.

Жоғары температуралы, пегматиттік деп аталатын жаралымдар касситеритінің (SnO_2) гидротермалық кенорындардағыдан айырмашылығы, оның құрамында қоспалар түрінде ниобий, тантал, темір және басқа металдар болатыны анықталған. Сондықтан іздеу жұмыстары кезінде оны сайлар мен өзен аңғарлары қопсық түзілімдерінде жұмырланған түйірлер түрінде тапқан жағдайларда, оның құрамының ерекшеліктері бойынша қандай кенорын осы шашылымның көзі болғанын шамалап болжай аламыз.

Және анықталғаны, альпілік типті желілер деп аталатындардағы кварцтың ірі кристалдарының басқа кенорындардан айырмашылығы, кристалл пішіндерінің кейбір ерекшеліктерімен сипатталады: минералдардың белгілі бір парагенезисімен және әдетте дофинея заңы бойынша қосақталған кристалдары ішінде біршама ірі монокристалл блоктарының болуымен.

Сомтума алтынға тәні – оның құрамындағы күмістің мөлшері (изоморфтық қоспа түрінде) жер қыртысында жер беті маңында, яғни біршама төмен қысым мен температура жағдайларында жаралған кенорындарда көп болатыны. Күмісті алтын (электрум) кәдімгі сомтума алтыннан физикалық қасиеттері бойынша айрықшаланады: меншікті салмағы біршама төмен және түсі ашық сарылау болады. Онымен парагенезисте күмістің күкіртті қосылыстары жиі кездеседі: аргентит (Ag_2S), прустит (Ag_3AsS_3) және т.б.

Күрделі жаралу жағдайларымен сипатталатын руда кенорындарының басым көпшілігінде осы белгілердің үлкен сан қилылығы байқалады. Ол

шынайы заңдылықтарды анықтау үшін аса түбегейлі зерттеулер жүргізуді қажет етіп, солардың негізінде анық қорытындылар жасауға мүмкін болады. Қазіргі кезде генезисі әр түрлі бірқатар руда кенорындарында жүргізілген түбегейлі минералогиялық карталау, минералдар типоморфтық белгілерінің тұтас комплекстерін бөлуге мүмкіндік берді. Осының негізінде кенорындар масштабын болжауға, эрозиялық кесілу тереңдігін және терең деңгейлерде бай кенденуді табу перспективасын анықтауға мүмкіндік аламыз.

4.2. Минералжаралудың геологиялық процестері

Қандай да бір берілген минералдар комплексінің генезисін (жаралу жағдайларын) анықтау үшін олардың жаралу тәсілдерін анықтау ғана емес, сондай-ақ жер қыртысында жүретін және құрамы бойынша сан қилы таужыныстармен руда пайдалы қазбалар кенорындарының жаралуына әкелетін геологиялық процестермен байланыстыру да маңызды. Бұл мәселелер петрографияның және пайдалы қазба кенорындары туралы ілімнің арнайы курстарында түбегейлі қарастырылады. Біз мұнда осы мәселелер бойынша тек ең жалпы ережелерді ғана келтіреміз, өйткені ол ары қарай жекелеген минералдарды қарастырғанда қажет болады.

Белгілі бір геологиялық процестер нәтижесінде пайда болатын барлық минералдық массалар өздері жаралатын энергия көздері бойынша мынадай екі негізгі генетикалық топқа бөлінеді:

1) *эндогендік* (іште туындаған) – Жер шарының ішкі жылу энергиясы есебінен жүретін процестерде жаралатын; осы процестер нәтижесінде пайда болатын минералдар магма әрекетінің (осы сөздің кең мағынасында) өнімдері болып табылып, таужыныстар және пайдалы қазба кенорындары магманың өзінің және одан бөлініп шыққан әр түрлі жаралымдардың кристалдануы нәтижесінде жаралады; минералжаралу процестері әр түрлі тереңдіктерде және сан қилы, бірақ әдетте өте жоғары температурада жүреді;

2) *экзогендік* (сыртта туындаған) – Жер бетіне келетін сыртқы Күн энергиясы есебінен жүретін процестерде пайда болып, заттық көзіне Жер бетінде ашылымданатын және бүлінуге ұшырайтын әр түрлі таужыныстар және әр түрлі жаралымды рудалар болып табылады; минералжаралу процестері жер қыртысының ең беткі бөлігінде төмен температура мен атмосфералыққа жақын қысымда, атмосфераның, гидросфераның және биосфераның физикалық пен химиялық агенттерінің өзара әрекеттесу жағдайларында дамиды.

Эндогендік те, экзогендік те минералдық массалар өздері жаралғаннан кейін қоршаған орта жағдайларының өзгеруінен қандай да бір түрленулерге (метаморфизмге) ұшырайды. Әсіресе минералдық массалардың құрамы мен құрылысындағы елеулі түрленулер *аймақтық метаморфизм* деп аталатын процесте күшті жүреді. Мұнда таужыныстар массасы және солармен байланысты кенорындар тектоникалық бұзылыстар салдарынан өздері жаралған бастапқы алқаптардан жер қыртысының төмендеу зоналарына түседі. Осы тереңдік метаморфизм процесі біршама жоғары температура мен

қысым жағдайларында жүреді де жер қыртысында аса кең таралуға ие болады.

Эндогендік минералжаралу процестері

Біздің эндогендік минералжаралу процестері туралы біліміміз жер қыртысының төменгі бөліктерінде орналасатын магма ошақтарының әрекеті туралы ұғымдарға негізделеді. Айтарлықтай тереңдікте жүретін бұл процестердің өзіне біз байқау жүргізе алмаймыз. Тек жанартаулар жер бетінде әрекет ететін аудандарда ғана тереңдік процестер туралы түсінік алуға мүмкіндік беретін кейбір деректерді біле ала аламыз. Басқа жағынан, әр түрлі магмалық таужыныстардың құрамын, құрылымдық ерекшеліктерін, жатыс жағдайларын және өзара қатынасын зерделеу деректері және олармен кеңістікте байланыстағы пайдалы қазба кенорындары эндогендік минералжаралудың эндогендік процестеріне тән заңдылықтар туралы кейбір ұғымдар алуға (физикалық-химиялық заңдарға сай) мүмкіндік береді.

Осы ұғымдарға сай магма құрамы бойынша күрделі силикат от-сұйық балқыма болып табылады, оның құрамына құрамдас бөліктер де қатысады.

Магманың үлкен массалары қандай да бір себептер ықпалынан жер бетіне жетпей, жер қыртысының жоғарғы бөліктеріне енген жағдайларда, олар зор сыртқы қысымда баяу суынуға және дифференциациялануға ұшырайды. Оның өнімдері кристалдану нәтижесінде түрлі интрузиялық силикат таужыныстарға бастау береді. Мұнда ауыр металдар (Sn, W, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, Cu және басқалар сияқты) магмада мардымсыз мөлшерде болып, ұшпа компоненттермен (H_2O , S, F, Cl, B және басқалар) оңай еритін қосылыстар жасайды да магманың кристалдануы барысында магма ошағының жоғарғы бөліктерінде шоғырланады. Бір жағдайларда солардың көмегімен қалдық силикат ерітінділер жаралып, олар кристалданған кезде пегматит деп аталатындар пайда болады. Пегматиттің құрамында F, B, Be, Li, Zr, кейде сирекжер элементтер және басқалар бар минералдар жаралады. Басқа жағдайларда ұшпалар газ тәрізді өнімдер түрінде магма ошағынан бөлініп шығады да сыйыстырушы таужыныстармен реакцияға түсіп, оларға күшті жапсарлық ықпал жасайды. Ең соңында ұшпалар су ерітінділері – гидротермалар түрінде жарықшақтар бойымен магмалық массивтер үстіндегі жабынға өтіп, негізінен металл пайдалы қазбалардың бай кенорындарын жасайтыны жиі кездеседі.

Тек кейбір ауыр металдар ғана магмада қалады да оның дифференциациялану процесінде магмалық массивтер ішінде таужыныстарда шоғырланады.

Магма жер бетіне жетіп лава түрінде төгілгенде, оның құрамындағы ұшпа компоненттер босап шығады да атмосфераға кетеді.

Магмалық цикл құбылыстары дамуының көрсетілген тізбектілігіне сай минералжаралудың эндогендік процестерінің мынадай: 1) магмалық (сөздің дербес мағынасында); 2) пегматиттік; 3) пневматолиттік-гидротермалық сияқты кезеңдері бөлінеді.

1. **Магмалық процестер** барлық геологиялық замандарда жүріп, таужыныстардың зор массалары жаралуына әкелген.

Жаралу жағдайлары бойынша ең алдымен мұндай таужыныстардың екі тобы бөлінеді: а) *эффузиялық* (экструзиялық), яғни жер бетіне лава түрінде төгілген немесе тікелей оның маңында төмен сыртқы қысым жағдайында жылдам қатқан; б) *интрузиялық* – тереңде жоғары қысымда үлкен саңырауқұлақ тәрізді, қабат тәрізді және бұрыс пішінді массивтер түрінде баяу қатқан. Эффузиялық таужыныстар жылдам суынғанда толық кристалданып үлгірмейді, сондықтан олардың құрамында біршама мөлшерде жанартау шынысы және сыртқы қысымның күрт азаюы салдарынан газ тәрізді өнімдер бөлініп шыққанын куәландыратын мол көбінесе дөңгелек қуыстар (көпіршік лавада) болады. Интрузиялық таужыныстар, керісінше, толық кристалды таужыныстар болып жаралады.

Айтылып кеткендей, магмадағы дифференциациялану құбылыстары химиялық пен минералдық құрамы және меншікті салмағы бойынша әр түрлі таужыныстар жаралуына әкеледі. Кремний тотықтың және басқа компоненттердің мөлшеріне байланысты магмалық таужыныстар былай ажыратылады:

а) ультранегізді, MgO мен FeO көп, бірақ SiO₂ мөлшері өте жұтаң (<45%): дунит, пироксенит – интрузиялықтарда және пикрит – эффузиялық комплекстерде;

б) *негізді*, SiO₂ біршама жоғарылау (45-55%), Al₂O₃ пен CaO жоғары, бірақ MgO, FeO жұтаңдау: габбро, норит – интрузиялықтарда, базальт пен диабаз - эффузиялық комплекстерде;

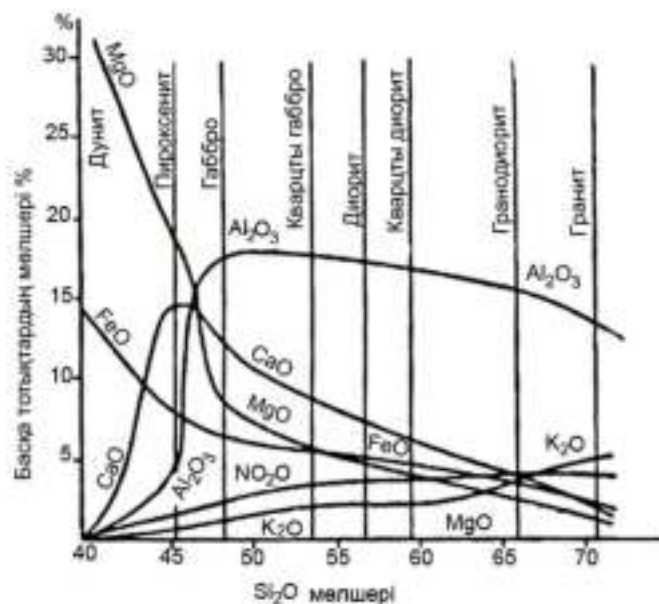
в) *орташа*, SiO₂ молырақ (55-65%), CaO жұтаңдау, бірақ сілтілерге байыған: диорит, кварцты диорит – интрузиялықтарда; порфирит, андезит және т.б. – эффузиялық комплекстерде.

г) *қышқылды*, SiO₂ мол (>65%), бірақ әлі сілтілерге біршама бай және CaO, FeO, MgO алдыңғылармен салыстырғанда біршама жұтаңдау: гранодиорит, гранит және басқа таужыныстар – интрузиялықтарда; липарит, кварцты порфир және басқалар – эффузиялық комплекстерде.

52-суретте интрузиялық таужыныстардың ең бастыларындағы элементтердің әр түрлі окиселдер түріндегі мөлшерінің деректері көрсетілген. Бұл диаграммада ультранегізді, негізді, орташа қышқылды және қышқылды магмалық таужыныстар құрамы қалай өзгередіні оңай байқалады.

Олардан гранитке қарағанда сілтілер мен Al₂O₃ біршама мол кварцсыз нефелинді сиенит (SiO₂ мөлшері 55 % шамасында), сондай-ақ фонолит, лейцитифир және басқа эффузиялық комплекстер біршама оқшау тұр.

Магманың дифференциациясы жетігірек білінген интрузиялық массивтер қатарында таужыныстардың қышқылды түрлестері жоғарғы бөліктерінде орналасса, ал меншікті салмағы бойынша ауырлау негізді және ультранегізді таужыныстар – тереңдеу бөліктерінде, массивтердің төменгі шекарасы маңында орналасады.



52-сурет. Ең басты интрузиялық таужыныстар құрамының диаграммасы

Магмалық жаралымды руда кенорындары ультранегізді және негізді таужыныстарда кездеседі. Оларға Cr, Pt және платина тобындағы басқа металдар, сондай-ақ Cu, Ni, Co, Fe, Ti және т.б. кенорындары жатады.

Сілтілерге бай интрузиялық таужыныстарда (нефелинді сиенитте) сирекжерлер – ниобий, тантал, титан, цирконий және бейметалл пайдалы қазбалар – фосфор (апатит), алюминототық шикізаты (нефелин) және т.б. кенорындары кездеседі.

2. Пегматиттер жаралу процестері магмалық массивтердің жоғарғы бөліктерінде жүреді. Олар үшін бұл массивтер үлкен тереңдіктерде (Жер бетінен бірнеше километр тереңдікте) қалыптасуы керек. Осындай үлкен сыртқы қысым жағдайларында магмада бұрын кристалданған таужыныстармен әрекеттесетін ұшпа компоненттер еріген күйде ұсталып тұра алады.

Пегматиттер геологиялық денелер¹ ретінде желілер немесе бұрыс пішінді жатындар, кейде штоктар түрінде байқалып, минералдық агрегаттарының айрықша ірі кристалдылығымен сипатталады. Желі тәрізді денелердің қалыңдығы кейде бірнеше метрге жетсе, ал ұзындығы бойынша олар әдетте ондаған, тіпті жүздеген метрге созылады. Көпшілігінде пегматит денелер туындатушы магмалық таужыныстар арасында орналасады, бірақ кейде желі тәрізді денелер түрінде осы интрузивті сыйыстыратын таужыныстарда да кездеседі.

Пегматит туралы осы түсінікпен таза құрылымдық «пегматит» терминін шатастырмау керек. Бұл термин кварц пен далашпаттың бір-біріне заңдылықпен кіріккен және белгілі бір сандық қатынастағы қоспасын білдіреді («жазба гранит», «еврей тасы»). Мұндай жаралымдар негізінен гранит пегматиттерде таралған.

Айту қажеттігі, пегматит жаралымдар құрамы бойынша ультранегізіден бастап, қышқылдылармен аяқталатын сан қилы

интрузиялық таужыныстар арасында байқалады. Бірақ пегматиттер қышқылды және сілтілі таужыныстарда ең көп таралуға ие болады.

Пегматиттер өздерінің құрамы бойынша түпнегіз таужыныстардан шамалы айрықшаланады: олардың басты массасы дәл сол таужынысжасаушы минералдардан тұрады. Тек екінші дәрежелі минералдары (саны бойынша), және олардың өзі де барлық пегматиттерде емес, құрамы бойынша елеулі айрықшаланады. Өйткені олардың құрамында құнды сирек химиялық элементтер болады және көбінесе құрамында ұшпа компоненттер бар минералдармен ассоциацияланады. Мәселен, гранит пегматиттерде ең басты таужынысжасаушы минералдарға (дала шпаттар, кварц, слюдалар) қосымша бериллий (берилл), литий (литийлі слюдалар), кейде сирек жерлер, ниобий, тантал, қалайы, вольфрам және т.б. минералдары, құрамында фтор және бор бар қосылыстар байқалады.

Көптеген пегматит денелерінде зоналанған құрылыс және минералдардың жеткілікті заңдылықпен таралуы байқалады. Мысалы, Оралда Мурза ауданындағы пегматитте (53-сурет) сыйыстырушы гранит жапсары маңындағы сыртқы белдемдері ашық түсті майда түйірлі таужыныстан (аплиттен) тұрады. Желінің орталық бөлігіне жақын олар «жазба гранит» (бір-біріне заңдылықпен кіріккен кварц пен далашпат) белдемдеріне алмасады. Ары қарай далашпат пен кварцтың алып кристалды массалары орналасады. Пегматит желісінің орталық бөлікшелерінде қуыстар («індер») кездеседі, олардың қабырғалары тау хрусталінің, топаздың және басқа асыл тастардың ірі, жақсы жаралған кристалдары друзаларымен көмкеріледі.



53-сурет. Мурзинка пегматит желісінің (Ортаңғы Орал) құрылысы (А.Е. Ферсман бойынша): 1 – гранит; 2 – аплит зонасы; 3 – графикалық зона («жазба гранит»); 4 – далашпат пен кварцтың алып кристалды массалары; 5 – «қуышық» (кристалдар друзалары бар қуыстар)

Пегматиттер сыйыстырушы интрузиялық, әсіресе сілтілі жерлерге (MgO, CaO) бай таужыныстарға енген жағдайларда, олардың минералдық құрамы түпнұсқа таужыныстарда жататын пегматиттер құрамынан айтарлықтай айрықшаланады. Минералдар парагенезисі мұндай жағдайларда ерітінділердің сыйыстырушы таужыныстармен әрекеттесуі процесінде орын алған белсенді реакциялар болғанын көрсетеді.

Минералдардың мұндай ассоциациялары құрамында тек магманың ғана элементтері емес (Si, Al, сілтілер және т.б.), сондай-ақ қапталдас таужыныстардың да (MgO және CaO) қатысатындығымен анықталады, пегматиттердің жапсарында олардың өзі де күшті өзгереді. А.Е. Ферсманның жіктелімі бойынша, мұндай типті пегматиттер «будандасу желісі» пегматиттеріне жатып, жоғарыда қарастырылған «таза желі» пегматиттерінен айрықшаланады.

Пегматиттердің жаралуын әлі соңына шейін шешілген мәселе деп қарастыруға болмайды. А.Е. Ферсман оларды ұшпа қосылыстарға байыған қалдық балқымалар кристалдануының өнімі ретінде қарастырған. Кейінірек академик А.Н. Заварицкий және оның ізбасарлары физикалық-химиялық ұғымдар негізінде түпнегіз таужыныстардың газдар ықпалынан қайта кристалдану жолымен ірі кристалды массалар жаралуы мүмкіндігін айтқан. Бұл газдар магманың кристалдану процесінде жаралатын магмалық қалдықта жинақталады. Бірақ бірінші және келесі жағдайларда да, пегматиттер дербес магмалық процестің соңында жаралады да тереңдік магмалық таужыныстар мен рудалы гидротермалық кенорындар аралығында дерлік аралық орын алады.

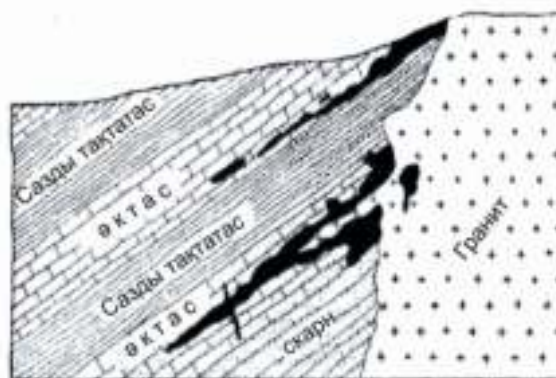
3. Пневматолиттік-гидротермалық процестер – олар шын мәнінде айқын постмагмалықтың өзі болып табылады, яғни магманың кристалдануы басты процесс ретінде тереңдік массивте негізінен аяқталғаннан кейін жүреді.

Дербес *пневматолит* (грекше *пневма* – газ) құбылысы ұшпа компоненттерге қаныққан балқымалар төмендеген сыртқы қысым жағдайларында кристалданған кездерде орын алуы мүмкін. Осының салдарынан белгілі бір сәтте бұл компоненттер қайнап кетіп, қалдық сұйық газға өтеді. Ол бұрын бөлініп шыққан қатты минералдармен бірге әрекеттеседі де зат дистилляцияланады (қайта түзіледі). Осындай текті процестер магма шамалы тереңдіктерде қатқан кездегі жағдайларда жүруі тиіс.

Үлкен және орташа тереңдіктерде балқымадан бөлінетін ұшпа компоненттер (суды қоса алғанда) флюид (сындарлыдан жоғары балқыма) болып табылып, ол балқымадан кристалданатын минералдармен біршама тепе-теңдікте болады. Бірақ мұндай флюид сыйыстырушы таужыныстармен тепе-теңдікте емес және сондықтан оларға қатысты жемірлік (агрессиялық) орта болып табылады. Мұндай жағдайда флюид сыйыстырушы таужыныстарға қарай ұмтылып, олармен химиялық әрекеттеседі де *жапсарлық метасоматоз* деп аталатын процесті туындатады. Мұнда ерітінділерді сіңірген қапталдас таужыныстарда (жабында) химиялық

реакциялар жүреді. Пайда болатын өнімдердің түрлену дәрежесі мен құрамы айтарлықтай шамада температураға ғана тәуелді болып қоймайды, негізінен ерітіндінің химиялық белсенділігіне және олармен әрекеттесетін таужыныстардың құрамына да байланысты болады.

Мұндай жағдайларда реакциялар нәтижесінде орын алмасу жолымен немесе метасоматоз процесінде *скарн* деп аталатындар жаралады (54-сурет), олар негізінен Ca, Fe, Al және басқалардың силикаттарынан тұрады. Олардың химиялық құрамы көрсеткендей, олар жаралатын көздерге сыйыстырушы таужыныстар да (әктас, доломит және т.б.), магманың құрамдас бөліктері де жатады. Атап айтатыны, жапсар бойында біздің ғалымдар (А.Н. Заварицкий мен Д.С. Коржинский) көрсеткендей, бір мезгілде сипатталып отырған процесс білінетін сәтке дейін қатып үлгірген интрузиялық таужыныстарда да өзгеріс жүреді. Мұнда магмалық таужыныс минералдары жаңа жаралымдармен орын алмасады, олардың құрамы көрсететіндей, карбонат қатқабаттардан элементтердің (Ca, Mg) әкелінуі орын алады. Скарндармен байланысты темірдің ірі кенорындары жаралады (Оңтүстік Оралдағы Магнитті тау), кейде вольфрам, молибден және кейбір басқа металдар кенорындары байланысты.



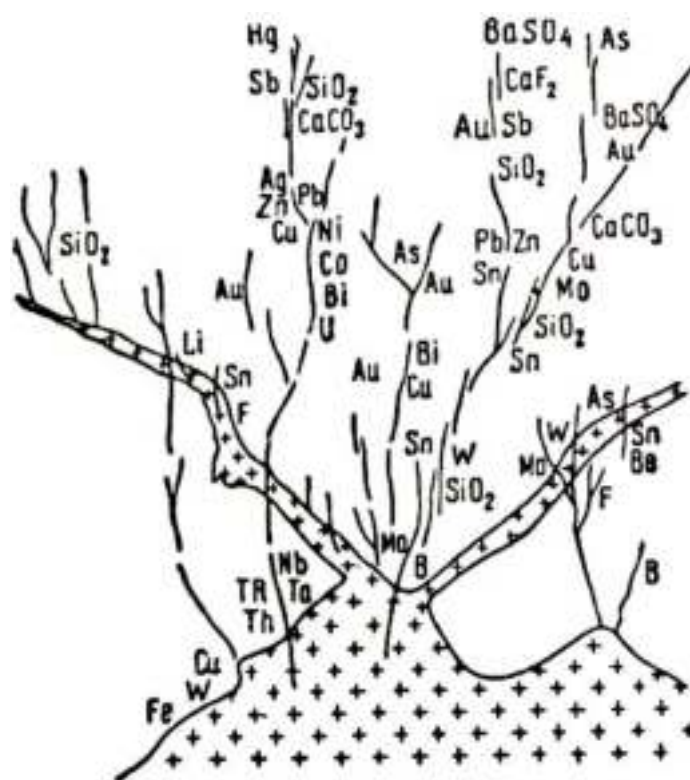
54-сурет. Жапсарлық-метасоматоздық кенорынның сұлба геологиялық қимасы. Қара түспен руда жатындары (магнетит рудасы) көрсетілген

Гранитоид интрузияларының фторға және сирек элементтерге қаныққан флюидтеріндің терригендік шөгінді таужыныстардан тұратын жабынына ықпал етуі грейзен жаралуына әкеледі. *Грейзен* – негізінен кварцтан тұратын әрі слюдаларға, топазға, бериллий минералдары мен флюоритке бай таужыныс. Грейзен көбінесе вольфрам, молибден, қалайы және висмут сыйыстырушы таужыныс болып табылады.

Магма жер бетіне шығып төгілген жағдайда, ұшпа заттардың зор мөлшері (экзгальциялар деп аталатын түрде) атмосфераға бөлініп кетеді. Бірақ суыған лаваның жарықшақтарында, жанартаулар кратерінің қабырғаларында және қоршаған басқа таужыныстарда мынадай минералдардың құрғақ булану (сублимация) өнімдері: сомтума күкірт, мүсәтір, гематит, киноварь, бор минералдары және басқалар жаралғанын жиі байқауға болады. Метасоматоздық реакциялар да байқалады, бірақ олар мұның алдындағы жағдайдағыға қарағанда нашар білінген.

Вулканизмнің газ тәрізді өнімдерінің сорғаламалары суасты атқыламалары кезінде де минералдық заттың елеулі мөлшерін түзе алады. Мұндай жағдайларда газдардың теңіз суымен араласуы конустық сульфид құрылыстардың (қара түтіндетушілер) пневматолиттік-гидротермалық жаралуына әкеледі, олардың құрамында темірдің, мырыштың, мыстың және күмістің елеулі концентрациялары болады.

Гидротермалық процестер тереңдік жағдайларда жабында, магмалық таужыныстардың тікелей жапсарынан біршама қашықта дамиды. У. Эммонс (1930 жыл шамасы) гипотезасына сай, қышқылды магма гидротермалық ерітінділер суының да, магма ошағынан руда түзілу алқабына еріген формада тасымалданатын металдардың да көзі болып табылады. Қалдық сындарлық үсті ерітінділер (флюидтер) өздерінің жылыстауына магманың магма ошағы жабынына енген кезде пайда болатын жарықшақтар жүйесін пайдаланып (55-сурет), біртіндеп суынады да 400⁰С-тан 370⁰С-қа дейінгі температурада сұйыққа айналып, ыстық су ерітінділеріне – *гидротермаларға* айналады.



55-сурет. Гидротермалық жаралымдардың жалпы сұлбасы. Айқыштармен магмалық таужыныстар көрсетілген

Гидротермалық процестердің білінуі үшін ең қолайлы жағдайлар шағын және орташа (жер бетінен 3-5 км) тереңдіктерде орын алады. Гидротермалық жаралымдардың басты массасы қышқылды таужыныстар интрузияларымен (гранит, гранодиорит, т.б.) байланысты. Ерітінді айналымының аясы дәл магма ошағының жоғарғы бөліктерінен дерлік басталып, кейде жер бетіне жетеді. Жуықта білінген вулканизм аудандарында әлі де ыстық минералданған көздер әрекет етуде, оларда құрамында Hg, Sb, As, Pb, Cu және басқалардың күкіртті қосылыстарының

комақты мөлшері бар кремнийлі шөгінділер түзіледі (Невададағы Стимбот-Спрингс, Калифорниядағы Сольфор-Бэнкс және т.б.).

Гидротермалық ерітінділер магма ошағынан жер беті жағына қарай алыстаған сайын біртіндеп оттекке байыған ортаны кездестіре береді: мұнда сыртқы қысым тиісінше төмендейді; температура шамамен 400⁰С-тан ондаған градусқа дейін азаяды. Бұл факторлар, әрине, химиялық реакциялардың барысына және гидротермалық жаралымдардың минералдық құрамына ықпал етеді. Белгілі бір минералдық ассоциациялардың басым болуына қарай, бұл жаралымдарды нағыз шартты түрде жоғары-, орташа- және төментемпературалық деп бөлінеді. Бұл, әрине, мысалы жоғарытемпературалық жаралымдар арасында төмен температурада кристалданатын минералдар ассоциациясы кездесе алмайды деген сөз емес. Тіпті пегматиттерде және жапсарлық-метаморфтық жаралымдардың өзінде гидротермалық текті біршама төментемпературалық минералдар әрдәйім кездесіп отырады. Олар тек жоғары температурада басталған минералдар түзілу процесінің ақырғы сатыларын ғана куәландырады.

Гидротермалық ерітінділердің жаралуы аса ұзақ уақыт бойы – магма ошағы өмірінің барлық мерзімі ағымында жалғасатыны көрінеді. Бір кенді түйінді құрайтын әр түрлі кенорындар қатынасы туралы фактілік деректерді талдау негізінде С.С. Смирнов мынадай тұжырымға келген – рудалы ерітінділер жарықшақжаралу процестерінің көп дүркін жаңарып отыруына байланысты дүркін-дүркін қозғалысқа келеді. Бұл туралы минералданудың кейінгі сатыларының бұрынғыларына үстіленетіні жиі байқалатын белгілері айтады.

Минералдық денелердің пішіні өздері толтыратын қуыстардың конфигурациясына және кейде ерітінділердің айналымы жүретін таужыныстардың құрамына байланысты болады. Жарықшақтарды толтырған жағдайларда үзік-үзік желілер жаралады (56-сурет), олардың тамыры кейде магмалық массивтердің жоғарғы бөліктерінде жатады. Минералдар өте ұсақ кеуектер мен қуыстарда түзілген кезде *сеппелер* жаралады. Егер ерітінділер өздерінің жолында химиялық жеңіл әрекеттесетін таужыныстарда (мысалы, әктасты) кездестірсе, онда көбінесе бұрыс пішінді *метасоматоздық жатындар* пайда болады. Егер ерітінділер кенет үлкен ашылатын саңылауларға түссе, онда қысымның күрт төмендеуі салдарынан еріткіштің (судың) жаппай булануы жүруі тиіс, ал осыған байланысты, ең болмағанда алғашқы кезде ерітінді күрт аса қанығады да сферолит агрегаттардан тұратын колломорфтық массалар тұнады. Сондай-ақ әр түрлі кристалдар друзалары бар қуыстар да кең таралған.



56-сурет. Сатыланған лықсымалар жүйесін толтыратын «сатыланған» алтынды кварц желілерінің морфологиясын көрсететін блок-диаграмма

Тұзды сулы ерітінділердегі рудалы компоненттердің ерігіштігі бойынша деректер көрсеткендей, тіпті өте ірі (батолиттер типті) интрузияларда туындауға қабілетті гидротермалар көлемінің өзі магма ошағынан гидротермалық жатындарда қордаланған металдар мөлшерін шығаруға жеткіліксіз болады. Бұл жағдай металдар мен гидротермалық ерітінділер бөлігі үшін көздер бірдей деген көзқарасты қайта қарауға әкелді. Қазіргі кезде гидротермалық желілер жаралуына терең айналымды метеорлық текті судың қатысы бар екені қолдау табуда.

Магма ошағының әртекті жылу өрісінде осындай судың елеулі массаларының көп дүркін айналымға түсіп, интрузиялардан бөлінетін ұшпа компоненттерге байыған соң интрузия үстіндегі сыйыстырушы таужыныстардың зор көлемінен Au, Ag, Cu және Co сияқты металдардың кларк мөлшеріндегі бір бөлігін шаймалап шығара алады. Осының өзі руда минералдардың елеулі массаларын ары қарай қайта түзу үшін жеткілікті болып табылады. Гидротермалық ерітінділердің аралас табиғатын желілік кварцтағы газ-сұйық кірінділердің изотоптық құрамы туралы деректер де қуаттайды.

Гидротермалық кенорындардан минералдық құрамы өте әр түрлі. Желілер басым көпшілік жағдайларда кварц массаларынан тұрады. Олардың құрамында әр түрлі минералдар, көбінесе металдардың күкіртті қосылыстары шоғырланады. Айта кету керек, дәл осы гидротермалық кенорындардан сирек (W, Mo, Sn, Bi, Sb, As, Hg, кейде Ni, Co), түсті (Cu, Pb, Zn), асыл (Au, Ag), және де радиобелсенді (U, Ra, Th) металдар рудаларының басты массасы өндіріледі.

Экзогендік минералжаралу процестері

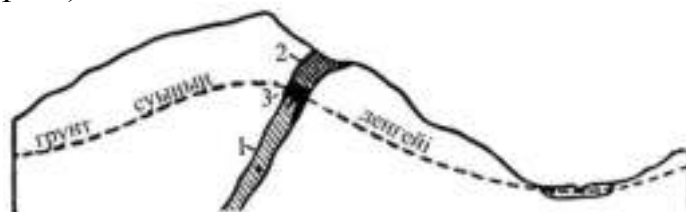
Жер бетінде Күн энергиясы есебінен жүретін минералдар жаралу процестері біздің байқау жүргізуімізге эндогендік процестерге қарағанда әлдеқайда қол жетерлік.

Біз білетіндей, құрлықта атмосфера агенттерінің (ауадағы оттегі, көмір қышқылы, су) ықпал етуінен және микроорганизмдер тіршілігінің әсерінен *мору процесі* деген жалпы атауға ие қуатты химиялық процесс жүреді. Ол эндогендік процестер жасағандардың барлығын физикалық және химиялық

ыдырауға түсіреді де сонымен бірге Жер бетінде орын алатын жағдайларда орнықты жаңа өнімдердің жаралуына әкеледі.

Бұл өнімдердің бір бөлігі жер беті ағын суымен еріген немесе жүзгін күйде тасымалданып, жылыстау барысында өзен аңғарының су ағыны баяулаған жерлерінде немесе көлдер мен теңіздер алабында түзіледі. Мұнда сондай-ақ минералжаралудың өзіндік процестері жүреді де олар шөгінділердің сушаралар түбінде қабаттар түрінде түзілуіне әкеледі. Бұл процесс *шөгінді* процесі деп аталады.

Мору процестері ең алдымен таужыныстар мен рудалардың температура ауытқуы ықпалынан механикалық қирауы түрінде білініп, ол таужыныстарды құрайтын минералдардың ұлғаю коэффициенттерінің әр түрлілігіне байланысты және де жарықшақтар мен кеуектердегі мұзға айналған судың және басқа факторлардың ықпалынан қирауына (дезинтеграциясына) әкеледі. Бірақ моруға минералдардың жаңбыр және жер беті суының ықпалынан химиялық ыдырауы әлдеқайда маңызды. Судың құрамында еріген күйде оттегі, көмір қышқылы және басқа газдар болатындықтан, ол осыған байланысты біршама күшті тотықтырғыш және еріткіш қабілетке ие болады. Мұндай су таужыныстарға сіңіп, грунт суының деңгейіне дейін түскен сайын, өзінің құрамындағы оттекті тотығу, гидратталу мен карбонатталу процестерінде жүретін реакцияларда біртіндеп жоғалтады (57-сурет).



57-сурет. Жер бетінде ашылымданған сульфид кенорны көлденең қимасының сұлбасы: 1 – бастапқы мыс-сульфид рудасы; 2 – темір телпек; 3 – мысқа қайта баю белдемі (қара түсті)

Жаралатын ерігіш қосылыстардың шаймалануы кеуектер, каверналар (тесіктер), кейде үлкен қуыстар (карст) жаралуына әкеледі. Бұл қуыстардың қабырғалары көбінесе сорғалама жаралымдармен немесе қандай да бір экзогендік минералдар кристалдарының шеткасымен көмкеріледі, немесе ақыр соңында жер сияқты жосадай материалға толады. Біршама оңай еритін таужыныстардың жаппай шаймалануы жүрген жерлерде топырақ қабаты бетінің отыруы, ал кейде опырылу воронкалары және тіпті үлкен үңгірлердің жаралуы (гипсті және әктасты қатқабаттарда) байқалады.

Жердің ең бетінде дамитын өсімдік жабыны, ал сонымен бірге ерітіндіге өтетін әр түрлі органикалық қосылыстар да таужыныстар мен рудалардың химиялық ыдырау процестерін күшейтеді.

Химиялық бүлінбейтін минералдар (кварц, алтын, платина және басқалар сияқты), сондай-ақ еруі қиын жаңажаралымдар Жер бетінде қалдық өнімдерде жинақталады. Қалдық өнімдер саз сияқты, түсі ашықтан күңгірт

реңдіге дейінгі, көбінесе қошқыл, темір гидроокиселдеріне боялған массалар түрінде байқалады.

Осындай жолмен жер бетінде немесе оның маңында жинақталатын химиялық мору өнімдері *қалдық кенорындар* деп аталатындары жасайды, олар негізінен гидроокиселдердің және гидросиликаттардың шоғырлары болып табылады. Мысалы саздың, каолиннің, бокситтің, темірдің, никелдің және басқалардың көптеген кенорындары осындай. Олар құрамы бойынша тиісті таужыныстардың қарқынды бүлінуі кезінде жаралады да кейде аса үлкен алаңдары алып жатады.

Химиялық моруға қандай да бір пайдалы қазба кенорындары ұшыраған жағдайларда пайда болатын қалдық жаралымдар *телпектер* (темір, марганец, гипс және т.б.) деп аталады. Бірқатар компоненттердің шаймалануына байланысты осы телпектерде қалатын пайдалы қазбалардың мөлшері әдетте ыдырамаған бастапқы рудалардағыға, яғни грунт суы деңгейінен төмен жатқандарға қарағанда едәуір жоғары болады. Айтуға тұрарлығы, шаймаланатын кейбір металдар, әсіресе мыс, сондай-ақ күміс, мырыш және басқалар ерітінділер түрінде сумен бірге тотығу белдемінің төменгі жағына, яғни грунт суының деңгейіне қарай сіңеді де бастапқы рудалармен немесе химиялық белсенді қапталдас таужыныстармен (эктаспен) реакцияға түседі. Мысты сульфид кенорындарында мұндай жағдайларда *сульфидке қайта баю* белдемі жаралып, оның құрамындағы мыстың мөлшері рудадағыдан әлдеқайда жоғары болады (*57-суретте*).

Химиялық мору процестерінде климаттық факторлар (орташа жылдық температура және жауын-шашын мөлшері) үлкен рөл атқарады. Ылғал мардымсыз болғанда және жоғары орташа жылдық температура кезінде тотығу мен химиялық қосылыстардың концентрациялануы жылдам жүреді. Жер бедері де үлкен мәнге ие болады. Таулы аудандарда үлкен эрозиялық әрекет ықпалынан химиялық бүліну өнімдері жинақталып үлгермейді. Ал төмен бедерлі аудандарда біз басқа көріністі байқаймыз.

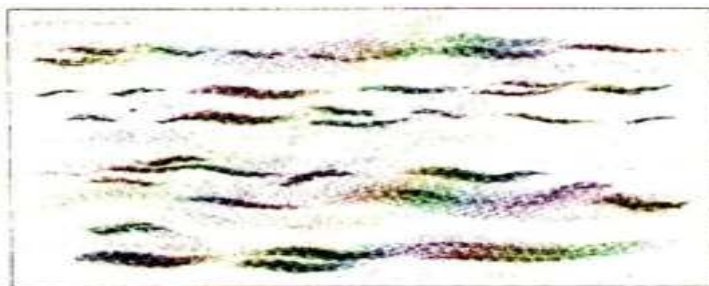
Мору процесінде жаралатын кенорындардың пішіндері әдетте онша дұрыс емес ұя тәрізді немесе қабат тәрізді жатындардан тұрады, олар жер бетіне біршама параллель болады. Ірі жарықшақтар, уатылу зоналары және физикалық пен химиялық қасиеттері бойынша әр текті таужыныстар жапсары бойынша мородың беткілік агенттері тереңірек енеді де күрт еңіс, тереңге қарай сыналанып кететін беткі жаралымды руда жаралымдардың жатындары пайда болады.

Шөгінді процестері сулы орталарда: өзендерде, көлдерде және теңіздерде жүреді. Теңіз алаптарында бұл процестер барлық геологиялық замандарда шөгінді таужыныстардың қалыңдығы орасан қатқабаттардың жаралуына әкелген. Мұндай жаралымдар арасында механикалық және химиялық шөгінділер бөлінеді.

Механикалық шөгінділер мору өнімдерінің шайылып, химиялық төзімді минералдар мен таужыныс сынықтарының су ағындарында тасмалта, қиыршық, құм және құмды саз түрінде өзен аңғарлары мен су алаптарында қайта түзілуінен жаралады. Егер шайылуға құрамында химиялық төзімді

құнды минералдары бар кенорындар мен таужыныстар мору өнімдері ұшыраса, онда олар қайта шайылу мен меншікті салмағы бойынша жіктелуі нәтижесінде өзен аңғарларында көбінесе өнеркәсіптік мәнге ие *шашылымдар* жаралады (58-сурет). Мысалы алтынның, платинаның, алмастың және басқалардың шашылымдық кенорындары осындай.

Механикалық шөгінділердің жинақталу процесінде шын мәнінде қандай да бір жаңа минералдардың жаралуы жүрмейді. Тек көне шашылымдарда ғана кейде сынықты материалда кейбір кейінгі химиялық өзгерістер анықталады.



58-сурет. Бастапқы бордың теңіз жағалауы титан-цирконийлі шашылым құмындағы ильменитке, рутилге және цирконге байыған күңгірт қабатшалар

Химиялық шөгінділер негізінен көлдерде және теңіз алаптарында пайда болады. Шөгінділердің тұнуы әр түрлі жолдармен жүре алады: тұздарға қаныққан ерітінділердің кристалдануы жолымен, немесе коллоид жаралымдардың гель түрінде ұйып тұнуы жолымен, болмаса ақыр соңында органикалық әлем тіршілігі өнімдерінің және органикалық қалдықтардың өзінің жинақталуы жолымен.

1. *Эвапориттер* деп аталатын *кристалл шөгінділердің* жаралуы көптеген кебірсіген көлдерде жаралады. Тұз тұнуы үшін құрғақ ыстық климат жағдайларында судың булануы оларға келетін тұщы су мөлшерінен жоғары болу керек.

Тұздардың кристалдануы сулы ерітінділердің біршама аса қаныққан кездерінде орын алады. Минералдардың бөліну реттілігі еріткіштің (H_2O) жоғарылаған булануы кезінде жүйе тепе-теңдігінің басты екі факторымен анықталады: ерітінділердің құрамымен, дәлірек айтқанда жүйеге кіретін компоненттер концентрацияларының ара қатынасымен және ерітінділердің кристалдану жүретін температурасымен. Теңіз суында кездесетін күкірт қышқылы және Ca, Mg, K мен Na хлорлы тұздары тепе-теңдігінің жағдайларын әр түрлі температура мен концентрацияда Вант-Гофф, Н.С. Курнаков және басқалар түбегейлі зерделенген.

2. *Коллоид* шөгінділердің көл мен теңіз алаптарында жаралуы біршама күрделілеу және бұл құбылыстың барлық жақтары жеткілікті дәрежеде зерделенбеген. Анықталғандай, мору кезінде жаралатын кейбір қосылыстар ағын сумен тек шынайы ерітінділер түрінде ғана емес, сондай-ақ тұщы суда орнықты коллоид ерітінді – золь түрінде де тасымалданады. Бұл ерітінділер ағын сумен теңіз алаптарына түскен соң электролиттер ықпалынан

коагуляцияға ұшырайды. Электролиттер теңіз суында еріген тұздар иондары түрінде көп мөлшерде болады.

Темірдің, марганецтің, кремнийдің және басқалар окиселдерінің коллоид ерітінділері өздерін осылай ұстайды.

Коллоид ерітінділердің коагуляциясы кезінде жаралатын микродисперсиялы минералдық шөгінділер өзендер суы әкелетін саз бөлшектерімен, ұсақ сынықты материалмен және теңіз организмдері қалдықтарымен бірге алаптардың жағалау зонасы түбінде қабатшалар немесе қалындау, пішіні бойынша дұрыс қабаттар түрінде түзіледі. Уақыт ағымында бұл түзілімдерде кейбір түрленулер (диагенезис) жүреді де олар нығыз массаларға айналады.

Марганецтің шөгінді кенорындары мысалында тұнбаның алаптар түбінде қалыптасуының физикалық-химиялық жағдайларына байланысты, шөгінділердегі парагенезистік ассоциациялардың заңдылықты өзгеруі анықталған. Жағалаудағы саяз сулы бөлікшелерде марганецтің оттекке өте бай төрт валентті қосылыстары таралған, олар жаға сызығынан алыстаған сайын, сирек темір сульфидтерінің сүйемелдеуінде екі валентті марганецтің карбонат қосылыстарына алмасады. Саяз сулы бөлікшелерде шөгінді жиналудың біршама тереңдікке дейін теңіз суында еріген оттек бар жағдайларда жүргені көрінеді. Ал судың тереңдеу бөлікшелерінде оттек жетімсіз болғандықтан органикалық қалдықтар көмір қышқылы мен біршама күкіртсутек жаралуы орын алған және солардың есебінен карбонаттар мен оларды сүйемелдеген күкіртті қосылыстар жаралған. Осының нәтижесінде рудалардың құрамы бойынша әр түрлі фациялары деп аталатындар (оксистік және карбонат) пайда болған. Осыдан көрінгендей, құрамы бойынша әр түрлі, аталғандарға ұқсас ара қатынастағы шөгінділер темір кенорындарында да орын алады. Оларда оксистік, силикат және карбонат рудалардың фациялары ежелден бері белгілі.

3. Органигендік немесе *биогендік* шөгінділер организмдер тіршілігінің күрделі процестері нәтижесінде жаралады. Оларға жататындар: теңіз жәндіктері қаңқа жаралымдарынан тұратын әктас, диатомит - негізінен диатомейлердің кремнийлі қаңқасынан тұрады, каустобиолиттер (грекше *каустос* - жанғыш) - негізінен өсімдік қалдықтарынан және жәндік организмдерінен тұрады (мысалы көмір, жанғыш тақтатас, мұнай, жанғыш газдар, қатты битумдер және басқалар).

Органогендік шөгінділер өлген жәндіктер (бақалшақтас) қаңқаларының немесе жоғары және төменгі өсімдіктер (шымтезек, сапропель) тінінің жинақталуы жолымен пайда бола алады. Олар сондай-ақ организмдер тіршілігінің өзінің нәтижесі болады, мысалы органикалық қалдықтарды немесе сульфаттарды ыдырататын анаэроб бактериялар. Осы процестерде ақыр соңында күкірт шоғырлары жаралады. Сонымен, бактериялар әрекеті өнімдерінен жалбыр сияқы жаралымдар пайда болуы мүмкін, бұл нәтиже лабораториялық жағдайда ферробактериялар үшін дәлелденген.

Ары қарай түрленгенде бұл шөгінділердің бірі бейорганикалық өнімдерге түрленсе (мысалы - әктас, фосфорит) ал басқалары - органикалық қосылыстар түрінде қалады (тас көмір, шымтезек және басқалар).

Аймақтық метаморфизм және онымен байланысты минералжаралу процестері

Эндогендік те, экзогендік те жаралымдардың өте күшті өзгерулері аймақтық метаморфизм деп атаатын процесте орын алады. Мұнда тектоникалық қозғалыстар салдарынан жер қыртысының тұтас алқаптары тереңдік жағдайларға түсуі мүмкін, яғни өте жоғары температура мен қысым немесе таужаралу процестері қуатты білінетін жағдайларға түседі.

Мұндай жағдайларда таужыныстар мен рудалардың минералдық құрамы, сондай-ақ олардың қасиеттері мен сыртқы кейпі өте қатты өзгереді. Химиялық құрамы метаморфизм кезінде метасоматозға қарағанда өзгеріссіз қалады, тек екі компонентті, яғни су мен көмір қышқылын қоспағанда. Экзогендік жағдайларда жаралатын суға бай қосылыстар сусыздарға немесе суы жұтандарға айналады (мысалы опал - кварцқа, лимонит - гематитке немесе магнетитке өтеді және т.б). Сонымен бірге заттың кристалдануы жүреді (мысалы, органогендік әктас бұрынғы құрылымдық ерекшеліктері жойылған мәрмәрге айналады). Көптеген таужыныстарда, солардың ішінде магмалықтарда да компоненттер толығымен қайта топталып жаңа минералдар жаралуына әкеледі. Мәселен гипс, сомтума күкірт, тас тұз және басқалар сияқты кейбір минералдар метаморфтық қатқабаттарда тіпті болмайды. Химиялық реакциялар жоғары қысым мен температура ықпалынан көлемі азайған және меншікті салмағы жоғарылаған минералдар жаралуы жағына қарай жүруге ұмтылады. Минералдар парагенезисі тек қана метаморфталатын таужыныстар құрамына емес, сондай-ақ айтарлықтай шамада метаморфизм жүретін тереңдікке де, яғни термодинамикалық жағдайларға байланысты болады.

Таужыныстардың өзі күшті динамикалық әрекеттер ықпалынан қалақтар мен тақташаларға жіктелуге қабілетті тақтатастарға айналады (сазды тақтатас, аспид тақтатас, слюдалы тақтатас, гнейс және басқалар). Егер метаморфизмге жұқа қабаттылықты шөгінді таужыныстар ұшыраса, ал олардың қабаттылық бағыты қысым бағытына сәйкес келсе, онда қабатшалар көптеген ұсақ қатпарларға мыжылады (*59-сурет*).



59-сурет. Бүрмелі бітімді темірлі кварцит (кварцтан, гематиттен және магнетиттен тұратын қабатшалар ұсақ қатпарларға мыжылған)

Минералдық заттың қайта топталуына H_2O , CO_2 сияқты компоненттер және басқа минералдауыштар даусыз рөл атқарады. Солардың көмегімен массалар қайта кристалданып қана қоймайды, сондай-ақ метасоматоз құбылысы және тіпті минералдық заттың қайта түзілуі орын алады. Бұл жағдайларда H_2O мен CO_2 көзіне магмалық таужыныстар немесе метаморфизмге ұшырайтын таужыныстардың өзі жатады. Кейбір таужыныстардан, әсіресе шөгінді таужыныстардан, олардың массалары сусыз минералдар агрегаттарына қайта кристалданған кезде судың орасан зор мөлшері мен біршама көмір қышқылы бөлініп шығуы тиіс. Жоғары қысым мен температура жағдайында осы метаморфтық су нағыз гидротермалардың, ал содан кейін интрузиялық магматизммен генетикалық байланысты флюидтердің барлық қасиеттерін қабылдауы тиіс, яғни минералдарды жарықшақтар бойында немесе метасоматоздық жолмен ерітуге, тасымалдауға және түзуге қабілетті болады.

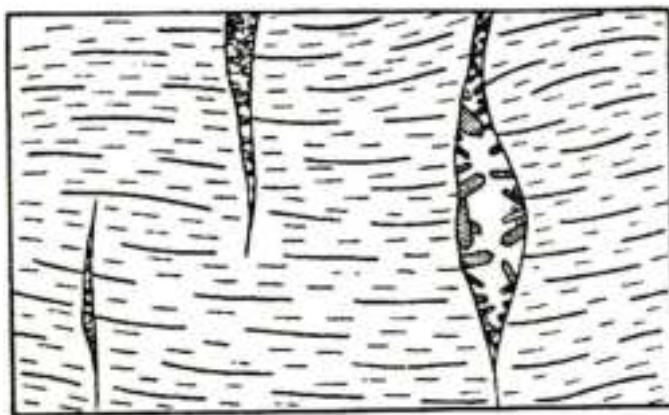
Метаморфталған қатқабаттарда кездесетін пайдалы қазба кенорындарының арасында генетикалық белгілері бойынша әр түрлі келесі бірнеше типтері бөлінеді: а) *метаморфталған*, яғни метаморфизм сәтіне дейін болған кенорындар (мысалы, темір мен марганецтің шөгінді кенорындары); б) *метаморфтық*, яғни тек метаморфизм процесінде пайда болған кенорындар.

Екінші типті кенорындар генезисінің мысалына графиттің метаморфтық қатқабаттарда органикалық қалдықтар есебінен жаралуы жатады.

Жасырын кристалды өсімдіктер таңбасы бар графиттің тас көмір қабаттарынан жаралу жағдайлары белгілі (Оралдың шығыс беткейіндегі метаморфтық қатқабаттар). Бұл жағдайда графит жаңажаралым ретінде

бастапқы қасиеттерінің түбегейлі өзгеруі және ұшпа заттарының жоғалуы салдарынан енді жанғыш қазба бола алмайды.

Кенорындардың осы типіне минералогиялық жағынан төтенше қызық *альпілік типті* желілер деп аталатындар жатады (бұл атау олар алғаш зерделенген жер бойынша берілген). Бұл желілер ежелден өзіне минералогтардың назарын аударған, өйткені оларда әр түрлі минералдардың әсемдігі бойынша керемет кристалл друзалары кездеседі. Олар метаморфтық қатқабаттарда таужыныстардың тақтатастылығына көлденең бағытта пайда болатын жарылымның қуыс жарықшақтарына орналасады (*60-сурет*). Бұл желілер құрамының айрықша ерекшелігіне оларда *қоршаған таужыныстардың* өзінде метаморфизм процесінде пайда болатын сол минералдардың өзі және дәл сондай сандық мөлшерде кристалданады. Тек таужыныстарда сиректеу болатын, құрамында Ti, P, Cl, B және басқалар бар акцессор минералдар жарықшақтарда қапталдас таужыныстағыларға карағанда біршама жоғары мөлшерде кездеседі. Альпілік типті желілер минералдық құрамының қапталдас таужыныстар құрамына сай келуі мынадай қорытындыға әкеледі – минералдық компоненттер қуыстарға тікелей метаморфталушы таужыныстардан қандай да бір магмалық ошақтармен байланыссыз флюидтер мен гидротермалардың қатысуымен әкелінген. Альпілік желілер минералдық құрамының ала-құлалығы олардың бітелуін температураның белгілі бір тар интервалын жатқызу қиын екендігін көрсетеді. Компоненттердің қапталдас таужыныстардан жарықшақтардың ашық саңылауына ену механизмі мынадай деп жорамалданады – таужынысжасаушы минералдардың кеуектік ерітінділерде жоғары ерігіштігіне, ал акцессорлардағы ұсақ түйірлер түрінде болатындар – негізінен қуыстар ерітінділеріндегі ерігіштігімен салыстырғанда жоғарылау екендігіне байланысты.



60-сурет. Альпілік типті желілер құрылысының сұлбасы

Метаморфтық таужыныстардағы майда жарықшақтар толық минерал затқа толады. Мысалы сұр әктастағы ақ кальцит желішіктері, қызыл яшмадағы сүттей ақ кварц және тағы сондайлар осындай. Мұндағы кристалл түйірлерінің өлшемі осындай желішіктерде қоршаған таужыныстағыға карағанда әрдәйім ірілеу болады.

СИПАТТАУ БӨЛІГІ

МИНЕРАЛДАРДЫҢ ЖІКТЕЛІМІ ЖӘНЕ АТАЛЫМЫ

Жіктелім принциптері. Соңғы бес-алты онжылдықта минералогия бойынша барлық негізгі жетекші құралдар минералдардың химиялық жіктелім сұлбасы бойынша құрылған. Осы жіктелімнің барлық нұсқалары (В.И. Вернадский, Дж. Дэна, П. Грот, А.К. Болдырев, Х. Штронц және басқалар) негізінде Д.И. Менделеев ашқан химиялық элементтердің периодтық заңы белгілі бір түрде жатыр.

Барлық минералдардың кластарға химиялық қосылыстарының типтері бойынша шағын өзгерістерімен ғана негізгі бөлінімі қазіргі минералдар жүйелігінде нық енгені осымен түсіндіріледі. Дегенмен, кластар ішіндегі минералдардың кристалл заттарының құрылысын зерделеу саласында, әсіресе соңғы 70-80 жылдағы аса ірі жетістіктерге байланысты класшалар мен топтарға бөлінімденуі айтарлықтай үлкен өзгерістерге ұшырады.

Кристалдарды Е.С. Федоровтың 230 кеңістіктік тобын шығарғанына негізделген рентгенқұрылымдық зерттеулері заттың химиялық құрамы және кристалдық құрылысы арасындағы өзара байланысты дәлелдеп, ол көптеген күрделі қосылыстардың химиялық формуласын нақтылауға мүмкіндік берді. Осы жолмен шпинель тобының минералдары, титанаттар мен ниоботанталаттардың көпшілігі бұрын дербес кластар түрінде бөлініп келсе, енді олардың күрделі окиселдер болып табылатыны дәл анықталып отыр. Біздің силикаттардың химиялық табиғаты туралы түсінігіміз түбірімен өзгеріп, олардың кристалдық құрылымдарында формасы мен құрылысы бойынша сан қилы комплексті аниондар анықталған.

Біз үшін осы жетістіктердің аталғандардан кем түспейтін салдарына кристалдық құрылым ерешеліктерінің тек қана кристалдардың сыртқы пішініне емес, сондай-ақ оптикалық, электрлік, механикалық (қаттылығы, жіктілігі, серпімділігі) және басқалар сияқты қасиеттеріне де функциялық байланысты болатыны жатады. Сонымен, минералдардың осы қасиеттерінің барлығы құрылымдық бірліктердің (иондар, атомдар немесе молекулалар), олардың өлшемдерінің белгілі бір қатынастары кезінде кеңістікте орналасуымен де, және олардың иондарының немесе атомдарының Менделеевтің химиялық элементтер кестесінде орналасуымен анықталатын қасиеттері аралығындағы байланысы табиғатымен де, яғни олардың құрылысымен де байланысты болып шығады.

Ол аздай, химиялық элементтердің минералжаралу кезіндегі бірлесу заңдылықтары минералдардың генезисі туралы тереңдеу ұғымдарға әкеледі. Ерітінділерден немесе балқымалардан жүйе тепе-теңдігінің физикалық-химиялық факторларына (температурасына, қысымына және химиялық компоненттердің концентрациясына) байланысты шөгетін кристалдар

жаралған кезде белгілі бір иондардың «сұрыпталуы» және бірлесуі неге және қандай тәртіппен жүретіні түсінікті болады. Осыдан кейін магмалық әрекеттің тізбектеле пайда болатын әр түрлі өнімдерінде (таужыныстарда, пегматиттерде, гидротермалық жаралымдарда) немесе мору қыртысы және су алаптарында химиялық тұнбалар жаралуына және т.б. әкелетін экзогендік процестер өнімдерінде неге табиғатта химиялық элементтердің және химиялық қосылыстар типтерінің бағытталған таралуы жүретінін шамалау қиын емес.

Минералогия ХХ ғасыр ағымында өзінің дамуында үлкен жолдан өтті. Ол біртіндеп таза сипаттамалық ғылымнан фактілер аралығындағы байланысты анықтауға және түсініктеме беруге қабілетті аналитикалық ғылымға айналды. Табиғаттанудың ең маңызды құралдарының біріне және табиғат құрылысындағы заңдылықтарды түсінуге *жүйелеу* жатады. Минералдар әлемі табиғаттың бөлігі болып табылатындықтан, жүйелеудің мәселесіне ғылым нысандарын табиғи байланыстары мен айырмашылықтарын ескере отырып кластарға және басқа таксондарға (бөлімдемелерге) жіктеу кіреді. Минералдар қасиеттерін салыстыруға негізделген ескірген жіктелімдерді алмастыратын жаңалар пайда болды. Жаңа жіктелімдер минералдардың химиялық құрамын ескереді, ал соңғы кезде көбінесе минерал конституциясының ерекшеліктері тұтастай назарға алынуда. Минералдар қасиеттерін химиялық құрамымен байланыстырмай және кристалдық құрылымын ажыратпай түсіну көптен бері мүмкін еместігі белгілі. Керісінше, В.С. Соболев көрсеткендей, біз әлі минералдың кристалдық құрылымын білмеген жағдайларда, оны физикалық және химиялық қасиеттері бойынша жалпы қасиеттері бірдей қосылыстардың қандай құрылымдық типіне жататыны туралы пікір айта аламыз.

Сонымен, минералдар жіктелімі кристалхимиялық болуы керек және табиғи химиялық қосылыстар қасиеттерінің барлығы олардың химиялық құрамы мен кристалдық құрылымының өзара байланысын зерделеу деректеріне негізделуі тиіс.

Минералдың осы оқулықта қабылданған жіктелімін әзірлегенде келесі негізгі ережелер ескерілген.

Минералогияның нысанын құрайтын барлық табиғи жаралымдарды химиядағы барлық жасанды заттар сияқты ең алдымен екі үлкен дербес топқа бөлу қажет:

1) *бейорганикалық минералдар* – оларға сирек кездесетін сомтума элементтерден басқа барлық элементтердің табиғи қосылыстары (органикалықтарды санамағанда) жатады;

2) *органикалық минералдар* – көміртектің сан қилы қосылыстарынан тұрады (оларға бейорганикалық қосылыстарға жататын карбонаттар мен карбидтер ғана кірмейді).

Органикалық қосылыстар бейорганикалықтардан химиялық қасиеттері бойынша ғана емес, сондай-ақ кристалдық құрылысы бойынша да және құрылымдық бірліктер аралығындағы байланыстардың табиғатымен де аса елеулі айрықшаланады. Минералдардың бұл топтарының зерделенгендік

дәрежесі тіпті де бірдей емес. Біздің біліміміз бейорганикалық минералдар бойынша қазіргі кезде алға қарай алысқа жылжып кеткен болса, ал органикалық қосылыстардың минералогиясы әлі дамудың ең басты сатысында қалуда.

Егер осыдан 70 жылдай бұрын шымтезек, қоңыр және тас көмір, шайыр мен мұнай сияқты табиғи заттар әлі дербес минералдар ретінде қарастырылып келген болса, ал қазір зерттеулер нәтижесінде, атап айтқанда қатты органикалық заттарды ең жаңа әдістемелерді қолданып зерттеу жүргізгенде дәл анық болғаны, олар құрамы бойынша тіпті де біркелкі массалар болып табылмайды. Бұл массалар әр түрлі органикалық заттар мен минералдардан тұрады екен және олардың шынайы табиғаты соңғы кезде ғана зерделене бастады.

Бейорганикалық минералдар жіктелімі мынадай принциптер негізінде тұрғызылған. Минералдар табиғи химиялық реакциялардың кристалл өнімдері болып табылатындықтан, біздің мақсат үшін оларды химиялық құрамы және кристалдық құрылысы бойынша жүйелену ең ұтымды болуы тиіс. Біздің минералдарды және олардың жаралу жағдайларын танымдайтын ең маңызды химиялық және физикалық қасиеттері олардың дәл осы белгілерімен байланысты.

Бейорганикалық табиғатты барлық минералдарды химиялық көзқарастан ең алдымен бір-бірінен химиялық қосылыстарының типі мен құрылымдық бірліктері аралығындағы химиялық байланыстарының типі бойынша айрықшаланатын үлкен топтарға жіктейді. Бастапқыда қосылыстарды ең үлкен тарауларға бөлуді *аниондары* бойынша жүргізген дұрыс, өйткені олардың саны катиондарымен салыстырғанда біршама шағын.

Мұнда *сомтума элементтер (қарапайым заттар)* айрықша орын алып, олар негізінен атомдары аралығындағы металдық байланыспен сипатталатын металдардан тұрады. Оларға қорытпалардың табиғи баламалары болып табылатын интерметалдар қосылыстары да кіруі тиіс.

Дербес бөлімді *күкіртті* және соларға ұқсас қосылыстар құрайды, олар бірқатар қасиеттері бойынша нағыз металдар мен иондық байланысты қосылыстар аралығында аралық орын алады. Мұнда сульфидтердің көпшілігінде химиялық байланыстың ковалентті құрамдасы да айтарлықтай рөл атқарады. Сондай-ақ бұл бөлімге шартты түрде *сульфотұздар* деп аталатындарды да қосамыз. өйткені оттекті тұздар окиселдерге қандай қатысты болса, сульфотұздар да сульфидтерге сондай қатысты.

Галогенидтер немесе *галоидтық тұздар*, яғни металдардың фтормен, хлормен, броммен және йодпен қосылыстары химиялық қосылыстардың өзіндік типі болып табылады, бірақ олардың байланысты нағыз иондық болады.

Келесі бөлімге *окиселдер мен гидроокиселдер* (металдардың оттеппен немесе гидроокиселмен қарапайым және күрделі қосылыстары) жатқызылуы тиіс.

Ең соңында, минералдардың төтенше көп санды тобын *оттек қышқылдарының тұздары* құрайды. Олар металдар катиондарының

құрамында оттегі бар әр түрлі комплексті аниондар қосылыстары болып табылады.

Көрсетілген бөлімдердің бірқатарында минералдарды *аниондарының типтері бойынша* ары қарай кластар мен класшаларға бөлімдеу жүргізу қажет. Ал олардың ішінде кристалдық құрылымдары мен химиялық ерекшелік белгілері бойынша белгілі бір ретпен минералдар топтары бөлінеді. Бұл белгілері олардың құрамына кіретін минералдардың негізінен катиондарына байланысты.

Сонымен, бейорганикалық минералдардың жалпы жіктелімі сұлбада мынадай түрде көрсетілуі тиіс (топтарға бөлуді қоспағанда).

I бөлім. Сомтума элементтер және интерметалдар қосылыстары.

II бөлім. Карбидтер, нитраттар және фосфидтер (бұл қосылыстар берілген курста қарастырылмайды).

III бөлім. Сульфидтер, сульфотұздар және оларға ұқсас қосылыстар.

1-ші класс. Қарапайым және қос күкіртті және оларға ұқсас қосылыстар (селенидтер, теллуридтер, арсенидтер және басқалар).

2-ші класс. Сульфотұздар.

IV бөлім. Галоидтар қосылыстары (галогенидтер) және галогентұздар.

1-ші класс. Фторидтер мен алюмофторидтер.

2-ші класс. Хлоридтер, бромидтер және иодидтер.

V бөлім. Окиселдер (оксидтер).

1-ші класс. Қарапайым және күрделі окиселдер.

2-ші класс. Гидроокиселдер (гидроксидтер).

VI бөлім. Оттегі тұздары.

1-ші класс. Иодаттар (бұл қосылыстар осы курста қарастырылмайды).

2-ші класс. Нитраттар.

3-ші класс. Карбонаттар.

4-ші класс. Сульфаттар мен селенаттар.

5-ші класс. Хроматтар.

6-шы класс. Молибдаттар мен вольфраматтар.

7-ші класс. Фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар.

8-ші класс. Арсенаттар, селениттер және теллуридтер (бұл қосылыстар осы курста қарастырылмайды).

9-шы класс. Бораттар.

10-шы класс. Силикаттар мен алюмосиликаттар (бериллсиликаттар, борсиликаттар).

А. SiO_4 анионы тетраэдрлер окшаланған силикаттар

Б. SiO_4 тетраэдрлерінің топтары окшаулан силикаттар

В. SiO_4 тетраэдрлері үзіліссіз тізбекті және таспалы силикаттар

Г. SiO_4 тетраэдрлері үзіліссіз қабатты силикаттар

Д. SiO_4 және AlO_4 тетраэдрлері үзіліссіз үш өлшемді қаңқалы силикаттар.

Минералдары сипаттаған кезде, олардың ең басты қасиеттерінің құрамына және кристалдық құрылымына байланысты екендігінің

сипаттамасын көп дүркін қайталану орын алмас үшін әр бөлімінің, кластың, класшаның және топтың кіріспесінде келтіреміз. Өйткені минералдардағы бұл байланыстардың ортақтығы, олардың топтамаларын біріктіруге негіз болып табылады. Жекелеген минералдарды сипаттаған кезде тек олардың құрылысы мен құрамының айрықша ерекшеліктеріне байланысты қасиеттерінің қосымша сипаттамасын ғана қосамыз.

Минералдық түрлер және түрлестер. Табиғи химиялық қосылыстарды жүйелеген кезде, негізгі жіктелімдік бірлікке *минералдық түр* жатады. Ол белгілі интервалда өзгертін химиялық құрамға және бір типті кристалдық құрылымға ие. Минералогиялық жүйелеуде түрлерді бөлу мен атаудың ережелері *минералдар аталымы* деп аталатынды құрайды. Нақты минералдар химиялық құрамының тұрақсыздығын ескерсек, минералдық түр деген қажет абстракция болып табылатыны түсінікті болып шығады. Ол минералдардың кез-келген нақты дарактарын белгілі бір жіктелімдік бірлікке жатқызуға мүмкіндік береді.

Полиморфизм құбылысы құрамы бірдей, ал кристалдық құрылымдары айтарлықтай әр түрлі минералдардың болуына әкеледі. Осы көзқарастан қандай да бір кристалл заттың полиморфтық модификациялары дербес минералдық түр болып табылады (графит және алмас, α -күкірт және β -күкірт және басқалар).

Екі изокұрылымды зат бір-бірімен қатты ерітінділердің үзіліссіз қатарын жасаған кездегі жағдайларда (мысалы, Au-Ag , $\text{MnWO}_4 - \text{FeWO}_4$, $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] - \text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ және басқалар) физикалық-химиялық көзқарастан бір фазаны көреміз. Бірақ минералогия практикасында көптеген жағдайларда тек қана шеткілердің емес, сондай-ақ изоморфты қатардың құрамы бойынша аралық мүшелеріне де бірнеше ат беру қабылданған (мысалы: алтын-электрум-күміс; гюбнерит-вольфрамит-ферберит; альбит-олигоклаз-андезин-лабрадор-битовнит-анортит).

Қазіргі кезде минералдық түрлер изоморфты жүйелерде алмасу жүретін позициялардың әр типінде басымдыққа ие компонент (элемент) бойынша бөлінеді. Жалпы алғанда минералдық түрге нағыз изоморфты құрамды қатарлар (сериялар) мен алаңдарда таза шеткі мүшенің химиялық формуласы, ал аралық құрамды дарактар белгілі бір минералдық түрге құрамындағы басым изоморфты элемент бойынша жатқызылады. Қалыптасқан дәстүр бойынша аралық құрамдардың қолданылатын атаулары түрлер деп есептелмейді. Бірақ оларды қатарға тұтастай қолдануға болады, сондықтан олар минералдар тобының атауы статусын қабылдайды. Мәселен, форстерит $\text{Mg}[\text{SiO}_4]$ – фаялит $\text{Fe}[\text{SiO}_4]$ қатарындағы құрамында Mg мөлшері Fe шамасынан артық минерал дарактарының барлығы – форстеритке, басқалары – фаялитке жатқызылады. Сонымен бірге осы қатардың кез-келген өкіліне топтың өкілі ретінде жалпы «оливин» атауы қолданылады, бірақ «оливин» минералдық түрдің аты болып табылмайды.

Осылайша, екі компонентті жүйелерде минералдық түрлер аралығындағы шекаралар анықталған кезде 50 % ережесі қолданылады, ал үш компоненті жүйе жзағдайында – 33,3 % және т.с. изоморфизмі жетілмеген

жүйелер жағдайында түрлердің шекарасы араласқаштықтың үзілу шетімен анықталады. Одан басқа проценттік шекаралар да ескеріледі, олар белгілі бір изоморфтық компонент құрылымның осы позициясындағы басқалардан басым болатындығымен анықталады. Осындай бөлу таза компоненттер әр түрлі құрылымдық типтерге жататын кезде және қатты ерітінділер қатарында құрылымды секіріспен өзгертетін құрам болатын изодиоморфизмді сериялар үшін жүргізіледі. Осы құрам сондай-ақ әр түрлі минералдық түрлердің шекарасы болады.

Түрлестерге құрамы мен кристалдық құрылысы бойынша бірдей немесе бірдей деуге болатын (яғни минералдық түрге жататын) минералдар жатады, олар бір-бірінен мынадай белгілері бойынша тек біршама ғана ажыратылады:

1) химиялық құрамының ерекшеліктері бойынша – берілген минералдың құрамын сипаттайтын химиялық компоненттердің қандай да бірі басқа компонентпен біршама изоморфты алмасқан кезде (мысалы, кобальтты пирит $(\text{Fe}, \text{Co})\text{S}_2$, пириттің түрлесі, оны химиялық реакциялар көмегімен ажырата алмайды);

2) құрылымы бойынша – минералдың политипі модификациясына байланысты (политиптердің полиморфтардан айырмашылығы – кейбір сирек жағдайларды ескермегенде сол бір фазаға жатады), мысалы екі қабатты гексагондық MoS_2 – молибденит *2H* және үш қабатты ромбоэдрлік модификация MoS_2 – молибденит *3R*;

3) физикалық белгілері бойынша – құрамы мен құрылымы іс жүзінде дәл бірдей, бірақ кейбір физикалық қасиеттері басқашалау болған кезде (мысалы, диаллаг кәдімгі диопсидтен өзіне тән дербестіктері бойынша ажыратылады; немесе пиролюзиттің (MnO_2) күйе сияқты түрлесі кристалды дарақтарынан (полианит) тек дисперсиялылық дәрежесі, күңгірт жылтырлығы және жалған төмен қаттылығы бойынша ғана ажыратылады);

4) құрамы және физикалық қасиеттері бойынша бір мезгілде (мысалы, сфалериттің аса темірлі түрлесі $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$ негізгі аз темірлі әдетте ашық түсті түрлесінен әлдеқайда күңгірт, тіпті қара бояуымен және басқа кейбір белгілерімен ажыратылады);

5) морфологиясы бойынша – бөліну пішініндегі айырмашылығына байланысты (мысалы, немалит – бруситтің параллель-талшықты түрлесі, брусит әдетте парақталған немесе қысқа бағаналы; арканзит – бруциттің изометрлі кейіпті дипирамидалық кристалдары, бруциттің кәдімгі кристалдары ұзыншақ қалақтар).

Белгілі бір химиялық құрамды әр минералдық түр арнайы атауға ие. Полиморфты модификациялар көпшілігінде өздерінің атауларына немесе жалпы бір атауға ие болады, бірақ олардың алдына α -, β -, γ -, ... грек әріптері қосымшаланады. Минералдардың түрлестеріне келсек, бұрынғы кезде оларға айрықша атаулар кеңінен берілетін, тіпті олардың химиялық құрамындағы айырмашылық елеулі болмаған жағдайларда да. Қазіргі кезде осы атаулардың көпшілігі өздерінің болуынан ажырады. Тек асыл тастардың

атаулары ғана сақталған (зүмрат, жақұт, көк жақұт, аметист, цитрин, морион және басқалар).

Минералдардың химиялық құрамы бойынша түрлестерін әдетте өз аттарымен атап, осы түрлес құрамының қандай да бір ерекшелігін сипаттайтын анықтауышпен қосып береді (мысалы, магнийлі магнетит, стронцийлі арагонит және т.б.). Түрлестерді құрамы бойынша атауға қосымшаны пайдалану (мысалы – титановит, манганкальцит) қазіргі кезде қолдау таппайды, өйткені мұндай қосымша заң бойынша белгілі бір минералдық түрлерді атау үшін пайдаланылады, мысалы – ферроаксинит, манганколумбит және басқалар. Құрамы бойынша түрлестер үшін атауды жазудың мынадай формасы жалпыға ортақ қабылданған: Mn-кальцит марганецті кальцит, Ti-андрадит – титанды андрадит, Cr-диопсид – хромды диопсид (бірақ хромдиопсид емес). Мұнда назарды мынаған аудару қажет – сирекжер элементтер изоморфизмі бар минералдар үшін минералдық түрлер атауларын жазудың айрықша формасы бар: монацит-(La) – лантан-доминантты монацит, монацит-(Nd) – неодим-доминантты монацит, паризит-(Y) – иттрий-доминантты паризит (немесе иттрийлі паризит, бірақ иттрийі бар паризит емес) және т.б.

Мұндай практика жақында құрамында элементтер көп цеолиттер тобындағы минералдарға қатысты да бекітілген, мұнда 40-қа жуық әр түрлі құрылымдық типтер пайдаланылады. Әр түрлі минералдық түрлерді – изокұрылымды цеолиттер изоморфты қатарларының шеткі мүшелерін – атау үшін сондай-ақ жұрнақтар қолданылады, бірақ жақшаларсыз: шабазит-Ca – $\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, шабазит-Na - $(\text{Na}, \text{Ca}_2)[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ және т.б.

Минералдық түрлер атауының санының өзі жаңа минералдар ашылуына байланысты жыл сайын ондап артып тұрады, қазір олар 4000-нан асады. Сондықтан геологиялық әдебиеттерді артық терминдермен тоғыта бермеу және шатаспау үшін көптеген синонимдерді қолданудан мүмкіндігінше бас тарту керек. Ал түрлестерінің атауын түрге қосымша ретінде ғана келтіріп, ол міндетті түрде қолданылуы тиіс.

бағынышты орын алады. Au мен Ag үшін изоморфизм одан да күрт білінген, ал Cu қатты ерітінді түрінде оларда өте сирек кездеседі.

Сомтума күйде кездесіп, кестенің оң жағындағы субпериодтарында орналасқан элементтердің қалғандарының ішінде шаламеталдар деп аталатындар: As, Sb және Bi басқалардан жиілеу таралған. Осы элементтердің кейбір химиялық қасиеттерінің ортақтығына қарамай, олар табиғатта әр түрлі жағдайларда байқалады. Тек кейде күшәла мен сүрме ғана AsSb (*аллемонтит*) интерметалл қосылысын береді.

Көміртекке кристалдық құрылысы бойынша екі әр түрлі модификация түрінде кездесетіні тән. Сомтума күкірт өзінің негізгі массасында H₂S қосылысының жартылай тотығу жолымен, кейде SO₂ тотықсызданған кезде, сондай-ақ күкіртке бай кейбір күкіртқышқыл және органикалық қосылыстар тотықсызданғанда пайда болады.

Дербес сомтума элементтер 30-дан сәл асатын минералдық түрлерді құрайды. Кейбір элементтердің екі немесе одан да көп *полиморфты* модификацияларда анықталатыны белгілі (алмас, графит, α-күкірт, β-күкірт және басқалар). Көптеген элементтер таза күйде кездесетіндерінен басқа бір-бірімен *қатты ерітінділер* жасайды, мысалы: электрум (Au,Ag), палладийлі платина (Pt,Pd) – олар тиісінше алтын мен платинаның түрлестері ретінде қарастырылады.

Қасиеттері бойынша *интерметалл* қосылыстарына төтенше жақындар да көп таралған. Олар стехиометрлік формулаға ие болады және кристалдық құрылымының өзіндік ерекшеліктерімен сипатталады (мысалы, *мальдонит* Au₂Bi, *нигглит* PtSn, *аурикуприд* Cu₃Au, *кабриит* Pd₂CuSn, *потарит* PdHg және басқалар). Интерметаллидтер арасында стехиометрлік қосылыстардан басқа өзгермелі құрамды қосылыстар да кездеседі, мысалы *тетраферроплатина* (Pt,Fe)Fe, *полярит* Pd(Pb,Bi), *хатырмит* (Cu,Zn)Al₂ және басқалар.

Осы бөлімге жататын минералдық түрлердің жалпы саны 100-ден асады (негізінен интерметаллидтердің есебінен), яғни оларға кіретін элементтер санынан әлдеқайда көп. Жасанды жолмен алынатын интерметалл қосылыстарының саны зор цифрға жетеді.

Минералдардың кристалдық құрылымы және физикалық қасиеттері. Қатты күйде кездесетін сомтума элементтер әр түрлі кристалдық құрылымдарға ие болады. Атомдары аралығындағы байланыстар күшінің типі бойынша басым мәнге ең тығыз жайласуға металдық байланыстағы атомдық құрылымдар, кейде гетероплюстіге және вандерваальстікке өтпелі белгілері бар байланыстар ие болады.

Сомтума *металдар* барлық табиғи заттар арасында ең жақсы электроөткізгіштік пен жылуөткізгіштік қасиеттерге ие. Олардың барлығы жылтырланған түрде күшті металша жылтырлығымен, яғни жоғары шағылыстырғыштық қабілетімен сипатталады. Сыну көрсеткіштері (олармен жылтырлығы байланысты) ең жоғары мәнге ие. Тек алтын, күміс және мыс үшін бұл көрсеткіштер 1-ден аз, дегенмен ол да сондай-ақ жоғары

шағылыстырғыштық қабілетін туындатады (26-суретте). Дәл солай жарықты жұту қабілеті де айрықша жоғары.

Осы сипаттамалардың көпшілігі металдардың электрондық құрылымымен тікелей байланысты болады. Металдарда электрондық күйлерінің энергетикалық деңгейлері дискреттіліктен айырылған және кең тұтас полюстер – энергетикалық зоналар жасайды.

Валенттік электрондар мен өткізгіштік электрондар зоналары металдық байланыстары басым қосылыстарда бір-бірін жауып қалады, бұл валенттік электрондарға зарядтың жылжымалы тасымалдаушысы болуын қамтамасыз етеді. Ары қарай зоналардың үлкен ені электрондарға энергиялардың кең диапазонында өтулер жасауына мүмкіндік береді. Осындай өтулердің мүмкіндігі толқындарының ұзындығы әр түрлі электромагниттік сәулелену кванттарының жұтылуын қамтамасыз етеді – іс жүзінде көрінетін барлық спектрдің, ол металдардың толық беймөлдірлігіне әкеледі.

Сомтума металдардың басым көпшілігінің түсі күміс немесе қалайы ақ болады. Көзге түсетін өзгешелерге алтын мен мыстың түсі жатады. Бұл элементтерде элементтер кестесіндегі жағдайларына қарағанда жоғарылау валенттілік байқалады ($\text{Cu}^{2+}\text{Cl}^{1-}_2$, $\text{Au}^{3+}\text{Cl}^{1-}_3$). Жарықты таңдамалап шағылыстыру бұл металдардың зоналық құрылымы ерекшеліктерімен байланысты болуы мүмкін.

Барлық белгілі минералдар ішінде сомтума металдар ең жоғары меншікті самаққа ие (әсіресе платина тобындағы элементтердің минералдары). Құрылымы координациялық 12 санымен және байланыстарының бағытталған күштері болмауымен сипатталатын металдар жоғары майырылғыштыққа ие болады, омырылымында анық көрінетін жіктілігі болмайды және қаттылығы әдетте төмен болады. Қаттылығы жағынан иридий және құрамында осы элемент елеулі мөлшерде болатын минералдар ғана өзгеше.

Металдардың майырылғыштығы мен пластикалылығы негізінен ең тығыз жайласқан қабаттардың орналасуына, тік бағыттардың санына байланысты. Кубтық ең тығыз жайласуға ие болатын орталарда біз мұндай бағыттардың төртеуін көреміз, ал гексагондық құрылымды алсақ – біреу ғана. Сондықтан кубтық жайласымды құрылымды металдар гексагондық құрылымды металдармен салыстырғанда үлкен пластикалылыққа ие болады.

Атомдар көлемінің лантаноидтық сығылуымен сипатталатын асыл металдар химиялық жағынан орнықтылау. Осының салдарынан алтын және платина тобының минералдары өзен аңғарлары шашылымдарында кең таралған.

Шаламеталдар тобының (күшәла, сүрме және висмут) физикалық қасиеттері нағыз металдардың қасиеттерінен біршама айрықшаланады. Олар ковалентті байланыстар қатысуы үлесінің елеулілігімен және ромбоэдрлік симметрияға дейін біршама өзгерген қарапайым жайласқан кубтық құрылымдарымен сипатталады. Металдардан айырмашылығы, бұл заттардың өткізгіштігі температура артқан сайын жоғарылайды. Кристалдың құрылымында кубтық прототиптен (жасанды $\alpha\text{-P}_0$) ең аз өзгеру висмутта

байқалады – ол бұл топта ең үлкен жылтырлыққа, ең төмен морттыққа, ең аз қаттылыққа және басқаларға ие. Барлық осы үш минералдар үшін кристалдарының морфологиялық ерекшеліктері және жіктілік бағыттары ортақ болады, бұл олардың кристалдық құрылысы ерекшеліктерімен мейлінше сәйкестенеді.

Қалыпты жағдайларда қатты *бейметалдар* кристалдық құрылымдары және солармен байланысты қасиеттері бойынша нағыз металдарға тіпті де ұқсамайды. Олардың сипаттамасына минералдарды хаттаған кезде толық тоқталамыз.

1. Алтын тобы

Бұл топқа нағыз сомтума металдар кіреді: мыс, күміс, алтын және олардың химиялық құрамы бойынша түрлестері.

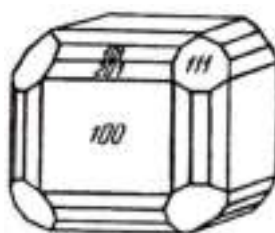
Көрсетілген элементтер ішінде алтын табиғатта негізінен сомтума түрде байқалады, кейде теллуридтер түрінде кездеседі. Күміс көбінесе күкіртті және галоидтық қосылыстар түрінде де кездеседі. Мыс сомтума түрде оның күкіртті, оттекті және басқа қосылыстарына қарағанда біршама сирек таралған.

Бұл металдардың барлығы кубтық сингонияда кристалданып, бір типті тығыз жайласқан кристалдық құрылымдар жасайды. Алтын мен күміс элементар ұяшықтарының өлшемдері бірдейге жуық болғандықтан, қатты ерітінділер жасайды. Ал, мыс ұяшықтарының өлшемдері кіші болғандықтан тек жоғары температурада ғана алтынмен қатты ерітінділер жасап, олар салқындаған кезде ыдырап кетеді. «Күміс-мыс» жүйесі үшін бір-бірінде ерігіштігінің өте тар шектері байқалады.

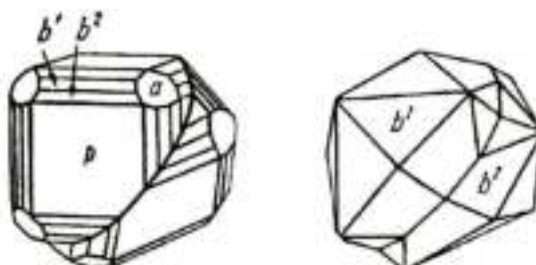
МЫС – Cu. Химиялық құрамы. Әдетте химиялық таза болады. Қоспалар ретінде кейде Fe (2,5 % шамасына дейін), Ag (көбінесе сомтума күміс қоспалары түрінде), Au қатты ерітінді түрінде 2-3 % шамасына дейін (алтынды мыс) сирек кездеседі.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4L^3_6L^2_9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=3,6077$. **Кристалдық құрылымы** – қарапайым және жақцентрленген кубтан тұрады: Cu атомдары кубтың төбелерінде және элементар ұяшықтың әр жағының центрінде орналасады, ол кубтық өте тығыз жайласуға сай келеді.

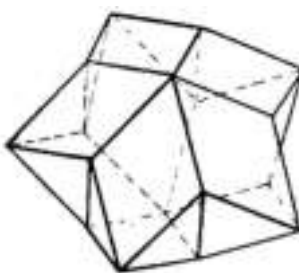
Кристалдарының келбеті. Дұрыс жаралған кристалдары сирек (*62-сурет*). Басты формалары: $\{100\}$, $\{111\}$, $\{101\}$. Кірігу қосақтары (111) бойынша (*63-сурет*) және еселік қосақтары (*64-сурет*), кейде кристалды дендриттер түрінде (*65-сурет*) кездеседі. **Агрегаттары.** Көбінесе бұрыс қалақшалы дендриттері немесе кейде экзогендік процестерде таужыныстар жарықшақтарында жаралған тұтас қалақшалары байқалады. Кенорындардың жоғарғы бөліктерінде (тотығу белдемдерінде) тіпті салмағы бірнеше тонна болатын тұтас массалары да кездескен.



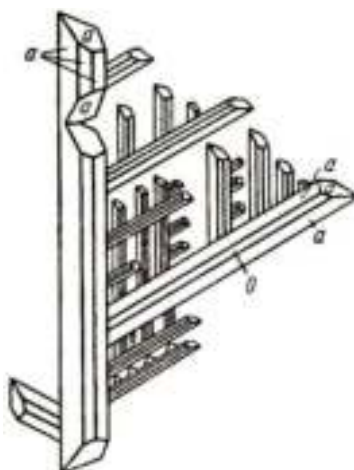
62-сурет. Сомтума мыс кристалы. Екатеринбургтың төңірегi (Орал)



63-сурет. Сомтума мыс кристалдарының қосақтары (111) бойынша:
 $p\{100\}$, $a\{111\}$, $b^1\{101\}$, $b^2\{201\}$



64-сурет. Октаэдр кристалдарының еселiк қосағы (бестiк) (111) бойынша



65-сурет. Бiрқатар созылыңқы қосақтардан тұратын сомтума мыстың кристалл дендритi.
 Тура кенiшi (Орал)

Түсi мыс-қызыл, жаңа омырылымда – қызғылт, көбiнесе құлпырымды. **Сызығы** қызғылт, металша жылтырақ. **Жылтырлығы** нағыз металша.

Қаттылығы 2,5-3. Майырылғыштыққа ие. Омырылымы иiлген. **Жiктiлiгi** жоқ. **Меншiктi салмағы** 8,5–8,9. **Басқа қасиеттерi.** Электрді өте жақсы өткiзедi. Электрөткiзгiштiгi 99,95 (күмiсте 100).

Диагноздаушы белгілері. Түсі малахиттің жасылтым жұғындысы немесе куприттің қызыл үлбірі, майырылғыштығы және меншікті салмағы бойынша жеңіл танылады. Балқу температурасы 1080°C . Сұйытылған HNO_3 қышқылында оңай ериді. HCl қышқылында мыс хлоридін жасап қиын ериді. Аммиактағы су ерітіндісі өзіндік көк түске ие болады.

Жаралуы және кенорындары. Сомтума мыс тотықсыздану жағдайларында әр түрлі геологиялық процестер кезінде жаралады.

Дербес мәнге ие болатын типтік *гидротермалық* кенорындары өте сирек, олар негізді таужыныстарға таянады. Оның мысалына құрамында көбінесе күміс болатын (*мохавкит*) *Жоғарғы Көл* ауданындағы (Мичиган штаты, АҚШ) сомтума мыстың ірі кенорны жатады. Мұнда мыс сеппелері габбодолеритте цеолиттермен, пренитпен, датолитпен және басқа минералдармен ассоциацияланады. Осындай генезисті ірі сомтумалары Россияда *Пропация Губа* (Жаңа Жер аралы) мүйісіндегі диабазда және *Таймет* кенорнында (Кемеров облысы) байқалған.

Мыс микроскоптық бөлінімдер түрінде көбінесе гидротермалық өзгерген негізді магмалық таужыныстарда байқалады, мұнда ол құрамында мыс бар сульфидтердің ыдырауы нәтижесінде жаралғандығы көрінеді.

Мыстың мысты сульфид кенорындары тотығу белдемінің төменгі бөліктерінде кездесуі кәдімгі жағдай. Мұнда ол купритпен (Cu_2O), малахитпен, кейде халькозинмен (Cu_2S) және құрамында мыс бар басқа минералдармен ассоциацияланады. Орталық Қазақстандағы *Жезқазған* кенорны мысты құмтастардың жоғарғы горизонттарында сомтума мыстың мол табылымдары болған. Санкт-Петербург кен институтының және Россия мемлекеттік геологиялық барлау университетінің мұражайларында кезінде *Дегелең тауларындағы* (Шығыс Қазақстан) көне кеніштерден әкелінген сомтума мыстың тақта тәрізді үлкен кесектерінің үлгілері сақталған, олардың жекелеген кесектерінің салмағы бірнеше тонна болған.

Сомтума мыс кенорындары *шөгінді* таужыныстарда белгілі, негізінен құмтастарда құм түйірлері аралығындағы цемент түрінде немесе бұрыс пішінді тасшемендер түрінде, кейде купритпен, малахитпен, азуритпен және басқа минералдармен ассоциацияланып кездеседі, бастапқы мыс кенорындарымен байланысы көрінбейді. Бұл типті кенорындардың жаралу жағдайлары әлі жеткіліксіз зерделенген. *Наукат* кенорны (Ферғана аңғары, Тәжікстан) құмтастарындағы бұрыс пішінді тасшемендер түріндегі сомтума мыс шоғырлары даусыз қызығушылыққа ие.

Белгілі *Тура* кенорындары (Солтүстік Орал) жоғарғы горизонттарының тамаша кристалды қосақтанған кірінділері мен дендриттерін Г. Розе 1837 жылы хаттаған.

Соңында, цемент мыс деп аталатындар туралы да ескерте кету керек. Ол кен үңгімелерінде құрамында мыс сульфатының ерітінділері бар кен суының астына батқан темір заттарда (бекітпелер, болттар, рельстер және т.б.) бөлінеді. Металл темірдің ерітінділерден мысты тұндыру қасиеті бұл металды өнеркәсіптік масштабта алу мақсатында пайдаланылады (темір

үгінділері көмегімен құрамында мыс бар кеніш суы төгілетін арнайы бетондалған сушаларда).

Сомтума мыстың оттекті жағдайдағы өзін ұстауы оның бетінде мыс тотықтарының жаралуымен, ал су-ауа ортада – қабыршақ түрінде мыстың негізгі карбонаттары (малахит пен азурит) түзілуімен сипатталады.

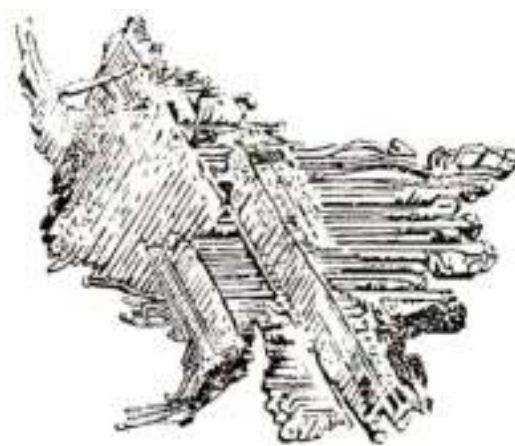
Сомтума мыс псевдоморфозалары куприт, халькозин, кейде органикалық қалдықтар бойынша (көбінесе ағаш сынықтары бойынша) белгілі.

Практикалық мәні. Мыстың металл ретінде қолданылуы жалпыға белгілі (электротехникада, машина жасауда, әр түрлі аспаптар, ыдыстар және т.б. даярлау үшін). Сомтума мысты құрамында өзі бар рудалардан айырып алу процесі біршама қарапайым (байытудың гравитациялық әдістері қолданылады). Сондықтан бұл металдың рудалардағы өнеркәсіптік мөлшері сульфид және тотыққан рудалардағымен салыстырғанда әлдеқайда төмен болады (ірі кенорындарға 0,5 % шамасына дейін).

КҮМІС – Ag. Сомтума күміс табиғатта мысқа қарағанда сирек, ал алтынға қарағанда тіпті салыстыруға келмейтін сирек таралған.

Химиялық құрамы. Химиялық таза күміспен қатар мынадай түрлестері кездеседі: кюстелит – құрамында алтынның изоморфтық қоспасы 10 % және одан да жоғары, висмутты күміс (чиленит), мысты күміс, сүрмелі күміс және басқалар.

Сингониясы кубтық, симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=4,0772$. Сондай-ақ екі гексагондық политипі анықталған: күміс $2H$ және күміс $4H$. **Кристалдық құрылымы.** Атомдары жақцентрленген кубтық тор түйіндерінде орналасқан, яғни Си құрылымдық типіне жатады. **Кристалдарының келбеті.** Дұрыс жаралған кристалдары өте сирек. Кездесетін формалары: {100}, {111}. Қосақтары (111) бойынша. **Агрегаттары.** Кейде нағыз «тоқылған» қауырсын дендриттер (66-сурет), жұқа бұрыс қалақшалар мен жапырақшалар түрінде кездеседі. Сондай-ақ мүк тәрізді, шаш тәрізді және сым сияқты, пішіндері (67-сурет), кейде антолиттер тән. Ең көп таралғаны – бұрыс пішіндері түйірлері және ірілеу тұтас шоғырлары – сомтумалары.



66-сурет. Күмістің қауырсын дендриттері



67-сурет. Күмістің сомтума күшәла қабыршағындағы жіп тәрізді кристалдары (антолиттер) (Қазақстан)

Түсі. Күміс жаңа омырылымда күмістей ақ, кейде сарғыш реңді. Беткі жағы көбінесе қара кіреукемен жабылады. **Сызығы** металдай жылтырақ. **Жылтырлығы** нағыз металша.

Қаттылығы 2,5. Аса майырылғыш. Өте жұқа парақшаларға жалпаяды. Омырылымы имектелген. **Жіктілігі** жоқ. Меншікті салмағы 10,1-11,1. **Басқа қасиеттері.** Жылу мен электрдің ең жақсы өткізгіші.

Диагноздаушы белгілері. Түсі, күшті жылтырлығы, өзіндік имек және тікенек омырылымы, майырылғыштығы (пышақтың ұшы оңай із қалдырады) және меншікті салмағы бойынша танылады. Платинадан қаттылығының аздығымен және төмен меншікті салмағымен айрықшаланады. Сомтума күмісті жиі сүйемелдейтін аргентит пен акантит Ag_2S күңгірттеу қорғасын-сұр немесе қара түске ие болады. HNO_3 қышқылындағы ерітіндісі HCl -да өзіндік аз сүзбе тәрізді $AgCl$ тұнбасын береді. H_2S әрекетінен қараяды.

Жаралуы және кенорындары. Табиғатта сомтума күмістің жаралуы көбінесе мыстың жаралуына ұқсас. Ол құрамында күміс бар басқа минералдармен бірге гидротермалық желі кенорындарында *аргентитпен* (Ag_2S) және кальцитпен (*Конгсберг* кенорны, Норвегияда) бірге, кейде әр түрлі металдардың күрделі күкіртті, күшәлалы, сұрмелі қосылыстарымен бірге, солардың ішінде никель (тініке) және кобальт қосылыстарымен де кездеседі. Гидротермалық типке Россиядағы ең ірі *Дукат* күміс кенорны (Магадан облысында) жатады, оның рудаларында акантитпен бірге сомтума күміс те кездеседі. Күмістің көптеген гидротермалық кенорындары Мексикада және Чилиде орналасқан, оларда сомтумалар да белгілі.

Сомтума күміс экзогендік жағдайларда, сомтума мыс сияқты күкіртті және күшәлалы-сұрмелі руда кенорындарының тотығу белдемінде кездеседі. Ол осы рудалардың жер беті ерітінділерінің органикалық қосылыстармен ыдырау және тотықсыздандыру өнімі болып табылады. Осындай жағдайларда жаралатын сомтума күміс көбінесе дендрит, қалақ, мүк сияқты, сым тәрізді, шаш сияқты және басқа түрде болады. Өте жіңішке жіп сияқты және дендрит жаралымдар, кейде әдемі өрнектер түрінде ерітіндіден көмір кесегінде, әсіресе еритін органикалық қосылыстар болған кезде түзілетінін эксперименттер дәлелдеген.

Сомтума күміс жер беті жағдайларында сомтума алтынға қарағанда орнықсыздау. Ол көбінесе қара түсті кіреукемен және үлбірмен көмкеріледі. Ыстық құрғақ климатты жерлерде, ол жер бетінде көбінесе орнықты галоид қосылыстарына (AgCl және басқа) өтеді.

Бұрынғы кездері сомтума күміс *Тура кеніштерінен* (Солтүстік Орал), Алтайдың бірқатар қорғасын-мырыш кенорындарында (*Грехов*, *Змеиногорск*), Хакасияда (*Сор*), Шығыс Сібірде, Қазақстанда (*Жезқазған*) және басқа жерлерде табылған.

Практикалық мәні. Күміс негізінен мыс қорытпасымен бірге бұйымдар, монеталар және басқалар жасау үшін қолданылады. Таза күміс әшекейлік жұмыстарда, сілтілерді балқыту үшін ыдыстар жасауға, күміспен күптеуге, химиялық қосылыстар алуға және басқа мақсаттарда тұтынылады. Күмістің басты массасы (80 % шамасында) сомтума күйде емес, күміске бай қорғасын-мырыш, алтын және мыс кенорындарынан қосымша өнім ретінде алынады.

АЛТЫН – Au. Алтын адамға өте көне замандардан белгілі металл болып табылады. Ол қарастырылып отырған топ минералдарының арасында табиғатта ең көп таралғандарға жатады.

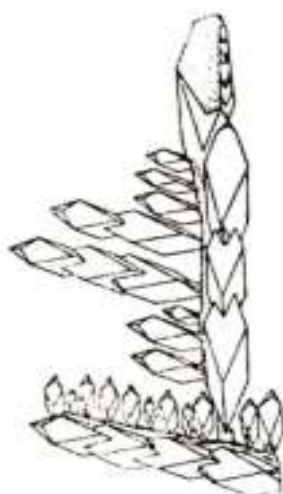
Химиялық құрамы. Алтын химиялық таза түрде өте сирек кездеседі. Сомтума алтын деп аталатынның құрамында басым көпшілік жағдайда изоморфтық қоспа түрінде күміс болады (әдетте салмағы бойынша 4–15 % аралығында). Күміске одан да бай түрлестері кездеседі (электрум).

Алтынның түрлестері қатарына мыналар жатады: мысты алтын – Cu мөлшері 20 % шамасына дейін (салмағы бойынша); порпечит – палладийлі алтын, Pd мөлшері 5–11 % және Ag 4 % шамасына дейін; висмутты алтын (бисмутоаурит) – қатты ерітіндідегі Bi мөлшері 4 % шамасына дейін.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5h)$. $a_o=4,0699$. **Кристалдық құрылымы** – центрленген куб. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары сирек кездеседі, олар негізінен октаэдрлер түрінде $\{111\}$ болады (*68-сурет*), кейде ромбододекаэдрлер $\{110\}$ және өте сирек кубтар түрінде $\{100\}$. Жақтарының беті әдетте күңгірт, бейтегіс; кейде кездесетін комбинациялық айғыздары қырларына (111):(310) және (111):(110) параллель болады. (111) бойынша кірікпелері мен қосақтары жиі кездеседі. **Агрегаттары.** Әдетте кварц немесе руда массасына кірген бұрыс пішінді түйірлер түрінде байқалады. Олардың өлшемі сан қилы болуы мүмкін, бірақ микроскоптық ұсақ түйірлері жиі кездеседі, кейде олар жылтырланған шлифтерде микроскоп астында өте үлкейткеннің өзінде қиын ажыратылады. Өзен аңғарлары шашылымдарындағы құмды шайған кезде жұмырланған пішінді сомтумалары жиі табылады, олардың салмағы бірнеше граммнан кейде ондаған килограммға дейін жетеді. Кенорындардың мору белдемдерінде қайта жаралған ұсақ тассүңгі пішінді туынды сомтумалар табылған жағдайлар болған. Түбірлік кенорындар рудасында қуыстар арасында кристалдармен қатар дендрит тәрізді кристалл кірікпелері (*69-сурет*) торлы өрнекті қалақтары (*70-сурет*) кездескен.



68-сурет. Алтынның октаэдр кристалы. Сысерт ауданы (Орал)



69-сурет. Алтынның дендрит тәрізді қаңқалы кристалы



70-сурет. Алтынның тор дендриті

Түсі. Сомтума алтынның түсі алтын-сары (күміске бай түрлестерінде ақшыл-сары). Сызғы металша, сары. **Жылтырлығы** нағыз металша.

Қаттылығы 2,5-3. Майырылғыш және созылғыш. Өте жұқа парақшаларға жеңіл жалпаяды. **Жіктілігі** жоқ. **Меншікті салмағы** 15,6-18,3 (таза алтын үшін 19,30). **Басқа қасиеттері.** Өте жоғары жылу- және электрөткізгіштікке ие.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне тән алтын-сары түсі, төмен қаттылығы (пышақпен оңай кесіледі), майырылғыштығы жоғары, жоғары меншікті салмағы және ауада тотықпайтындығы. Ол өзіне ұқсас пириттен,

халькопириттен (CuFeS_2) және миллериттен (NiS) күшті жалтырлығымен және түсінің өзіндік реңімен айрықшалаынады.

Патша арағынан басқа қышқылдарда ерімейді; KCN және еркін хлор мен бром бөліп шығаратын реагенттерде ериді. Көп күкіртті ыстық сілтілер алтынды ерітіп, күкіртті қосылыстар жасайды.

Жаралуы және кенорындары. Алтынның ең көп массасы қышқылды магмалық интрузиялармен генетикалық байланысты нағыз *гидротермалық* кенорындарда таралған. Ол көбінесе кварцпен және сульфидтермен (пиритпен, арсенопиритпен, солғын кендермен, халькопиритпен), кейде алтын мен күміс теллуридтерімен және басқалармен парагенезистік байланысты. Көрінетін алтын деп аталатынға аса тәні, ол әдетте ең соңғы минералдар ішінде бөліп шығады да көбінесе бұрын жаралған минералдардағы жарықшақтарда орналасады. Көрінетінмен қатар сондай-ақ «байланысқан» алтын да ажыратылады. Ол елеулі мөлшерде химиялық талдау арқылы сульфидтерде, негізінен пирит пен арсенопиритте ($\text{Fe}[\text{AsS}]$) анықталып, тек микроскопта ғана шала-шарпы байқалады. Оның бір бөлігі кристалзольде таралған дисперсиялық фазасы сияқты шашыранды майда дисперсиялық күйде болады.

Сомтума алтын жаңажаралым ретінде сульфид кенорындарының тотығу белдемінде лимонитпен, азуритпен, қорғасын, висмут, сүрме жосаларымен және басқалармен бірге кездеседі. Және бір анықталғаны, алтынның құрамындағы күміс жер беті жағдайларындағы мору кезінде жартылай шығып кетеді. Осының салдарынан алтын жиектерінде және жарықшақтар бойында жоғары сынамдыға айналады. Дәл осылай шашылымдардан шайылып алынатын алтынның құрамындағы күмістің мөлшері түрбірлік кенорындардағыға қарағанда төмен болатыны ежелден белгілі.

Россияда алтынның шашылымдық та, түбірлік те кенорындары аса мол. Олар Оралда және негізінен Шығыс және Солтүстік-Шығыс Сібірде таралған. Тек олардың кейбіреулеріне тоқталып кетейік.

Березовск кенорны (Екатеринбургтен солтүстік-шығысқа қарай 12 км жерде). Бұл кенорын мұнда жалпы осыдан 200 жылдан астам уақыт бұрын сомтума алтын ашылғандығымен ғана белгілі емес, сондай-ақ өзінің минералдар ассоциациясының ерекшелігімен де белгілі. Бұл минералдар коллекциясы біздің және шет елдер мұрағаттары витриналарына көрік беріп келеді. Кенорында алтын шағын кварц желілері легінде орналасқан, олар әдетте өзгеріске ұшыраған гранит-порфирдің – березиттің қалың желілері арасында (кварц желілері гранит-порфир желілерінің қабырғаларына перпендикуляр орналасады). Алтын кварц желілерінде таралған сульфидтермен басым байланысқан, олардың ішінде – негізінен пиритпен, солғын кенмен, галенитпен, халькопиритпен, айкинитпен және басқалармен. Ол мору белдемінде темірдің, мыстың, қорғасынның, висмуттың және басқалардың әр түрлі оттеқ қосылыстарымен сүйемелденеді.

Дарасун кенорны (Забайкалье Шилка теміржол бекетінен солтүстік-батысқа қарай 75 км жерде) минералдық құрамы үлкен әр түрлілігімен

сипатталатын кварц желілерінен тұрады. Олардың құрамында кварцтан басқа турмалин, карбонаттар, пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит, солғын кен және басқа бірқатар минералдар байқалады. Алтын сульфидтер шоғырларында, негізінен арсенопиритте орналасқан.

Балей кенорны (Забайкалье Приисковая теміржол бекетінен оңтүстік-батысқа қарай 55 км жерде) оның құрамындағы алтынның көбінесе жасырын кристалды кварц массаларында майда шашыранды түрде байқалатындығымен қызық. Осының салдарынан алтынға байыған бөлікшелер шамалы жасылтым реңге ие болады. Мұндай рудадағы алтын тек микроскопта ғана көрінеді.

Дмитриев кенорнында (Шығыс Забайкальеде Шилка өзенінің саласы Қараның бас жағында) алтын сульфидтермен бірге турмалинге бай кварц желілерінде орналасады.

Кубака кенорны (Магадан облысында) Россиядағы ең ірі кенорындардың бірі саналады. Мұнда алтын кварц желілеріндегі сульфидтерде шоғырланған. Алтынның мол қоры негізінен пиритті құрамына механикалық қоспа түрінде кіріп, *Сухой Лог* кенорнының (Иркутск облысында) қара тақтатастары арасында орналасқан.

Ірі шашылым кенорындары Орал мен Сібірдің көптеген аудандарында таралған. Миас ауданында (Оңтүстік Орал) Ташқотарған өзенінің саласы Иіремел бойындағы шашылымда 1842 жылы салмағы 35 кг Россиядағы ең ірі алтын сомтумасы табылған. Алтынды шашылымдар сондай-ақ Алданда, Приамурьеде, Колыма өлкесінде және Чукоткада белгілі.

Шет елдердегі кенорындар арасында кең танымалы өте ірі *Витватерсранд* кенорны (Оңтүстік Африка, Трансвааль), ол барша әлемдік алтын өндірісінің 40 % шамасын беріп келген. Мұнда алтын метаморфталған көне конгломерат құрамында орналасқан. Бұл таужыныстар бастапқыда алтынды шашылымдар болғаны көрінеді. Кен үңгімелері 3 км тереңдіктен асып кеткен (жобалық тереңдігі 4 км).

Бірегей кенорындар қатарына *Мұрынтау* (Өзбекстан), оның рудалары бай емес, бірақ қоры орасан, және *Құмтөр* (Қырғызстан) жатады. *Зод* кенорны (Армения) өзіндік парагенезисімен сипатталады: алтын тарамдалған кварц желілеріндегі теллуридтермен байланысты. Алтынның ірі кенорындары Қазақстанда белгілі (*Бақыршық, Васильков, Юбилейное, Ақбақай* және басқалар).

Алтын көп мөлшерде сондай-ақ АҚШ-та (батыстағы штаттарында және Аляскада), Канаданың бірқатар аудандарында және Австралияда (*Бендиго*) өндіріледі. Кенорындар негізінен кварц желілерінен тұрады, оларда алтын көбінесе сульфидтермен парагенетикалық байланыста. Алтынды шашылымдардың байтақ аудандары Калифорнияда, Аляскада (Юкон алабындағы Клондайк өзені және басқалар, сондай-ақ Стьюорд түбегі) және Австралияда. Виктория провинциясының (Австралия) шашылымдарында әлемдегі ең ірі сомтумалар табылған: «Жағымды бейтаныс» салмағы 59,67 кг (1858 жылы) және «Күтілген» салмағы 68,08 кг (1869 жылы).

Практикалық мәні. Алтын негізгі валюта және ақша металы екені белгілі. Ол сондай-ақ электрониканың өткізгіш элементтері, әшекей, байлық заттары, физикалық және химиялық аспаптар, тіс салу ісінде және басқа мақсаттарда пайдаланылады.

Алтынның түбірлік кенорындардағы минимал өнеркәсіптік мөлшері 1–10 г/т ауқымында өзгереді (яғни 0,000001 – 0,00001 %). Бұл көрсеткіш кенорындардың масштабына және оларды игерудің экономикалық жағдайларына байланысты.

2. Темір-платина тобы

Мұнда Менделеев кестесіндегі VIII топ сомтума металдары бірігеді (рутений мен осмий кірмейді, олар туралы төменде айтылады): Fe, Co, Ni, Rh, Pb, Ir және Pt. Ұзын периодтары бойынша құрылған бұл кестеде аталған элементтер жоғарыда қарастырылған топ элементтеріне (Cu, Ag және Au) сол жағынан бірігеді.

Қарастырылып отырған топ минералдары мұнда табиғатта болу жағдайлары және кристалхимиялық деректері бойынша екі топшаға бөлінеді: а) темірдің және б) платинаның.

Жер қыртысында кездесетін *сомтума темір топшасы* минералдарының арасында жаралуы бойынша мыналарды ажырату керек: 1) темірлі метеориттердің құрамына кіретін ғарыштық жаралымды минералдар; 2) өте сирек кездесетін теллурий (яғни жер) жаралымдары.

Сомтума платина топшасына кіретін минералдар минералдық түрлер мен олардың түрлестерінің біршама үлкен санынан тұрады. Олар Pt, Fe, Ir, Pd, Rh, кейде Ni, Cu, өте сирек Au, Os, Sn (кейде айтарлықтай мөлшерде), сондай-ақ Pb, Zn, Ag, Co, Mn, Mo (0,006 % шамасына дейін) және Re (0,00008-0,002 %) металдардың қатты ерітіндісі болып табылады.

Барлық осы минералдық түрлер арасында жер қыртысында ең көп таралғандарға *платина* және соның негізіндегі темірлі платинадан *изоферроплатинаға* (Pt, Pd)₃·(Fe, Cu) дейінгі қатты ерітінділер жатады. Олар көбінесе «поликсен» деген атпен біріктіріледі. «Сомтума платина» деп жалпылама аталатынның өзі көпшілік жағдайда поликсенге жатады. Сомтума платина топшасы минералдарының өзіндік ерекшеліктеріне олардың құрамына Ru мен Os изоморфтық қоспалар түрінде кірмейтіні жатады. Платина тобындағы алты элементтің барлығы (*71-сурет*) физикалық жағынан да, химиялық жағынан да көптеген ортақ белгілерге ие болғанымен, олардың табиғи жағдайларда өздерін ұстауы, дегенмен, бірдей бола бермейді. Келтірілген кестешенің оң жақ бөлігін алып жатқан атомдық салмағы максимал элементтер Pd мен Pt оның сол жақ бөлігінде орналасқан бағанадағы Ru мен Os элементтерінен триадаларда өздерін күрт басқаша ұстайды. Осыған дейін элементтердің осы екі шеткі жұптары бір-бірін изоморфты алмастыра алатыны анықталған емес. Бірақ құрамына осы элементтер кіретін минералдар парагенезистік тығыз байланысты болады, көбінесе тікелей кірігулер жасайды. Аралық жағдайда орналасқан Rh мен Ir

элементтері (71-суретте) екі жақтама рөл атқарады: олар, бір жағынан, Ru және Os элементтерінен өзгермелі құрамды химиялық қосылыстар жасаса, ал екінші жағынан – Pd және Pt, көбінесе Fe, Ni, Cu және басқалармен бірге қатты ерітінділер құрамына кіреді. Сондай-ақ платина тобындағы элементтердің оң және сол жақ жұптарына S, As, Sb және кейде Te элементтерімен сирек те болса табиғи химиялық қосылыстар жасауға қабілеттілігі тән, ал Rh және Ir үшін мұндай қосылыстардың бірен-сараны ғана белгілі. Сондай-ақ Pd-Pt қатарының минералдары әдетте кубтық сингонияда кристалданса (кристалдық құрылымы мыстық типті), Ru-Os қатарының минералдары өзгермелі құрамды қосылыстар түрінде айқын дербестеледі де гексагондық сингонияда кристалданады (осмий типті кристалдық құрылымдарда).

Осы айтылғандар платина тобындағы химиялық элементтер жасайтын минералдарды екіге бөлуге мәжбүр етеді. Бір бөлігін темір тобына біріктірген ұтымды, ал екіншісі (осмий-рутений) – дербес топқа бөлінеді.

ТЕМІР – α -Fe. Синонимі – феррит.

Химиялық құрамы. Химиялық талдаудың қолда бар деректеріне сәйкес теллурийлік темір тазаға жуық темір болып табылады, оның құрамында мардымсыз қоспалар болады: Ni – 0,6, кейде 2 % шамасына дейін, ал кейде одан да асады; Co – 0,3 %-ке дейін; Cu – 0,4 %-ке дейін; Pt – 0,1 %-ке дейін. Метеориттік темірге Ni қоспасы елеулі болатыны тән, камаситте 7% шамасына жуық, ал *тэнитте* γ -(Fe,Ni) – ол Cu типті құрылымда кристалданады және сондықтан жеке минералдық түрге бөлінеді – Ni 24–48% болады.

43 Tc	44 $n \cdot 10^{-1}$ Ru 101,1	45 $n \cdot 10^{-2}$ Rh 102,91	46 $n \cdot 10^{-6}$ Pd 106,4	47 Ag
75 Re	76 $n \cdot 10^{-8}$ Os 190,2	77 $n \cdot 10^{-7}$ Ir 192,2	78 $n \cdot 10^{-7}$ Pt 195,09	79 Au

71-сурет. Платина тобы металдарының триадалары

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексооктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$.

Кеңістіктік тобы $Im\bar{3}m (O_h)$. $a_0=2,8607$.

Кристалдары өте ұсақ әрі өте сирек кездеседі. Әдетте бұрыс пішінді өте ұсақ түйірлер түрінде байқалады, кейде біршама ірілеу шоғырлар жасайды.

Кристалдық құрылымы. Темір үшін бірнеше полиморфтық модификациясы анықталған, олардың ішінде жоғары температуралық модификациясы – γ -Fe (906⁰C-тан жоғары) жақцентрленген кубтық типті Cu ($a_0=3,63$) құрылымын жасайды, ал төмен температуралық – α -Fe W типті ($a_0=2,86$) центрленген куб құрылымды болады.

Түсі. Темір болат-сұр, жылтырланған шлифтерде металл ақ түсті.
Сызығы жылтырақ болат-сұр. **Жылтырлығы** жаңа жасалған омырылымда нағыз металша.

Қаттылығы 4-5. Майырылғыштыққа ие. **Жіктілігі** {100} бойынша байқалады. **Меншікті салмағы** 7-7,8. **Басқа қасиеттері.** Күрт білінген магниттілікке ие (тэнит, керісінше шамалы ғана магнитті).

Диагноздаушы белгілері. Сомтума платинадан HNO_3 -те еритіндігімен, төмен меншікті салмағымен, күшті магниттілігімен және ауада оңай тотығатындығымен айрықшалаынады. Никельге жұтаң түрлестері мыс купоросы еритіндісінен оның бетінде металл мыс тұндырады. Метеориттік темір жылтырланған беттерде таптау жүргізгеннен кейін әдетте ірі торлы құрылым көрсетеді (видманштет фигуралары), ол теллурийлік темірде ешқашан байқалмайды.

Жаралуы және кенорындары. Теллурийлік сомтума темірдің сирек табылымдары негізді және ультранегізді магмалық таужыныстарда орналасқан. Ірілеу бөлінімдері *Овифактагы* (Диско аралы, Гренландияның батыс жағасы) және *Кассель* қаласы (Германия) маңындағы базальтта кездескен. Екі нүктеде де онымен троилит (FeS) пен когенит (Fe_3C – темір карбиді) ассоциацияланады.

Россияда теллурийлік темір *Хунгтукун* массиві мен *Озерная* тауының (Орталық Сібірдің солтүстігінде) диабазда (метадолеритте) белгілі. Ол микроскоптық түйірлерде өзгерген (серпентинденген) ультранегізді таужыныстарда бірнеше рет анықталған. Мұнда да пиротинмен, кейде магнетитпен парагенезисте болып, тотықсыздандырғыш реакцияларда солардың есебінен пайда болады.

Сондай-ақ оның экзогендік жолмен кремнийлі тақтатастарда сеппелер түрінде (Калимантан аралы), тас көмір өнімдерінде, «батпақ рудаларында» және шымтезектіктерде жаралғандығын көрсететін белгілер де бар.

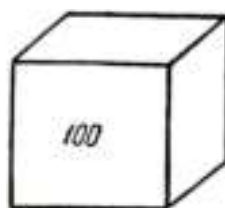
Бұл табылымдардың барлығының да практикалық мәні жоқ.

ПЛАТИНА – (Pt, Fe, Pd). Бұл атау испанша *platina* – *plata* дегеннің кішірейтілгені, яғни күміс, күмісше дегеннен шыққан. Таза платина аса сирек кездеседі, үлгілердің көпшілігі темірлі түрлестерінен (поликсеннен), ал көбінесе интерметаллидтерден: *изоферроплатинадан* $(\text{Pt, Fe})_3\text{Fe}$ және *тетраферроплатинадан* $(\text{Pt, Fe})\text{Fe}$ тұрады. Поликсен атауы изоморфтық қоспаларының мол болуы бойынша (грекше *поли* – көп, *ксенос* – бөтен) берілген. Поликсеннен тұратын платина жер қыртысында платина топшасы минералдары ішінде ең көп таралғаны болып табылады.

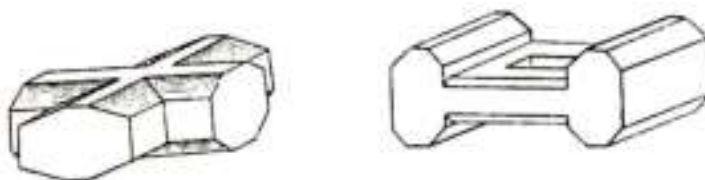
Химиялық құрамы. 80-88 % шамасы Pt , ал Fe үнемі кездеседі – 9,2 %-ке дейін (изоферроплатинада), кейде 4-5 %-ке дейін төмендейді (тиісінше Pt мөлшері де өзгереді). Басқа изоморфтық қоспалардан анықталатындары: Pd – 0,1-2,0%, кейде 21% шамасына дейін – палладийлі платина; Ir – 7% шамасына дейін – иридийлі платина; Rh – 0,1-0,5%, кейде 4-5% - родийлі платина; Cu – 0,8% шамасына дейін; Ni – проценттің ондық бөлшектеріне дейінгі іздері, ал кейде айтарлықтай мөлшерде – никельді платина.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O_h^5)$. $a_o=3,9158$. **Кристалдық құрылымы** тығыз жайласқан кубтық – атомдары жақцентрленген куб тордың түйіндерінде (Cu типі). **Кристалдарының келбеті.** Әдетте бұрыс пішінді түйірлер түрінде

байқалады. Сирек кездесетін ұсақ кристалдары көпшілігінде куб пішініне ие (72-сурет). Жақтар комбинацияларында, басты $\{100\}$ пішінін есептемегенде $\{110\}$, $\{210\}$, $\{310\}$ және кейбір басқалары байқалады. Қосақтары ішінде негізінен (100) бойынша тесіп өту және (111) бойынша кірігу қосақтары дамыған. Поликсеннің қаңқалы даму кристалдары белгілі (73-сурет). **Агрегаттары.** Рудаларда кездесетін сомтума платинаның жекелеген түйірлері көбінесе ұсақ үйінділерге топталып, кейде тұтас массалар – сомтумалар жасайды. Оралдың түбірлік кенорындарында кездескен ең ірі сомтумасының салмағы 427,5 г болған. Шашылымдарда табылатын сомтумаларының өлшемі 10x18 см және салмағы 8-9 кг шамасына жеткен.



72-сурет. Платина кристалы (Орал)



73-сурет. Поликсеннің қаңқалы кристалдары (Орал)

Түсі. Поликсен күмістей ақтан болат қараға дейін. **Сызығы** металдай болат-сұр. **Жылтырлығы** нағыз металша.

Қаттылығы 4-4,5, ал иридийге бай түрлестерінде 6-7 болады. Майырылғыштыққа ие. Омырылымы иірілген. **Жіктілігі** әдетте жоқ. **Меншікті салмағы** – 15-19. Меншікті салмағының төмендеуі табиғи газдарға толған кеуектер болуына, сондай-ақ бөтен минералдар қоспасына байланысты екені анықталған. **Басқа қасиеттері.** Таза платина беймагнитті, бірақ мұндай түйірлері өте сирек. Поликсеннің магниттілігі бар, тетраферроплатина күшті магнитті. Электрді жақсы өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Поликсен сыртқы түрі бойынша сомтума күміске және сомтума темірге өте ұқсас. Күмістен жоғарылау қаттылығымен, меншікті салмағымен, қиын балқитындығымен және қышқылдарда (патша арағынан басқаларда) ерімейтіндігімен ажыратылады. Қышқылдарда ерімейтіндігі оның сомтума темірден де ажырататын белгісі болады.

Жаралуы және кенорындары. Платина тобының минералдары көпшілік жағдайларда *ультранегізді* таужыныстармен генетикалық байланысты нағыз магмалық кенорындарда кездеседі. Бұл минералдар кен денелерінде магмалық процестің гидротермалық сатысына сай келетін соңғы кездері (силикаттар мен окиселдерден кейінгі) құрамында бөлінеді.

Платинаның палладийге жұтаң минералдары (поликсен, иридийлі платина және басқалар) кенорындарда дуниттер арасында – магнийге бай

және кремнеземге жұтаң оливинді далашпатсыз таужыныстарда кездеседі. Мұнда олар парагенезистік хромшпинелидтермен – құрамы күрделі $(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$ окиселдермен төтенше тығыз байланысты.

Палладийлі және никель-палладийлі платина басым көпшілігінде *негізді* магмалық таужыныстарда (норит, габбро-норит) таралған және әдетте сульфидтермен: пирротинмен $(\text{Fe}_{1-x}\text{S})$, халькопиритпен (CuFeS_2) және пентландитпен $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$ ассоциацияланады.

Экзогендік жағдайларда түбірлік кенорындар мен таужыныстардың бүліну процесінде платиналы шашылымдар жасайды. Топша минералдарының көпшілігі мұндай жағдайларда химиялық төзімді.

Платина алтынмен бірге адамға өте көне замандардың өзінде белгілі болғаны даусыз. Еуропада платина өзіне тек XVIII ғасырдың ортасында ғана назар аударған. Ол испан математигі Антонио де-Ульоа Оңтүстік Америкаға саяхаттап барып, 1735 жылы Колумбиядан түсі бойынша күміске ұқсас, бірақ одан басқа қасиеттері бойынша қатты айрықшаланатын металл түйірлерін әкелгеннен кейін болған.

Оралда сомтума платинаның өзіне назар аударған алғашқы табылымдары 1819 жылға жатады. Ол мұнда шашылымдық алтынға қоспа түрінде ашылған. Әлемдік танымал дербес бай платиналы шашылымдар кейінірек ашылған. Олар *Ортаңғы* және *Солтүстік* Оралда таралған және барлығы кеңістікте ультранегізді таужыныстар массивтерінің (дунит және пироксенит) шығымдарында орналасқан. Көптеген шағын түбірлік кенорындары *Төменгі Тагил* дунит массивінде анықталған. Сомтума платина (поликсен) шоғырлары негізінен хромит руда денелерінде орналасқан. Бұл денелер негізінен құрамында силикаттар бар хромшпинелидтерден (оливин мен серпентин) тұрады. Хабаровск өлкесіндегі *Кондер* гетерогендік ультранегізді массивінен платинаның қыры 1-2 см кубтық келбетті кристалдары түседі. Палладийлі платинаның көп мөлшері ликвиациялық сульфид мыс-никельді *Норильск* тобы (Орталық Сібірдің солтүстігі) кенорындары рудаларынан өндіріледі. Платина сондай-ақ негізді таужыныстармен байланысты соңғы магмалық титанмагнетит кенорындарының, мысалы *Гусевогорск* және *Качканар* (Ортаңғы Орал) сияқтылардың рудаларынан айырып алынады.

Платина өндірісі өнеркәсібінде ірі мәнге Норильскінің баламасы – Канададағы кенорны ие. Оның мыс-никель рудасынан платина металдары никельмен, мыспен кобальтпен бірге ілеспе түрінде өндіріледі.

Практикалық мәні. Сомтума платина өндірістің бастапқы кезінде тиісінше қолдану тапқан жоқ және тіпті алтын шашылымына зиянды қоспа деп есептелген. Өйткені ол алтынға ілеспе түрінде кездескен. Алғашында оны алтынды шайған кезде бос таужыныспен қоса лақтырып тастап отырған немесе аңшылық кезінде бытыра орнына қолданған. Кейін оны алтынмен аптау арқылы жасырын түрде сатып алатындарға өткізіп отырған. Оралдан табылған сомтума платинадан жасалған алғашқы бұйымдар алқа, сақина, бөшкелердің қаусырмасы және басқалар түрінде Санкт-Петербург кен

мұрағатында сақталған. Платина тобы металдарының тамаша қасиеттері кейін ашылған.

Платина металдарының ең басты құнды қасиеттеріне қиын балқығыштығы, электр өткізгіштігі және химиялық төзімділігі жатады. Осы қасиеттері бұл топ металдарының химия өнеркәсібінде (лаборатория ыдыстарын жасау үшін, күкірт қышқылы өндірісінде және т.б.), электротехникада және өнеркәсіптің басқа салаларында пайдалануын анықтайды. Платинаның елеулі мөлшері зергерлік және тіс жасау ісіне жұмсалады. Платина ең маңызды рөлді мұнай өңдеуде катализаторлар бетінің материалы ретінде атқарады.

Өндірілетін «шикізат» платина аффинаждаушы заводтарға түсіп, мұнда оны таза металл айырып алудың күрделі химиялық процестері жүргізіледі.

3. Осмий-рутений (осмийлі иридий) тобы

Бұл екі элемент Менделеев кестесінде платина тобы элементтері триадаларының сол жағында орналасады (*71-суретте*). Оларға бір-бірін изоморфты алмастыруы аса тән қасиет. Табиғи жағдайларда осы триадалардың ортасында орналасқан элементтермен – родиймен, әсіресе иридиймен қатты ерітінділер жасайды, бірақ палладиймен және платинамен емес. Қарастырылып отырған топ минералдарын химиялық талдау деректерінде платинаның элемент ретінде кездесуі жиі көрсетілгенімен, бірақ ол механикалық қоспа түрінде ғана болуы ықтимал сияқты. Ол кейде жылтырланған шлифтерде микроскопта анықталады. Осылайша, бұл топтағы басты металдарға осмий мен иридий жатады, аз дәрежеде – рутений мен иридий болады.

Бұл топ минералдары темір-платина тобы минералдарымен бірге кездеседі, бірақ бірқатар қасиеттері бойынша олар күрт айрықшалаанады: 1) кристалдарына қалақша кейіп аса тән; 2) көп бөлігінде оптикалық анизотропия айқын көрінеді; 3) айқын жоғарылау қаттылық тән, осыған байланысты осмийлі иридий қалақшалары жылтырланған шлифтерде сомтума платина аясында бедерлене бөлінеді; 4) минералдардың меншікті салмағы да біршама жоғарылау көрінеді; 5) осмийлі иридий тобы минералдары сондай-ақ айрықша химиялық орнықтылыққа ие (тіпті қайнаған патша арағында да ерімейді).

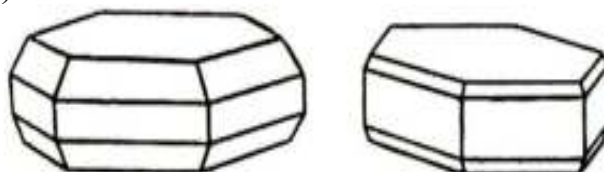
Басты минералдық түрлерін олардың құрамындағы иридий мен осмийдің ара қатынасы бойынша осы қатардағы изоморфизмді ескере отырып ажырату қабылданған. Кубтық *иридийдің* өзі (Os атомдары 20-25% шамасынан аз), әдетте оның құрамында платина қоспалары елеулі болады, төтенше сирек кездеседі – Орал мен Бразилияның платиналы шашылымдарында.

ОСМИРИД - (Ir,Os). Құрамы бойынша аталған. Синонимі – невьянскит, яғни табылған жері бойынша: Невьянск ауданы, Екатеринбургтан солтүстікке қарай (Орал). Осы топ минералдары ішінде табиғатта өте кең таралған түрлесі болып табылады.

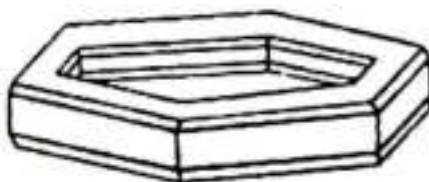
Химиялық құрамы. Невьянскит деген атпен сипатталған минералдар құрамында жекелеген металдардың мөлшері былайша ауытқып отырады, %: Ir – 46,8-77,2; Os – 21-49,3; Ru – 0-0,5; Rh – 0,5-7,7; Pt – 0,1-5,5; Cu – 0-0,9; Fe – 0-1,4. Ir:Os қатынасы 3:1 мен 1:1 аралығында ауытқиды. Кейбір жағдайларда иридийге изоморфты қоспа түрінде айтарлықтай мөлшерде родий анықталады.

Сингониясы гексагондық, симметрия түрі дигексагон-дипирамидалық $L^6 6L^2 7PC$. Жақ параметрлері $P6_3/MMC(D_{6h}^{4-})$. $a_o=2,62$; $c_o=4,60$.

Кристалдық құрылымы гексагондық, өте тығыз жайласқан. **Кристалдарының келбеті.** Темірплатина тобы минералдарына керісінше бұл топтың минералдық түрлері кристаллографиялық жағынан өте жақсы дербестелген. Кристалдары $\{0001\}$ пинакоидтың басым дамуына байланысты әдетте ұсақ алтыбұрышты қалақшалардан немесе тақталанған түйірлерден тұрады (74-сурет). Олар бүйірлерінде $\{10\bar{1}0\}$ призма жақтарымен және көбінесе $\{10\bar{1}1\}$ гексагондық дипирамидалармен шектелген. Жақтары тең емес алты бұрыштар түріндегі кристалдары кездеседі, олардың пішіні үшбұрышқа жақындайды. Қаңқаға ұқсас қаңқалы қалақша бөлінімдері көп кездеседі (75-сурет).



74-сурет. Осмирид кристалдары (Орал)



75-сурет. Осмиридтің сақина тәрізді кристалы (Орал)

Түсі. Осмирид қалайы ақ немесе ақшыл-сұр. Жалтырлығы металша. Оптикалық анизотропты.

Қаттылығы 6-7. Морт. Жіктілігі $\{0001\}$ бойынша жетік, бірақ парақшаларға жіктелуі өте қиын. Парақшалары сынғыш. Меншікті салмағы 17-ден 21-ге дейінгі аралықта өзгереді. Меншікті салмағының азаюына ұсақ газды кеуектері әсер етеді, олар кейде өте көп болады (олардың саны кейбір жағдайларда көлемінің 17 % шамасына жетеді).

Диагноздаушы белгілері. Қалақша кейпі, ақшылдау түсі (иридосминмен салыстырғанда) және жоғары қаттылығы бойынша жеңіл танылады.

Қышқылға аса төзімді. Селитрамен балқытқанда осмий ангидриді OsO_4 буын бөледі, оның иісі өте жағымсыз – шіріген шалқан сияқты. Бұл балқыманы суда еріткен кезде иридийдің қара ұнтағы тұнады.

Жаралуы және кенорындары. Бұл топ минералдары генетикалық жағынан негізінен магмалық ультранегізді таужыныстар (дунит және

перидотит) массивімен байланысты. Мұнда олар платина тобы минералдарымен, хромшпинелидтерімен, кейде мыс сульфидтерімен бірлесіп кездеседі. Тікелей таужыныстардың өзінде де кездеседі, яғни басқа руда минералдармен сүйемелденбейді.

Гидротермалық алтынды кварц желілеріндегі табылымдары да белгілі. Осмиридтің алтынмен кірігуі кездескен.

Кенорындар моруғанда және шайылғанда осмирид өзінің химиялық төзімділігіне байланысты сомтума платина минералдарымен және алтынмен бірге шашылым жасайды.

Осмирид ультраанегізді магмалық таужыныстар массивтері жер бетіне шыққан жерлерде кездеседі. Россияда *Төменгі Тагил* платиналы шашылымдарында, *Гула* сілтілі-ультраанегізді массивінде (Ортаңғы Сібірдің солтүстігі), *Чирынай* перидотит массивінде (Корякия) белгілі. Ол мардымсыз мөлшерде қоспалар түрінде Оралдың, Сібірдің, сондай-ақ Калифорния мен Орегонның (АҚШ) көптеген алтынды шашылымдарында кездеседі. *Тасмания* аралында құрамында осмийлі иридий тобы минералдары платиналы металдардан басым шашылымдар белгілі. Осмирид алтынға ілеспе ретінде сондай-ақ өте ірі *Витватерсранд* алтын кенорнында (Трансвааль, Оңтүстік Африка) өндіріледі.

Практикалық мәні. Осмийлі иридийдің ірілеу кристалдары (диаметрі 1 мм-ден кем емес) шикі күйінде (химиялық өңдеусіз) арнайы аспаптар жасау үшін қолданылады (бұл мақсатқа 0,5 мм-ден ірілеу түйірлері қажет, пішіні қалақша емесе сопақша болу керек). Ұсақ кристалдары мәңгі қаламдар ұшын, оташы аспаптарының кесетін бөліктерін жасау үшін және т.б. пайдаланады.

ИРИДОСМИН (Os, Ir). Құрамы бойынша аталған. Синонимі сысертскит, табылған жеріне қарай: Сысерт ауданы Оралда (Екатеринбург маңында).

Химиялық құрамы. Осмий мөлшері иридий мөлшерінен асық. Көбінесе елеулі мөлшерде Ru изоморфты қоспасы кездеседі.

Сингониясы гексагондық, симметрия түрі дигексагондық-дипирамидалық. Құрылымы осмирид құрылымына ұқсас. Алты бұрышты қалақша кристалдар, жұмырланған қалақшалар, сынықтар түрінде байқалған (платиналы шашылымдарды шайған кезде).

Түсі. Иридосмин болат-сұрдан күңгірт-сұрға дейін. **Жылтырлығы** металша, күңгірт.

Қаттылығы 6 шамасында. Морт. **Жіктілігі** {0001} бойынша айқын. **Меншікті салмағы** өзгермелі: 17,8-22,5. магниттік қасиеттері зерттелмеген.

Диагноздаушы белгілері. Осмиридтен тек күңгірттеу бояуы бойынша ғана ажыратылады. Басқаша жағынан химиялық талдаусыз белгілі бір айырмашылықтарын анықтауға болмайды.

Қатты қыздырған кезде тотыққан жалында қараяды да иісі жағымсыз осмий ангидридi OsO_4 буын бөліп шығарады (осмирид селитрасыз қыздырған кезде әдетте OsO_4 буын шығармайды). Селитрамен балқытқан кезде жасыл масса жаралады, ал қайнатқан кезде бұл балқыма иридийдің кара ұнтағын бөліп шығарады). Қышқылдарға қатысты аса төзімді.

Жаралуы – *невьянскитті* қараңыз. Көбінесе невянскитпен бірге платинаның шашылымдарында да, түбірлік кенорындарында да кездеседі.

4. Шаламеталдар тобы

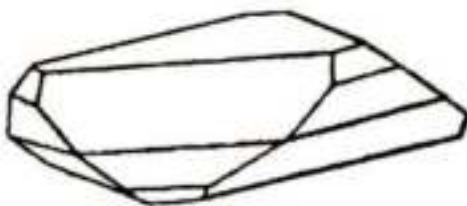
Бұл топқа күшәладан басқа сүрме мен висмут, яғни Менделеев кестесі V тобы үлкен периодтарының элементтері кіреді. Олардың барлығы табиғи жағдайларда сирек болса да сомтума күйде байқалады, бір сингонияда кристалдануы да бір типті кристалдық құрылымдар жасайды. Бірақ, осыған қарамай олар бірге кездеспейді және табиғатта қатты ерітінділерді де, белгілі бір қосылыстарды да жасамайды. Тек күшәла мен сүрме ғана жоғары температура жағдайында барлық пропорциялардағы қатты ерітінділерді жасайды, ал төмен температурада тек орнықты интерметалл қосылысы AsSb (аллемонит) түзеді.

Қарастырылып отырған шаламеталдар құрылымына тән ерекшелігіне жататыны - әр атом өзін қоршаған алты атомның үшеуімен коваленттік байланыс жасап, бір-бірімен тығыз қосылған құрылымдық бірліктердің жиырылған қабаттарын жасайды. Мұндай қабаттар арасында байланыс – вандерваальстық, яғни өте нашар. Бұл жағдай (0001) бойынша жетік жіктілікке, жоғары оптикалық анизотропияға және төмен қаттылыққа әкеледі. Сонымен, бұл топ минералдарының кристалдық құрылымы молекулалық, ал молекулаларға шексіз қабаттар жатады.

КҮШӘЛА – As. Біршама сирек кездеседі және әдетте шамалы мөлшерде. (Күшәланың синтезделген бірнеше модификациясы белгілі, олардың ішінде ең орнықтысы ромбоэдрлігі).

Химиялық құрамы. As мөлшері 84-98 %. Қоспалары: Sb – 1,7-9,2 %, сирек Ag, Fe, Ni; кейде Bi және V. Оның құрамындағы Ag, Ni, Fe және Bi бөтен минералдардың механикалық кірінділерімен байланысты болуы мүмкін (сомтума висмуттың және никель мен темір арсенидтерінің, сомтума күшәла кейде олармен тығыз кірігіп кездеседі).

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригон-скаленоэдрлік $L^3_6L^2_3PC$. Жақ параметрлері $R\bar{3}m(D^5_{3d})$. $a_{rh}=4,142$; $\alpha=54^{\circ}07'$. **Кристалдық құрылымы** атомдардың қисайған қарапайым кубтық жайласуы ретінде сипаттала алады, мұнда үш атомаралық қашықтық қысқарған, қалған үшеуі – ұзарған. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары өте сирек, ромбоэдрлік (76-сурет) немесе жалғанкубтық кейіпке ие. **Агрегаттары.** Әдетте беті бүйрек тәрізді сферолит қабықшалар, тассүңгілер, қабық сияқты жаралымдар түрінде байқалады. Омырылымында кристалдық-түйірлі құрылысты болады.



76-сурет. Күшәланың пинакоид-ромбоэдр кейіпті кристалы

Түсі. Күшәла жаңа омырылымда қалайы ақ. Уақыт өте келе біршама жылдам сары-бурыл, ал содан кейін қараға айналады. **Сызығы** сұр, қалайы ақ. **Жылтырлығы** металша, күшті (жаңа омырылымда); жылдам күңгірттенеді де тотыққан, уақыт өте келе қарайған бетінде күңгіртке айналады.

Қаттылығы 3,5. Морт. **Жіктілігі** {0001} бойынша және (0112) бойынша мардымсыз жетік. Омырылымы түйірлі. **Меншікті салмағы** 5,63-5,78.

Диагноздаушы белгілері. Сомтума күшәла бөлінімдерінің пішіні, қарайған беті, ауырлау меншікті салмағы, жаңа омырылымында күшті металша жалтырлығы және жетік жіктілігі бойынша оңай танылады.

Өртегенде балқымай, температура 360°C шамасында өзіне тән сарымсақ иісін шығарып және көмір бетінде As_2O_3 ақ жұғындысын жасап ұшып кетеді. Сұйық күйге тек жоғары сыртқы қысымда ғана өтеді. Жабық түтікшеде күшәла айнасын жасайды. Балғамен қатты соққанда сарымсақ иісін шығарады.

Жаралуы және кенорындары. Күшәла *гидротермалық* кенорындарда қабықша сферолит жаралымдар түрінде қуыстарда кездеседі. Оның гидротермалық әрекеттің ең соңғы сәтінде жаралатыны көрінеді. Онымен бірге құрамы бойынша әр түрлі күшәлалы, сүрмелі, кейде никельдің, кобальттың, күмістің, қорғасынның және басқалардың қосылыстары, сондай-ақ бейруда минералдар кездесуі мүмкін.

Әдебиеттерде күшәланың күшәла рудалары кенорындардың тотығу белдемдерінде қайта жаралатыны туралы деректер бар. Егер оның мұндай жағдайларда өте орнықсыз екенін және жылдам тотығып барып толық ыдырап кететінін ескерсек, бұл айтылғанның мүмкіндігі аз болып шығады. Қара қабыршақтары күшәла мен арсенолиттің (As_2O_3) майда қоспасынан тұрады. Ақыр соңында таза арсенолит жаралады.

Россия аумағында сомтума күшәла бірнеше кенорында кездескен. Олардың ішінде *Садон* гидротермалық қорғасын-мырыш кенорнын (Солтүстік Осетия) айтуға болады. Мұнда ол көп дүркін бүйрек тәрізді массалар түрінде кальцит кристалдарында галенитпен және сфалеритпен бірге кездеседі. Ірі бүйрек тәрізді концентрлі-қабықшалы құрылысты сомтума күшәла шоғырлары *Чикой* өзенінің (Забайкалье) сол жағасында кездескен. Онымен парагенезисте көне кристалдық тақтатастарды қиятын жұқа желілер қабырғасында өскіндер түрінде кальцит қана байқалған. Күшәла сынықтар түрінде сондай-ақ Кіші Хинган сілемдерінде (Приамурье) *Джалинда* бекеті ауданында және басқа жерлерде табылған. Гидротермалық доломит-анкерит желілерінде күшәла сферолиттері никелинмен бірге Красноярск өлкесінің *Белореченск* кенорнында анықталған.

Сомтума күшәла Саксонияның (Германия) бірқатар кенорындарында (*Фрайберг, Шнеберг, Аннаберг* және басқа) кобальттың, никельдің, күмістің, сомтума висмут және басқалардың күшәлалы қосылыстарымен бірге байқалған.

Бұл минералдың осы және басқа табылымдарының практикалық мәні жоқ.

ВИСМУТ – Bi. Сомтума висмут күшәла мен сүрмеге қарағанда әлдеқайда жиі кездескенімен, бәрібір біршама сирек минералдар қатарына жатады және әдетте ірі шоғырлар жасамайды.

Химиялық құрамы. Әдетте висмут таза дерлік. Қоспалар түрінде онымен бірге өте мардымсыз мөлшерде немесе ізі ретінде Fe, S, As және Sb анықталады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригон-скаленоэдрлік $L^3_63L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R\bar{3}m (D^5_{3d})$. $a_{rh}=4,736$; $\alpha=57^{\circ}16'$. **Кристалдық құрылымы** күшәла құрылымына ұқсас, бірақ қарапайым кубтық жайласуға жақындау: ең жақын орналасқан үш және олардан кейінгі үш атом аралығындағы айырмашылық атомаралық қашықтықтарының шамасы бойынша елеулі аз. Висмут кристалдар түрінде өте сирек кездеседі, ал кристалдары әдетте нашар жаралған. Көбінесе сеппе түйірлер, кейде ірі, парақша немесе түйірлі агрегаттар түрінде байқалады. Сондай-ақ қауырсын дендриттері де кездеседі.

Түсі. Висмут жаңа омырылымда күміс ақ сарғыш реңді; уақыт өте келе өзіндік қызғылт құлпырым пайда болады. **Сызығы** сұр. Жылтырлығы металша, күшті.

Қаттылығы 2,5. Нашар майырылғыш. **Жіктілгі** {0001} бойынша аса жетік және {1011} бойынша орташа. **Меншікті салмағы** 9,7-9,83 (сұйық күйінде 10,03). **Басқа қасиеттері.** Балқу температурасы 270°C шамасында. Қайнау температурасы 1450°C шамасында. Диамагнитті қасиеттерге ие.

Диагноздаушы белгілері. Висмут құлпырымының шамалы сарғыш-қызғылт реңі, металша күшті жалтырлығы, жетік жіктілігі, біршама төмен қаттылығы және біршама жоғары меншікті салмағы бойынша оңай танылады.

HNO_3 қышқылында оңай ериді, ерітіндіден су қосқаннан кейін ақ тұнба отырады.

Жаралуы және кенорындары. Висмуттың белгілі табылымдарының барлығы дерлік *гидротермалық* текті жаралымдарда орналасқан.

Бір жағдайларда ол жоғары температуралы жаралымдармен генетикалық байланысқан – кейде пегматиттерде, көбінесе грейзен-кварц желілі қалайы-вольфрам кенорындарында арсенопирит (FeAsS), висмутин (Bi_2S_3), ферберит (FeWO_4), молибденит (MoS_2), касситерит (SnO_2), топаз, берилл, турмалин сияқты минералдармен бірге кездеседі. Мәселен, Орталық Қазақстандағы *Қараоба* кенорнында висмут висмутинмен, пиритпен, вольфрамитпен және козалитпен бірге кварц интерстицияларын толтыратын полиэдрлі түйірлер түрінде болады. *Шерлова Гора* (Забайкалье) грейзендерінде де байқалған.

Висмут Ортаңғы Оралда *Изумруд кеніштерінің* өзіндік бериллийлі метасоматиттерінде кездескен. Олар ультранегізді таужыныстардың грейзенделуі нәтижесінде жаралған. Бұл кенорында бериллді және фенакитті кварц-далашпат ұялары мен желілерінде слюдиттер арасында висмут

висмутинмен, флюоритпен және молибденитпен бірге оқшауланған бөлінімдер жасайды.

Басқа жағдайларда сомтума висмут никельдің, кобальттың күшәлалы қосылыстарымен, уран минералдарымен, күмістің, қорғасынның, мырыштың және басқалардың күкіртті қосылыстарымен тығыз байланысты болады. Мысалы, Рудалы тауларда (Саксония мен Богемия шекарасында) көптеген желілі кенорындардағы – *Шнееберг, Аннаберг, Яхимов* және басқалардағы бірлестіктер осындай. Ол висмутинмен (Bi_2S_3) бірге маңыздылау мөлшерде Боливия кенорындарының (*Тасна, Оруро* және басқа) кварц-барит желілерінде кездеседі.

5. Күкірт тобы

Мұнда Менделеев кестесі VI тобының сомтума элементтері: күкірт, селен және теллур кіреді. Олардың ішінде күкірт нағыз металлоид болса, ал селен және әсіресе теллур шаламеталл қасиеттеріне ие болады.

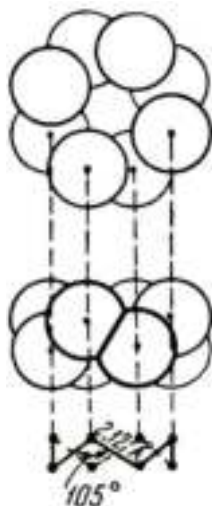
Күкірттің өзі үшін үш полиморфты модификация анықталады, олардың ішінде табиғи жағдайларда ең төзімдісіне ромбылық модификация – α -күкірт жатады. Ол атмосфералық қысым және температура $96,5^\circ\text{C}$ -тан асқан кезде моноклинді сингониялы β -күкіртте өтеді, ал салқындатқан кезде бұрынғы кристалдық күйіне қайта түседі; γ -күкірт те моноклинді, бірақ ол атмосфералық қысымда төмен температура кезінде тұрақсыз, бөлме температурасында α -күкіртке айналады. Күкірттің басқа үш жасанды полиморфты модификациясы табиғи жағдайларда кездеспейді.

КҮКІРТ - S. Күкірттің бөлме температурасы жағдайында ең тұрақты α -модификациясын әдетте ромбылық күкірт немесе жай күкірт деп атайды.

Химиялық құрамы. Бірақатар жағдайларда химиялық таза күкірт анықталады, бірақ әдетте ол бөтен механикалық қоспалармен ластанады: саз немесе органикалық затпен, мұнай тамшыларымен, газдармен және басқалармен ластанады. Сондай-ақ мөлшері әдетте 1 %, кейде 5,2 % шамасына дейін жететін изоморфтық Se қоспасы бар сирек түрлестері де белгілі – ол *селенді* күкірт деп аталады, сондай-ақ Te, кейде As және ерекше жағдайларда Tl болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромбылық-дипирамидалық $3L^23PC$. Жак параметрлері $Fddd(D_{2h}^{24})$. $a_o=10,48$; $b_o=12,92$; $c_o=24,55$. **Кристалдық құрылымы.** Рентгенметрлік зерттеулерге сай ромбылық күкірт бейорганикалық қосылыстар үшін сирек *молекулалық* және сондай-ақ өте күрделі кристалдық құрылымға ие болады. Құрылымында күкірттің әр атомы екі жағынан көрші атомдар сферасымен көмкеріледі, мұндағы сегіз атомнан тұратын тізбектер иректеле «мыжырайған» сақиналар түрінде тұйықталған (*77-сурет*). Осыдан көрінетіндей, күкірт молекуласы – S_8 . S-S атомдарының қашықтығы $2,12\text{Å}$ тең. Элементар ұяшық бір-бірімен вандерваальс күшімен өте нашар байланысқан осындай 16 электрлік бейтарап молекуладан (сақинадан) тұрады. **Кристалдарының кейпі.** Кристалдары көбінесе пирамидалық (*78-сурет*) немесе қиық пирамидалық (*79-сурет*), кейде

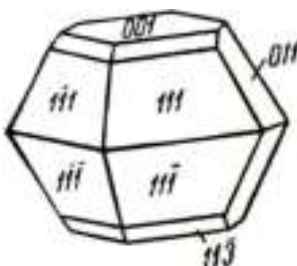
ромбтетраэдрлік (80-сурет) түрге ие болады. Соңғы жағдай, яғни кристалл сыртқы морфологиясы бойынша оның құрылымы үшін рентгендік талдаумен анықталғанға қарағанда төмендеу симметрияға ие болатын жағдай *гипоморфизм* (грекше *гипо* – төмен, *морфэ* – пішін) құбылысына жатады. Күкірттің өзіндік келбеттік пішіндері: {001}, {011}, {111}, {113} және басқалар. Қосақтары сирек – жазықтықтары (111) бойынша, кейде (011) және (110) бойынша кіріккен.



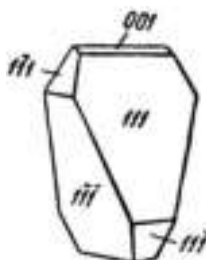
77-сурет. Күкірттің сегіз атомды сақинасына (молекуласына) үстінен және бүйірінен қарағанда. Төменгі жағында атомдар орталықтарының орналасу сұлбасы берілген



78-сурет. Күкірттің пирамида кейіпті кристалы



79-сурет. Күкірттің қиық-пирамида кейіпті кристалы



80-сурет. Күкірттің ромб-тетраэдр кристалы

Агрегаттары. Көбінесе тұтас, кейде жер тәрізді массаларда кездеседі. Кейде бүйрек тәрізді сорғалама пішіндер мен жұқпалар (жанартау атқыламалары аудандарында) байқалады.

Түсі. α -күкіртте сары түстің әр түрлі реңдері байқалады: сабан-сары, бал-сары, сарғыш-сұр, бурыл және қара (көміртек қоспаларына байланысты). **Сызығы** жоқтың қасы, ұнтағы шамалы сарғыш. **Жылтырлығы** жақтарында алмасша, омырылымында майша. Кристалдары мөлдір.

Қаттылығы 1-2. Морт. **Жіктілігі** жетілмеген {001}, {110} және {111} бойынша. **Меншікті салмағы** 2,05-2,08. **Басқа қасиеттері.** Электрөткізгіштігі және жылуөткізгіштігі өте нашар (жақсы окшаулауыш). Ысқылаған кезде теріс электр зарядталады. Қолдың жылуынан шытынайды.

Диагноздаушы белгілері. Күкіртке өзіндік түсі, төмен қаттылық, морттық омырылымында майлы жалтырлық және жеңіл балқығыштық тән. Сіріккені жаққанда жеңіл балқиды ($112,8^{\circ}\text{C}$ кезінде) және жалыны көгілдір түске боялып жанады да өзіне тән SO_2 иісін шығарады (күкіртке ұқсас аурипигменттен - As_2S_3 айырмашылығы). Күкірткөміртеkte, скипидарда, керосинде оңай ериді, бірақ HCl мен H_2SO_4 қышқылдарында ерімейді. Күшті HNO_3 мен патша арағы күкіртті тотықтырып, оны H_2SO_4 қосылысына өткізеді.

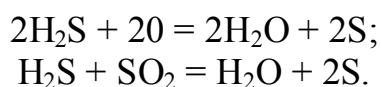
Сонымен, сомтума күкірт осы қарастырып отырған бөлім арасында заты молекулалық құрылысқа ие жалғыз минерал ретінде өте айрықша қасиеттерімен сипатталады. Құрылымында құрылымдық бірлік ретінде электрлік бейтарап S_8 молекулаларының болуы нашар электрөткізгіштік, төмен жылуөткізгіштік, молекулалары арасындағы нашар байланыс сияқты қасиеттерін оңай түсіндіре алады. Бұл айтылғандар балқу мен булануы температурасының төмендігінде, нашар механикалық қасиеттерінде, төмен қаттылығында, айқын білінген жіктілігі болмауында көрініс табады. Осыған байланысты омырылымы өте бейтегіс және жалтырлығы майша болады. Ал шар пішінінен күшті айрықшаланатын құрылымдық бірліктерінің (S_8 молекулаларының) сақиналық пішіні күрт оптикалық анизотропиясын, жылулық ұлғаю анизотропиясын және т.б. анықтайды.

Қоса кететіні, шағын меншікті салмағы мен балқу температурасының төмендігі сияқты қасиеттері сомтума күкіртті терең жатқан қабаттардан өндірген кезде тапқырлықпен пайдаланылады: құбырлар бойынша ұңғымаларға қатты қыздырылған су буы айдалады да балқыған күкірт бөтен механикалық қоспалардан арыла отырып, жоғары өрлеген сорғаламалармен бірге жер бетіне шығады да ең қарапайым тәсілдермен ұсталады.

Жаралуы мен кенорындары. Сомтума күкірт тек қана жер қыртысының ең жоғарғы бөлігінде және оның бетінде кездеседі. Әр түрлі жолдармен жаралады.

1. Жанартаулар атқылаған кезде – кратерлер қабырғасына, таужыныстар жарықшақтарына отырады, кейде балқыған түрде сольфатар көздердің ыстық суымен ағып шығады да сайлар мен аңғарларда тасқындар түрінде қазіргі жанартаулар әрекеті аудандарында тұнады (Курил аралдары,

Жапония). Көбінесе тұнбаның басқа өнімдерімен және SO₂ қоршаған таужыныстармен әрекеттескенде жаралған сульфидтермен бірлеседі. Сольфатарлардағы күкіртсутектің шала тотығу нәтижесінде немесе оның күкіртті газбен реакциясының өнімі ретінде пайда болады:



2. Металдардың күкіртті қосылыстары, негізінен пирит ыдыраған кезде руда кенорындары тотығу белдемінің төменгі бөліктерінде. Әдетте әр түрлі механикалық қоспалармен қатты ластанады.

3. Гипсті шөгінді таужыныстар ыдыраған кезде. Көбінесе сомтума күкірттің гипспен парагенезисі байқалады. Оның жемірілген бөлікшелерінде сомтума күкірт кристалл және ұнтақ массалар түрінде жаралады. Жаралымның бұл процесінде әлі көп нәрсе анық емес.

4. Шөгу (биохимиялық) жолымен қалыпты шөгінді таужыныстарда. Бұл таужыныстар әдетте құрамында гипс, қатты және сұйық битум (асфальт, мұнай) және басқалар бар қабаттардан тұрады. Кенорындардың мұндай типі жер шарында кең таралған және үлкен өнеркәсіптік мәнге ие. Мұнда сомтума күкірттің негізгі массасы сингенезисті, яғни басқа шөгінділермен бір мезгілде жаралғаны көрінеді. Бірақ кейде күкірттің сыйыстырушы таужыныстардағы эпигенезистік жаралымдары да байқалады. Олар күкірттің ең соңғы жылыстауы кезінде тектоникалық процестердің ықпалынан, мұнаймен, ерітінділермен және т.б. тасымалдануы кезінде орын алатыны байқалады.

Күкірттің биохимиялық жолмен жаралуын сульфаттарды түрлендіретін анаэробтық бактериялардың тіршілік әрекетімен байланыстырады. Осының нәтижесінде күкіртсутек жаралып, оның шала тотығуы күкірттің шөгіндіге отыруына әкеледі.

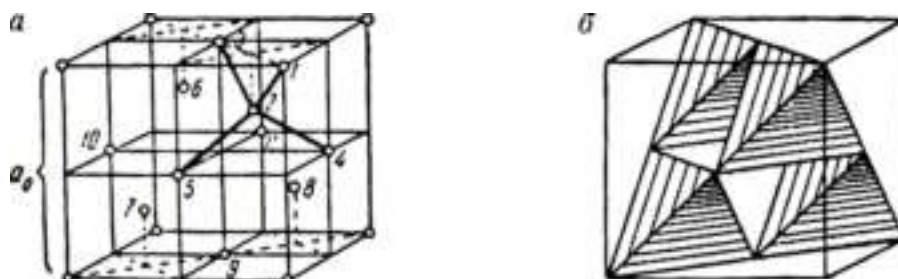
Россияда және онымен көршілес елдерде күкірт жатындары кең таралған. Поволжьеде Самара ауданында ірі шөгінді кенорындар белгілі, мысалы *Алексеев* және *Водин*, мұнда күкірт кальцитпен, гипспен және целестинмен 15 см-ге дейінгі кристалдар түрінде кездеседі. Гипергендік сомтума күкірттің ұяшықты массалары туралы да ескерте кеткен дұрыс. Мұнда пирит кристалдарының таңбасы сақталады, ол мору кезінде *Березовское* кенорнының (Ортаңғы Орал) тотығу белдемінде күкіртке алмасқан. Орта Азия аумағында мыналарды атау керек: *Гаурдак* (Түркіменстан), *Шорсу* (Өзбекстан) - әр түрлі шөгінді таужыныстардың жарықшақтары мен кеуектерінде мұнаймен, озокеритпен, гипспен, целестинмен, кальцитпен, арагонитпен және басқалармен парагенезисте. Шетел кенорындары ішінде белгілі ірілерге *Сицилия* кенорындары, *Техас* пен *Луизиана* (АҚШ) штаттарындағы өте ірі кенорындар, олар тұз күмбездерімен байланысты. *Хоробетсу* (Жапония) ауданында кратер көлінде жаралған күкірттің орасан зор жатыны үлкен қызығушылық туындатады. Осындай күкірт шоғырлары Курил аралдарында да бар.

Практикалық мәні. Күкірт ең бастысы өнеркәсіптің көптеген салаларында пайдаланылатын күкірт қышқылы өндірісінде қолданылады. Содан кейін ауыл шаруашылығында (зиянкестермен күресуге), резина өндірісінде (резинаны вулканизация процесінде), сіріңке өндірісінде, отшашуларда, бояулар жасауға және басқа салаларда пайдаланылады.

6. Көміртек тобы

Мұнда сомтума элементтер арасында айрықша орын алатын минералдар жатады. Бұл топ көміртектің физикалық қасиеттері бойынша күрт өзгешеленетін екі полиморфты модификациясынан тұрады: алмастан және графиттен.

Алмастың кристалдық құрылымы (81-сурет) жақцентрленген куб торымен сипатталады, бірақ көміртек атомдары кубтың төбелері мен жақтарында ғана орналасып қоймайды, сондай-ақ кіші кубтар (октанттар) жарты санының центрлерінде де орналасып, бос кіші кубтармен кезектеседі. Бұл құрылым көрнекі түрде 81 б-суретте тетраэдрлер комбинациясы түрінде көрсетілген. Оларда төбелері бойынша орналасқан төрт атомнан басқа, центрінде бесінші атом орналасады (82 в-сурет). Тетраэдрдің әр төбесі төрт көршілес тетраэдрге ортақ болады.



81-сурет. Алмастың кристалдық құрылымы: *a* - атомдар центрін бейнесі; *б* - тетраэдрлер түріндегі сол құрылымның өзі, олардың төбелері мен центрлері көміртек атомдарының центрлері болады

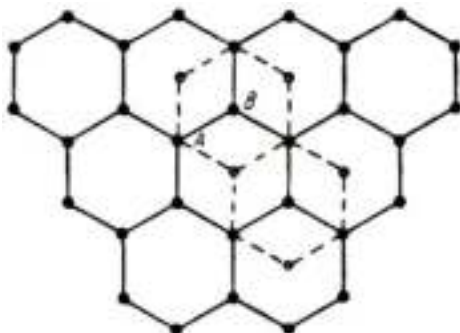


82-сурет. Атомдардың тетраэдрлік орналасуын бейнелеудің түрлі тәсілдері. Атомдар центрлері аралығының қашықтығы барлық үш фигурада бірдей.

Алмастың кристалдық құрылымындағы көміртек атомдары валентті электрондардың sp^3 -будандасу күйінде болады. Олар бір-бірімен тетраэдрдің центрін оның төбелерімен қосатын бағыттар бойынша тек қана коваленттік қатаң байланыстармен қосылған. Байланыстыратын электрондық жұптар көміртектің ең жақын атомдары центрлерін қосатын кесінділердің орталығында болады және олар берік оқшауланған. Осы электрондар күйі

мен өткізгіштік электрондар деңгейі аралығындағы энергетикалық саңылау өте үлкен шаманы – 3,6 ЭВ құрайды. Сондықтан алмас нағыз диэлектрик болып табылады. Осы жағдай алмастың түссіздік пен мөлдірлік, төмен электрөткізгіштік, орасан жоғары қаттылық, температура мен қысым кең ауытқыған кезде аса жоғары орнықтылық (атап айтқанда, оттексіз 2500⁰С шамасына дейін қыздырғанда ешқандай өзгеріс байқалмайды), қышқылдар мен сілтілерге қатысты өте жоғары орнықтылық және басқалар сияқты бірқатар өзіндік қасиеттерін туындатады.

Графиттің құрылымы алмастың құрылымынан аса елеулі айрықшалаынады. Көміртек иондары графитте жазық гексагондық торлардан тұратын қабаттар жасап жатады (83-сурет). Жазық тордағы әр ионды үш көрші ион 1,42Å қашықтықта қоршайды (алмаста бұл қашықтық 1,54Å), ал жазық торлар аралығындағы қашық болса – 3,40Å (екі еседен асады). Графитте көміртек атомдарының күйі мынадай (sp^2 -будандасу) – олардың әрқайсысы тек қана үш коваленттік σ -байланыс жасауға қабілетті. Әр атомның үшінші электроны π -байланысқа қатысады, оның электрондық бұлты қатынастағы каналдар түрінде көміртек атомдарының центрлері бар қабаттың екі жағы бойынша шоғырланады. Электрондар бұл каналдарда сейіле орналасқан және қабат жазықтығы бойынша металдық типті өткізгіштікті қамтамасыз ете жылыстай алады.

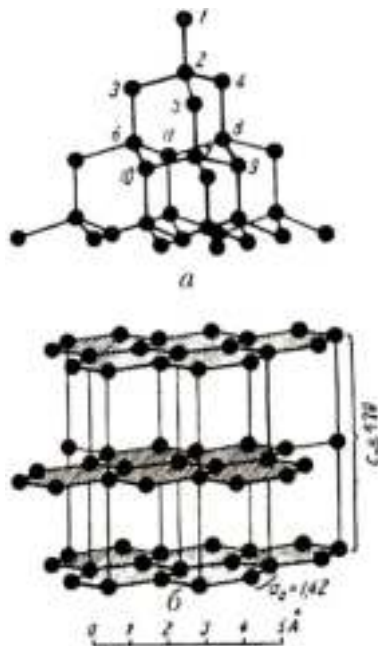


83-сурет. Графит құрылымы қабаттарындағы атомдар центрінің орналасуы. Әр келесі қабат алтылық сақина диаметрінің жарты қашықтығына ығысқан.

Осыдан кейін графиттің бірқатар қасиеттері түсінікті болып шығады: оның алмаспен салыстырғандағы біршама аз меншікті салмағы, жұқа қабыршақтарға өте жеңіл тарамдалуы және күрт білінген оптикалық анизотропиясы. Сондай-ақ қаттылығының анизотропиясы да айқын, оны өте дәл нәзік зерттеулер кезінде анықтауға болады (Моос бойынша жіктілік жазықтығына перпендикуляр бағытта 5,5 болса, ал қабаттар ілінісінің өте нашарлығына байланысты графиттің жұмсақ болатындығы сондай, ол қағазға жазады және саусақтарға жұғады). Жарықты жұту әркелкілігі де осымен түсіндіріледі және минералдың сұр түсі осыған байланысты. Осылайша графит атомдарының байланыс типі алмаспен салыстырғанда белгілі бір шамада металдық сипатқа ие болады, яғни байланыстарға сондай-ақ «металл» электрондар қатысады. Мұнымен шала металша жылтырлығы, жоғары электрөткізгіштік және басқалар сияқты қасиеттері толық

байланысты болады. Бірақ графит химиялық және термикалық төзімділігі бойынша бәрібір алмасқа жақын.

Егер біз алмастың құрылымын *84 а-суретте* көрсетілгендей түрде, яғни үшемдік ось бойымен бейнелесек (атомдардың орташа номерлері *84 а-суретте*), онда көлбеу жазық торларда гексагондық сақиналарды да байқаймыз (6, 11, 8, 9, 7 және 10 атомдары). Бірақ бір айырмашылығы, бұл торлар онша жазық емес: үш атомы басқа үшеуімен салыстырғанда біршама жоғары орналасады. Неге алмас кристалдарында жіктілік {111} бойынша орташа, ал графитте болса – {0001} бойынша жетік екені осымен түсіндіріледі.



84-сурет. Алмаста (*а*) жазық торлары (111) көлбеу орналасқанда және графитте (*б*) атомдар центрлерінің орналасуы

АЛМАС – С. Атауы грекше *адамас* – алынбайтын дегеннен шығады (мұнда оның өте жоғары қаттылығы және физикалық пен химиялық агенттерге қатысты беріктігі айтылған болса керек).

Түрлестері: 1) *борт* – бұрыс пішінді кірікпелері және шар тәрізді сәуле агрегаттары; 2) *карбонадо* – майда түйірлі кеуек агрегаттары, аморфтық графиттен және бөтен қоспалармен бурыл-қара түске боялған.

Химиялық құрамы. Түссіз түрлестері таза көміртектен тұрады, азоттың және кейде бордың қоспалары біршама таралып, тиісінше сары және қызғылт рең пайда болуына әкеледі. Жанбайтын қалдығындағы қанық боялған және беймөлдір түрлестері кейде бірнеше процентке жетіп, құрамында SiO₂, MgO, CaO, FeO, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂ және басқалар болады. Алмаста көбінесе кірікпелер түрінде графит және кейбір басқа минералдар байқалады.

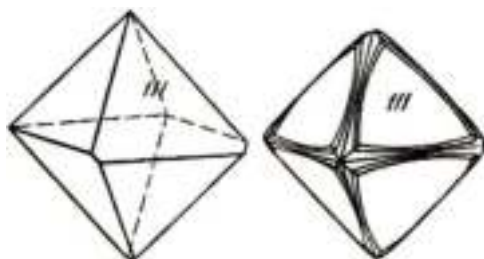
Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексоктаэдрлік 3L⁴4L³6L²9PC. Кеңістіктік тобы *Fd3m(O⁷_h)*. $a_0=3,559$.

Кристалдарының келбеті октаэдрлік (*85-сурет*), кейде жақтарында керіқаңқа өсудің үшбұрышты мүсіндері болады, додекаэдрліктері біршама

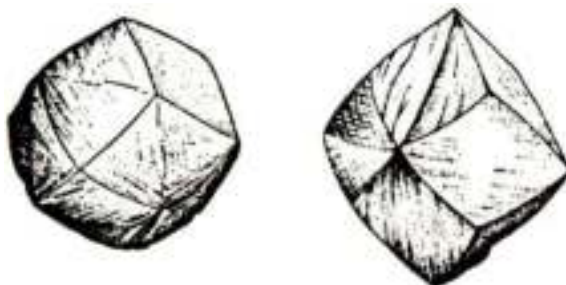
сирек; кейде кубтық және одан да сирек тетраэдрлік. Өзіне тән пішіндері: $\{111\}$, $\{100\}$ және $\{110\}$. Көбінесе додекаэдроидтар және октаэдроидтар деп аталатын қисық жақты кристалдары анықталады (86-сурет). Кірігу қосақтары (111) бойынша, кейде (100) бойынша байқалады. Жекелеген кристалдарының өлшемі өте ұсақтан өте іріге дейін ауытқиды. Ірілерінің салмағы жүздеген және тіпті мыңдаған карат болады (метрикалық карат 0,2 г). Ең ірі кристалдарының салмағы (карат): «Куллинан» - 3025; «Эксцельзиор» - 969,5; «Виктория» - 457; «Орлов» - 199,6 және басқалар.

Түсі. Түссіз судай мөлдір немесе көкшіл, көгілдір, сарғыш, қызғылт, қошқыл және қара түске боялады. **Жылтырлығы** алмасша күшті. Сыну көрсеткіші $N=2,40 - 2,48$.

Қаттылығы 10. Абсолют қаттылығы кварцтың қаттылығынан 1000 есе және корундтан – 150 есе асады. Морт. **Жіктілігі** орташа $\{111\}$ бойынша. **Меншікті салмағы** 3,47-3,56. Электрөткізгіштігі нашар, жартылайөткізгіш типті, ал қоспасыз түрлестерінде тіпті жоқ.



85-сурет. Октаэдрлік кейіпті алмас кристалдары



86-сурет. Алмастың қисықжақты кристалдары (А.Е. Ферсман бойынша)

Диагноздаушы белгілері. Алмас қаттылығы айрықша жалғыз минерал болып табылады. Оған және алмасша күшті жылтырлық және көбінесе кристалдарының қисық жазықты жақтары тән. Ұсақ түйірлері шликте ультракүлгін сәуледе күрт білінетін люминесценциясы бойынша танылады. Люминесценциялану түстері әдетте көгілдір-көк, кейде жасыл болады.

Жаралуы және кенорындары. Түбірлік кенорындары сілтілігі жоғарылау ультрадәрізді тереңдік магмалық таужыныстармен: кимберлитпен, лампроитпен, кейде перидотитпен және басқалармен генетикалық байланысты. Кимберлит тек алмасты оның тұрақты генерация алқабынан Жер бетіне «жеткізу құралы» рөлін атқаруы ықтимал. Айту кету керек, материалдың көтерілуі, яғни алмастың тұрақты алқаптан жер бетіне

көтерілуі оның графиттенуге өтпей метатұрақты күйде қалатындай жылдам болуы тиіс.

Алмасты синтездеу тәжірибесі көрсеткендей, оның жаралуы тұрақтылық (метатұрақтылық туындауы және өсуі) алқабынан тыс, оның ішінде флюидтік (газдық) фазадан тыс жерде де жүре алуы мүмкін. Бұл алмас кристалдарының кимберлит атқылаған кезеңде де өсе алатыны мүмкін екенін көрсетеді.

Алмаспен бірге байқалатындар: графит, оливин $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$, хромшпинелидтер $(Fe,Mg)(Cr,Al,Fe)_2O_4$, ильменит $(FeTiO_3)$, пироп (қызыл магнезийлі анартас), магнетит $(FeFe_2O_4)$, гематит (Fe_2O_3) және басқалар.

Алмастың ең ірі кенорындары Оңтүстік Африканың бірқатар аудандарында Вааль өзені бойында, Оңтүстік-Батыс Трансваальда және Африканың оңтүстік-батыс жағасында белгілі. Олар құрамында алмас бар жартылай ыдыраған кимберлиттен тұрады. Бұл таужыныстар сынықты таужыныстармен бірге өлшемдері орасан зор төмен қарай бірнеше километрге тік кететін қимасы эллипс немесе бұрыс пішінді құбыр тәрізді қуыстарды (диатремаларды) толтырады. Кейбір кенорындарда алмас қазіргі кезде бір километрден асатын тереңдікте (Кимберли) өндіріледі. Өндірілген руда («көк жер») уатылады және арнайы байыту фабрикаларында шайылады. Таужыныстағы алмастың мөлшері 0,000052 % (салмағы бойынша). Осы жерден әлемдегі ең ірі алмастар шыққан («Куллинан», «Эксцельзиор» және басқалар). Оңтүстік Батыс Африкада түбірлік кенорындардан басқа сондай-ақ бай шашылымдар *Вааль* мен *Жирен* өзендері жүйесінде кең таралған. Алмастың үлкен өндірісі сондай-ақ Конгода жүргізіледі. Солтүстік Батыс Австралияның *Аргайл* және *Эллендэйл* аудандарында лампроит (*лампроит* – кимберлиттің жоғары калийлі түрлесі, флогопит пен клинопироксеннен тұрады) түтіктерінің ашылуы бұл елді алмас өндіру бойынша бірінші орындарының біріне шығарады.

XX ғасырдың 50-60-шы жылдары Якутияның (*Сақа Республикасының*) солтүстік бөлігінде көптеген диатремалар ашылған. Олар оңтүстікафрикалық сияқты, бірақ құрамында алмас бар жастау кимберлитке толған. Жекелеген түтіктер арнайы атауларға ие болған: «Мир», «Зарница» және басқа. Алмас өндірісі Якутияда содан бері айтарлықтай өсті және толық қанды жүріп жатыр. Құрамында алмас бар кимберлит *Архангельск* облысында да табылған.

Экзогендік жағдайларда төзімді алмастың шашылымдық кенорындары құрамында алмас бар таужыныстар қирап шайылғанда жаралады. Олар Оңтүстік Африкада, Бразилияда (*Диамантина*, Минас-Жерайс штаты, Индияда (*Голконда*) және басқа жерлерде белгілі. Оларда өндіру көне замандардан жүргізіліп келеді. «Орлов», «Кохинур» деген ірі алмастар сол жерлерден.

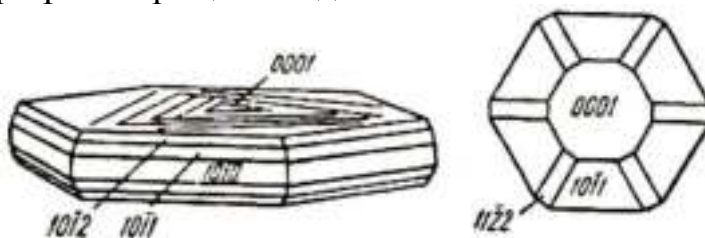
Практикалық мәні. Нағыз мөлдір алмас қырлағаннан кейін зергерлік істе асыл тас (бриллиант) ретінде қолданылады. Техникалық мақсатта ұсақ алмас, сондай-ақ борт және карбонада тұтынылады. Ең бастысы олар металл өңдеу, тас өңдеу, түрпі және өнеркәсіптің басқа салаларында пайдаланылады.

ГРАФИТ – С. Атауы грекше *графо* – жазамын дегенінен шығады. Түрлестері: *графит* – жасырын кристалды түрлесі; *шунгит* – аморфтық, қоспаларға бай түрлесі, оның көмірді табиғи кокстеу нәтижесінде жаралғаны көрінеді.

Химиялық құрамы. Графит таза күйде сирек кездеседі. Оның құрамында елеулі мөлшерде (10-20 % шамасына дейін) көбінесе күл болады, ол әр түрлі компоненттерден (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , P_2O_5 , CuO және басқалар), кейде су, битум және газдар (2 %-ке дейін) болады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-дипирамидалық L^66L^27PC . Кеңістіктік тобы $P6_3/mmc(D^4_{6h})$. $a_o=2,47$; $c_o=6,79$.

Кристалдарының келбеті. Жақсы жаралған кристалдары өте сирек кездеседі. Олар алтыбұрышты қалақша немесе тақташа түрінде болады (87-сурет), кейде (0001) жағында үшбұрышты айғыздар кездеседі. өзіне тән пішіндері: {0001}, кейде {1011}, {1122} және басқа. **Агрегаттары** көбінесе майда қабыршақты. Кейде сырықша немесе талшықты массалары таралған. **Түсі** темір-қарадан болат-сұрға дейін. **Сызығы** қара жылтыр. **Жылтырлығы** күшті металл тәрізді; жасырын кристалды агрегаттары күңгірт. Оптикалық теріс. Сыну көрсеткіші N_m – 1,93-2,07. Өте жұқа парақшалары сұр түсті жарық өткізеді.



87-сурет. Графит кристалы

Қаттылығы 1. Жұқа парақшалары майысқақ. Саусаққа майлы сипалады. Қағазға және қолға жұғады. **Жіктілігі** жетік {0001} бойынша. **Меншікті салмағы** 2,09-2,23 (дисперсиялық дәрежесіне және өте майда кеуектерінің болуына байланысты), шунгиттің – 1,84-1,98. **Басқа қасиеттері.** Жоғары электрөткізгіштікке ие.

Диагноздаушы белгілері. Түсі, төмен қаттылығы және сипағанда майлы болатындығы бойынша оңай танылады. Оған ұқсас молибдениттен (MoS_2) күңгірттеу темір-қара түсімен, нашарлау жылтырлығымен, аз меншікті салмағымен (бромфорда қалқып шығады) және жоғары электрөткізгіштігімен (молибденит электрді нашар өткізеді) ажыратылады. Графиттің қағаздағы сызығы үйкелеген кезде түсін өзгертпейді. Егер графитке CuSO_4 тамшысы арқылы мырыш таяқшаны тигізгенде оның бетінде металл мыс үлдірі жылдам бөлінеді. Оттек сорғаламасында қыздырған кезде алмасқа қарағанда қиындау жанады. Вольт доғасы жалынында ғана балқымай ұшып кетеді. Қышқылдарда ерімейді. KNO_3 қоспасындағы ұнтағы қыздырған кезде жаркыл береді.

Жаралуы және кенорындары. Графит табиғатта тотықсыздану процестері кезінде жоғары температура жағдайында жаралады.

Кейде құрамы әр түрлі, негізінен сілтілі *магмалық* таужыныстар арасында кездеседі. Көміртек көзіне көптеген жағдайларда құрамында көміртек бар таужыныстар жатады.

Графиттің *пегматиттерде* табылған жағдайлары белгілі. Эктастың магмалық таужыныстармен жапсарында *метасоматоздық* кенорындары, сондай-ақ ірі парақты графиттің желілік кенорындары кездеседі.

Графиттің метаморфтық кенорындары кең таралған. Олар аймақтық метаморфизм жағдайларында немесе магма интрузияларының ықпалынан тас көмір немесе битумды таужыныстар есебінен пайда болады.

Россияда графиттің ірі кенорындары қатарына Тункин тауларындағы (Прибайкалье) *Алиберовск* жатады. Графит магмалық таужыныстар (сиенит) арасында штоктар түрінде жатады және сапасы бойынша тамаша қабыршақты немесе ұсақ кристалды графиттің магмалық минералдармен (микроклин, нефелин және басқалар) қоспасы болып табылады. Кей жерлерде осы денелердің шеткейлерінде зор түйірлі эктаспен сүйемелденеді. Магмалық таужыныстардың өзінің құрамында да графит болады. Графиттің тығыз массалары арасында таралған секреция типті графит жаралымдары өте қызықты. Бұл бұрыс пішінді денелер сыртқы қабықшасында тангенциялық бағдарланған қабыршақтардан тұрады және ішкі бөлігінде радиус-сәуле құрылымды болады. Графиттің жаралуын магма эктасты жұтқан кезде бөлінетін көміртек окисінің тотықсыздануымен байланыстырады. Негізді таужыныстардың эктасқа немесе тас көмірге әрекет етуімен *Курейка* кенорнында (Путорана үстірті, Ортаңғы Сібір) графиттің базальт дайкалары бойымен орналасуы байланысты екені көрінеді. Ірі *Чебере* (Алдан) кенорнында метаморфогендік графит кварцпен гиперстен-биотитті плагиогнейстің қалың қабаттарында жоғары концентрациялар жасайды, бұл оның айтарлықтай қорын қамтамасыз етеді.

Азов теңізінің (Мариупольден солтүстікке қарай) солтүстік-батыс жағалауы бойынша және Украинаның басқа жерлерінде сеппелік ірі қабыршақты графит рудасы өндіріледі. Руда жер бетінде мұрыған қабаттар түрінде көне метаморфтық таужыныстарда – гнейстерде жатады. Графит өндірудің әлемдік орталықтарының біріне *Цейлон* (Шри-Ланка) аралы жатады. Оның көптеген жерлерінде гнейс пен эктас қабаттары аралығында тұтас графиттің үзік-үзік еңіс желілері дамыған. Елеулі кенорындары сондай-ақ Канадада (*Квебек* және *Онтарио* провинциялары), Англияда (*Камберленд*) және басқа жерлерде белгілі.

Практикалық мәні. Графит өндірістің сан қилы түрлерінде: графит тигельдерін жасау үшін, металл құю ісінде, қарындаш пен электрод өндірісінде, үйкелісетін бөлшектерді майлауға, бояу өнеркәсібінде және т.б. қолданылады.

II БӨЛІМ

СУЛЬФИДТЕР, СУЛЬФОТҰЗДАР ЖӘНЕ СОЛАРҒА ҰҚСАС ҚОСЫЛЫСТАР

Жалпы ескертпелер. Қарастырылып отырған бөлімге металдардың күкіртті, селенді, теллурлі, күшәлалы, сүрмелі және висмутты қосылыстары кіреді. Оларға минералдардың өнеркәсіптік жағынан аса мәнді саны жатады. Бұл минералдар металл пайдалы қазба кенорындары құрамында елеулі рөл атқарады.

Көптеген теллуридтер, арсенидтер, антимонидтер және висмутидтер негізінен металл типті байланысқа ие және жіктелімнің бірінші бөлімінде интерметалдар түрінде қарастырыла алады.

Минералдардың ең көп саны *күкіртті* қосылыстардан (сульфидтерден, сульфотұздардан) тұрады. Сульфидтердің барлығы, күкіртсутекті қоспағанда, табиғатта қатты күйде таралған.

Сульфотұздар (тиотұздар) деп гипотезалық сульфоқышқылдар (тиоқышқылдар) тұздарын атайды, оларда сульфоангидридтер рөлін As_2S_3 , Sb_2S_3 , Bi_2S_3 және басқалар атқарады.

Қандай да бір түрде күкіртпен оттексіз қосылыстар беретін химиялық элементтердің жалпы саны 40-қа жетеді. Олардың ең бастылары мыналар: H, V, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Re, Os, Ir, Pt, Hg, Tl, W, Pb және Bi.

Күкіртті қосылыстардың жалпы салмақтық саны В.И. Вернадскийдің жуықтатылған есебі бойынша, ең көбі 0,15 % шамасын құрайды (жер қыртысы салмағына қатысты). Бұл қосылыстардағы металдардың ішінде басым мәнге Fe ие. Қалған барлық металдардың күкіртті қосылыстары, күкіртсутекті санамағанда, салмақтық жағынан жер қыртысында өте мардымсыз (0,001 % шамасында ғана). Олардың ішінде күкіртпен типтік қосылыстар жасайтындар: Zn, Pb, Cu, Ag, Sb, Bi, Fe, Ni, Co, Mo және Hg.

Селенді қосылыстар (селенидтер) мына элементтер үшін белгілі: H, Cu, Ag, Pd, Hg, Co, Cd, Fe, Zn, Pb және Bi. Олардан басқа, селен көбінесе күкіртті қосылыстарда күкіртке изоморфты қоспалар түрінде кездеседі.

Теллурлі қосылыстар (теллуридтер) селенидтермен салыстырғанда табиғатта біршама таралған. Дегенмен теллурмен қосылатын элементтер саны шектеулі кездеседі. Бұл элементтер: Cu, Ag, Au, As, Hg, Pb, Bi, Ni, Co, Fe және Pt. Олардың барлығы дербес минералдар жасайды.

Күшәлалы қарапайым қосылыстар (арсенидтер) саны бойынша шағын келесі элементтер үшін анықталған: Fe, Ni, Co, Cu, Ru, Pd, Rh, Ir және Pt. Сульфотұздар – сульфоарсенидтер түріндегі күрделі қосылыстар кеңірек таралған, негізінен олар келесі металдар үшін: Cu, Ag және Pb.

Висмутты қарапайым қосылыстар табиғатта іс жүзінде белгісіз, интерметаллидтерге жатқызылатын платинаның, палладийдің және алтынның висмутидтерін қоспағанда. Тек Cu, Ag және Pb сульфовисмутиттері ғана байқалады.

Қарапайым селенді, теллурлі, күшәлалы, сүрмелі және висмутты қосылыстардың саны күкіртті қосылыстармен салыстырғанда өте аз.

Қосылыстардың химиялық ерекшеліктері. Егер біз Д.И. Менделеевтің химиялық элементтер кестесіне (88-сурет) назар салғанда байқайтынымыз, күкіртті қосылыстар осы кестенің тек қана оң бөлігінде дерлік орналасқан элементтерге, әсіресе периодтық жүйенің қосымша қатарлар деп аталатындардағы металдар үшін тән екендігі. Дәл осыны селенидтер, теллуридтер, күшәлалы және басқа қосылыстар туралы да айтуға болады.

	H ¹																				
He ²	Li ³	Be ⁴	B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹														
Ne ¹⁰	Na ¹¹	Mg ¹²	Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷														
Ar ¹⁸	K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵				
Kr ³⁶	Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Nb ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³				
Xe ⁵⁴	Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	Tl ⁵⁷	Hf ⁵⁸	Ta ⁵⁹	W ⁶⁰	Re ⁶¹	Os ⁶²	Ir ⁶³	Pt ⁶⁴	Au ⁶⁵	Hg ⁶⁶	Tl ⁶⁷	Pb ⁶⁸	Bi ⁶⁹	Po ⁷⁰	At ⁷¹				
Rn ⁸⁶	Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²															

88-сурет. Минералдар – сульфидтер және соларға ұқсас қосылыстар тән элементтер (қалындау қаріппен көрсетілген)

Кестенің сол бөлігінде сутек қана тұр, оның H_2S күкіртті қосылысы судың аналогы болып табылады да металдар сульфидін жасауда зор рөл атқарады.

Күкірттің ауыр металдармен анық білінген туыстығы мынада көрініс табады – күкірт олармен суда ерімейтінге жуық қосылыстар жасайды. Оларға керісінше, жеңіл металдардың (Na, K, Mg және т.б.) осындай қосылыстары суда еріген күйде ғана анықталады.

Химиялық жағынан мұнда қарастырылып отырған қосылыстарды оттекті қосылыстармен – қарапайым окиселдермен және оттек тұздарымен жиі салыстырады. Шынында да қосылыстардың осы титерінің химиялық формуласында жалпы ұқсастық белгілері бар (мысалы, Cu_2O және Cu_2S , HgO және HgS , Sb_2O_3 және Sb_2S_3 және басқалар).

Қарапайым күкіртті, селенді және теллурлі қосылыстардың көпшілігі химиялық көзқарас жағынан H_2S , H_2Se және H_2Te қосылыстарының туындылары болып табылады (мысалы: халькозин Cu_2S , сфалерит пен вюрцит ZnS , антимонит Sb_2S_3 , тиманнит HgS_2 , клаусталит $PbSe$, алтаит $PbTe$ және басқалар).

Күрделі күкіртті қосылыстарға қосарланған қосылыстар немесе химиялық көзқарас бойынша айрықша *сульфотұздар* класына жатқызылатындар кіреді. Кез-келген сульфотұз химиялық жағынан іс жүзінде екі немесе көптеген қарапайым күкіртті қосылыстардың – сульфонегіз A_xS_y (мұнда А символымен кейбір металл белгіленген) және сульфоангидрид B_kS_l (В – шаламеталл As, Sb немесе Bi) қосылыстардың өзара әрекеттесуінің өнімі ретінде сырттай ғана өкілі бола алады. Осының

нәтижесінде құрамы алдын ала белгілі кез-келген сульфотұзды ала аламыз: мәселен, $2\text{PbS} + \text{Bi}_2\text{S}_3 = \text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$ (*козалит*).

Бұдан басқа $\text{A}[\text{X}_2]$ типті қарапайым қосылыстар – *дисульфидтер* таралған. В.И. Вернадский оларды H_2S_2 туындыларына жатқызған. Ол окиселдермен салыстыра отырып, бұл қосылыстарды асатотықтардың (жерсульфидтердің) баламалары ретінде санаған. Шынында дисульфидтер қыздырған кезде күкірттің бір бөлігін оңай бөледі – оттектің бір бөлігін жоғалтатын асатотықтар (перекистер) сияқты.

Арсенидтер мен антимонидтер (металдардың күшәламен және сүрмемен қарапайым қосылыстары) химиялық табиғаты бойынша күкіртті қосылыстардан айтарлықтай ерекшеленеді. Күшәла да, сүрме де ерте кезде саналып келгендей, күкірттің изоморфты алмастырушысы бола алмайды. Мұндай қосылыстарға жататындар, мысалы: NiAs , NiSb , $\text{Fe}[\text{As}_2]$, $\text{Co}_4[\text{As}_4]_3$ және басқалар. Персульфидтер мен диарсенидтерге химиялық және физикалық қасиеттері бойынша *сульфоарсенидтер* ($\text{Fe}[\text{AsS}]$ және басқалар) мен сульфоантимониттер ($\text{Ni}[\text{SbS}]$ және басқалар) өте жақын.

Қарастырылып отырған кластың көптеген қосылыстары бір-бірімен үзіліссіз қатарлар түрінде немесе қатты күйінде шектеулі араласатын қатты ерітінділер жасайды. Оларға, мысалы, мына қатарларды жатқызуға болады: $\text{HgS} - \text{HgSe}$, $\text{Co}[\text{As}_2] - \text{Ni}[\text{As}_2] - \text{Fe}[\text{As}_2]$ және көптеген басқалар. Сонымен, полиморфты және политипті модификациялар кең таралған.

Кристалдық құрылысының және физикалық қасиеттерінің ерекшеліктері. Рентгенметриялық зерттеулердің қолда бар деректері көрсеткендей, сульфидтер мен оларға ұқсас қосылыстар иондық-коваленттік қосылыстарға жатқызылуы тиіс, кейде металдық байланыстар да қатысады. Көпшілігінде олар нағыз иондық оттек қосылыстарынан бірқатар өздеріне аса тән қасиеттерімен күшті ажыратылады және окиселдер мен оттек тұздарына қарағанда сомтума элементтерге әлдеқайда жақын тұрады. Бұл ерекшеліктер күкіртті, селенді, теллурлі, күшәлалы және сүрмелі қосылыстар құрамына кіретін атомдардың немесе иондардың өзінің қасиеттеріне байланысты.

S, Se, Te, As және Sb иондары оттекпен салыстырғанда айтарлықтай үлкен радиусқа, үйектелудің жеңілдеу қабілетіне және нашар гомополюстік байланыстар жасау қабілетіне ие. Басқа жағынан, олармен қосылыстар жасайтын металдар ионы Менделеевтің кестесінде орынды оң бөлігінде (темір тобында және үлкен периодтардың қосымша қатарларында) алады және сыртқы қабығы 18 электронды күшті полюстенетін иондар қатарына жатады. Комплексті иондар күрделі күкіртті қосылыстарда – сульфотұздарда байқалғанымен, олар берік байланыстарға ие болмайды, мәселен силикаттарға және басқа оттекті қосылыстарға қарағанда.

Полюстену (үйектелу) құбылысы мынаған әкеледі – кристалды құрылымдарда көршілес қарама-қарсы зарядталған иондар электрондарының елеулі бірігуі және ыдырауы орын алады. Ол туралы сульфидтер мен оларға ұқсас қосылыстардың көпшілігі үшін айқын білінетін *металша*

жылтырлығы бойынша қорытынды жасауға болады. Мұндай жылтырлық жалпы алғанда нағыз металдарға тән. Мұнымен күкіртті, күшәлалы және басқа қосылыстардың көпшілігінің *электрөткізгіштігімен* де жеңіл байланыстырылады. Кейде байқалатын бейметалдар атомдарымен салыстырғанда металдар атомдарының жеткіліксіздігі (мысалы, пирротинде – $Fe_{1-x}S$), минералдар құрамында қатал дальтондық қатынастардың көбінесе болмауы және т.б. осымен түсіндіріледі.

S, Se, Te қосылыстарында металл қасиеттері күкіртті селенмен және теллурмен алмастыру барысында артады. Темір тобы қатарында бұл қасиеттердің күшеюі Mn-тің Ti-ға жақындай түсуі барысында орын алады. Дәл осыны As, Sb және Bi қатарында да байқай аламыз, мұнда металл қасиеттері висмутқа жақындаған сайын арта түседі. Шынында, висмутин (Bi_2S_3) антимонитке (Sb_2S_3) қарағанда күштірек металша жылтырлығымен сипатталады, ал аурипигментті (As_2S_3) алсақ, ол шаламөлдір және тек алмасша жылтырлығымен ғана сипатталады.

Табиғатта кездесу жағдайлары туралы. Күкіртті және соларға ұқсас қосылыстар шоғырларының басым массасы гидротермалық жаралымды руда кенорындарында байқалады. Бұл жағдай мынадай жорамал жасауға негіз болады – ауыр металдар магма ошақтарынан ұшпа немесе жеңіл жылжығыш қосылыстар түрінде шығарылады және төмен қысым мен температура жағдайларында негізінен күкіртті қосылыстар түрінде тұнады. Эксперименттік деректер негізінде мынаны айтуға болады – бұл қосылыстардың тасымалдануы гидротермалық ерітінділерде ауыр металдардың Cl, F, B және басқалармен қосылысында шынайы ерітінділер түрінде іске асырылады. Олардан төмендеу температурада еріген H_2S -тің H^+ және S^{2-} иондарына ыдырауының артуы салдарынан күкіртті қосылыстар алмасу ыдырау химиялық реакцияларының қиын еритін өнімдері ретінде шөгеді (А.Г. Бетехтин). Мұндай ерітінділерде күкіртті сілтілі комплексті тұздары немесе олардың сульфогидраттары ($NaHS$, KHS және басқалар) да қатысуы мүмкін, ал оларда *алтын* да жеңіл ериді. Бұл қосылыстар төмен температура жағдайында ыдыраған кезде, металдардың кәдімгі сульфидтерімен қатар сомтума түрінде *алтын* да жарала алады (оның сульфидтері табиғатта белгісіз, дегенмен теллуридтері кездеседі).

Басқа жағдайларда сульфидтердің жаралуы шөгінді саз таужыныстарда, сондай-ақ битумды және көмірлі түзілімдерде жүреді. Бұл таужыныстарда кәдімгі сульфидтерге пирит пен марказит $Fe[S_2]$ жатады. Олар тотықсыздану жағдайларында H_2S болған кезде жаралады. Ал H_2S органикалық қалдықтардағы белок заттардың оттексіз ортада немесе ол жеткіліксіз болған кезде және көпшілік жағдайларда бактериялардың да қатысуымен ыдырауы нәтижесінде жаралады.

Мору процестерінде, яғни су мен оттектің қатысуымен осында болатын минералдардың барлығы дерлік жеңіл тотығады. Бастапқыда көбінесе суда жеңіл еритін сульфидтер жасап ыдырайды, ал содан соң гидроокиселдерді, окиселдерді және басқа оттегі қосылыстарын түзеді. Бұл жаралымдар руда кенорындарының тотығу белдемі деп аталатынының құрамын сипаттайды.

Оларға жатпайтындарды тек мұндай жағдайларда химиялық орнықты кейбір минералдар ғана құрайды: *киноварь* (HgS), *сперрилит* (Pt[As₂]) және *лаурит* (Ru[S₂]).

Сульфидтердің және оларға ұқсас қосылыстардың жіктелімі. Мұнда қарастырылатын қосылыстардың барлығын олардың жекелеген типтерінің химиялық сипаттамасына негіздей отырып ең алдымен екі класқа бөлу қажет.

1-класс. Қарапайым күкіртті, селенді, теллурлі, күшәлалы және сүрмелі қосылыстар; оларға қосарланған қосылысты типті минералдарды да қосамыз.

2-класс. Сульфотүздар, яғни химиялық конституциясы бойынша қосылыстардың тұз тәрізді типтеріне жақын минералдар.

1-КЛАСС. Қарапайым күкіртті және соларға ұқсас қосылыстар

Күкіртсутекті қоспағанда, барлық қарапайым күкіртті және соларға ұқсас қосылыстар жер қыртысында қатты кристалл заттар түрінде таралған және минералдар болып табылады. Олардың ішінде химиялық қосылыстарының типі бойынша минералдардың әр түрлі негізгі топтары бөлінеді (сульфидтер, арсенидтер және антимонидтер).

1. Халькозин тобы

Бұл топқа мыс пен күмістің A₂S, A₂Se және A₂Te типті минералдары бірігеді. Олардың көпшілігі табиғатта екі модификацияда болады: жоғарылау температуралы кубтық және төмен температуралы ромбылық немесе моноклиндік.

ХАЛЬКОЗИН – Cu₂S. Атауы грекше *халькос* - мыс дегеннен шыққан. Синонимі: мыс жылтырағы.

Cu₂S үшін үш модификация бар – бір төментемпературалық, 91⁰C-тан төменде орнықты ромбылық сингониялы (дербес халькозин немесе β-халькозин) және екі жоғарытемпературалық (91⁰C-тан жоғары): гексагондық пен кубтық (α-халькозин). Құрамы Cu₂S формуласына дәл сай келетін гексагондық модификация орнықсыз және ыдыраған кезде кубтық модификацияға өтеді; α-халькозин (дигенит) антифлюориттік құрылымға және Cu_{2-x}S құрамына ие, мұнда x=0,03-0,11 (α₀=5,55). α-халькозиннің орнықтылық шартына статистикалық өтім ~10% Cu жағдайы жатады, мұнда басқа 10% бір валентті мыс екі валенттіге алмасады.

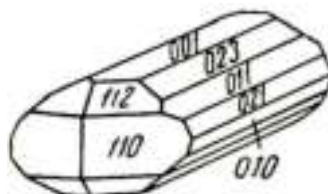
Жоғарытемпературалық гексагондық Cu₂S модификациясы күкірт аниондарының ең тығыз гексагондық жайласу құрылымына ие. Мыс иондары күкірт аниондарынан тұратын барлық үшбұрыштар орталықтарында жайласудың әр қабатында орналасады, a₀=3,89, c₀=6,68.

Табиғи халькозин көбінесе төментемпературалық ромбылық (β-халькозин) пен α-халькозиннің қоспасы болып табылады.

Химиялық құрамы. Cu-79,9 %, S-20,1 %. Әдетте мына қоспалар болады: Ag, кейде Fe, Co, Ni, As, Au. Олардың кейбіреулері, әсіресе ең соңғылары механикалық қоспаларға байланысты.

Сингониясы ромбылық; сингония түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Ab2m(2^{15}_{2v})$. $a_o=11,9$; $b_o=27,2$; $c_o=13,41$. Кейде жалған кубтық. Халькозин $91^{\circ}C$ -тан төмен температурада кристалданған жағдайларда әдетте призмалардың келесі жақтары байқалады: $\{110\}$, $\{021\}$, $\{011\}$, $\{023\}$, пинакоидтың $\{001\}$, бірқатар дипирамидалардың $\{111\}$, $\{112\}$, $\{113\}$ және басқалар.

Кристалдық құрылымы – ромбылық халькозин өте күрделі және түбегейлі зерделенбеген. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары біршама сирек байқалады. Көпшілігінде олар қалың тақталар түрінде $\{001\}$ бойынша және қысқа бағаналары α осі бойымен (89-сурет) кездеседі, дегенмен олар көбінесе гексагондық кейіпті болады (90-сурет). Халькозин кристалдарының гексагондық кейіпті кірігу жазықтықтары $\{110\}$ бойынша үшемдер жаралуы салдарынан қабылдайды. Сондай-ақ $\{032\}$ бойынша және кейде $\{112\}$ бойынша қосақтары байқалады.



89-сурет. Халькозиннің призма кристалы. Тура кеніші (Орал)



90-сурет. Халькозиннің гексагон келбетті кристалы. Тура кеніші (Орал)

Агрегаттары. Әдетте тұтас ұсақ түйірлі массалар түрінде немесе борнит, халькопирит, кейде сфалерит, галенит, ковеллин, пирит және басқалар бойынша псевдоморфозаларда сеппелер түрінде кездеседі.

Түсі – халькозин қорғасын-сұр түсті. Сызық түсі күңгірт-сұр. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 2,5-3. Нашар майырылғыш. **Жіктілігі** жетілмеген $\{110\}$ бойынша. **Мен. салмағы** 5,5-5,8. Электрді жақсы өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Оған қорғасын-сұр түс, төмен қаттылық, майырылғыштық тән (пышақтың ұшымен сызғанда жылтыр із қалады, осы белгісі бойынша халькозин өзіне аса ұқсас солғын кеннен ажыратылады). HNO_3 ерітіндісінде жасыл түске ие болады. Халькозинге мыс минералдарымен, көбінесе борнитпен бірлестік тән.

Қышқылдардың ішінде ең жақсы еритіні HNO_3 , мұнда күкірт бөлініп шығады.

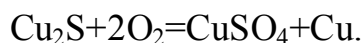
Жаралуы және кенорындары. Табиғатта ромбылық халькозин эндогендік те, экзогендік те жағдайларда жаралады, бірақ тек қана төмен температурада (91⁰С-тан төмен).

Ол эндогендік минерал ретінде кейде кейбір мысқа бай және күкірті жұтаң *гидротермалық* сульфид кенорындарда кездеседі. Мұндай жағдайларда халькозинмен парагенезисте басқалардан жиі эндогендік борнит байқалады. Осындай кенорындарға *Жезқазған* (Қазақстан), *Удокан* (Забайкалье), *Редут* (Корнуолл, Англия) және басқалар жатады.

Бірақ негізгі массада халькозин *экзогендік* жолмен барлық мыс-сульфид кенорындардың сульфидке қайта баю деп аталатын белдемде жаралады (57-суретте): Халькозин мыстың басқа да туынды сульфидтері сияқты, бастапқы сульфидтері және мыс кенорындарының тотығу белдемінен сіңетін мыс сульфаттары ерітіндісі аралығындағы реакция кезінде пайда болады. Ол көбінесе метасоматоздық жолмен туынды борниттің орнында дамиды. Кейде ол тікелей бастапқы халькопиритті, ал бірқатар жағдайларда галенитті, сфалеритті және басқа бастапқы руда сульфидтерін алмастырады.

Халькозиннің мысты ерітінділерден құрамында органикалық қалдықтар бар шөгінді таужыныстарда псевдоморфозалар түрінде жаралған жағдайлары белгілі. Псевдоморфозалар осы қалдықтардың, негізінен ағаштың барлық ерекшеліктерін түбегейлі сақтайды.

Оттекті тотығу белдемінде халькозин орнықсыз әрі ыдырай отырып малахитке, азуритке және басқа оттекті қосылыстарға өтеді. Шала тотыққан кезде көбінесе халькозиннен төмендегі реакция бойынша сомтума мыс жаралады:



Халькозин рудаларының ірі кенорындары біршама сирек. Елеулі мөлшерде олар қуатты, жер беті агенттерімен жақсы өзгеріске түскен мысқа бай сульфид кенорындардың тотығу белдемдерінде жаралады. Бұл рудаларда халькозин мыстың басты минералы ретінде сульфидке қайта баю белдемін жасайды.

Россия аумағында халькозин рудалары ірі тұтас массаларда кезінде Тура кеніштерінен (Солтүстік Орал) өндірілген. Мұнда осы минералдың жақсы жаралған кристалдары кездесіп, оларды академик П.В. Еремеев түбегейлі зерделеген. Халькопирит рудаларының жұтаң сеппелері ірі кенорындар *Қоңырат* (Қазақстанда, Балқаш көлінің солтүстік жағында) пен *Алмалықта* (Өзбекстанда, Ташкенттің оңтүстігінде) анықталған.

Шетелдерде ең әйгілісі - *Бьютт* кенорны (АҚШ, Монтана штатында), мұнда халькозин борнитпен, энаргитпен, пиритпен және басқа минералдармен парагенезисте бастапқы рудаларда грунт суы деңгейінен әлдеқайда төменде қадағаланған, яғни ол эндогендік минерал болып табылады.

Практикалық мәні. Халькозин мысқа ең бай минерал болып табылады. Сондықтан халькозин рудалары мыс өнеркәсібі үшін басқа сульфид

кенорындарына қарағанда ең маңыздысы. Қазіргі кезде халькозинді рудалар үлесіне әлемдік мыс өндірісінің айтарлықтай бөлігі тиеді. Атап айтқанда, оларға қоры бойынша ірі Қоңырат типті жұтаң сеппе рудалы кенорындар жатады, оларды жаппай игеру руда құрамындағы мыстың мөлшері біршама төмен болғанына қарамай ұтымды болып табылады.

АРГЕНТИТ – $\beta\text{-Ag}_2\text{S}$ және **АКАНТИТ** – $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$. Олардың атауы латынша *argentum* – күміс және грекше *аканта* – тікен дегеннен шыққан. Синонимі: күміс жылтыры. «Күміс кіреукесі» күкіртті күмістің ұнтақ түрлесі болып табылады да тығыз аргентитпен бірге кездеседі.

Ag_2S екі модификация түрінде кездеседі: 1) жоғарылау температуралық кубтық модификация $\beta\text{-Ag}_2\text{S}$, ол 179°C -тан жоғары температурада орнықты – *аргентит* модификациясы; 2) төментемпературалық жалған ромбылық моноклиндік модификация $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$, 179°C -тан төмен температурада жаралады – *акантит* модификациясы. Кубтық модификация температура төмендеген кезде жалған ромбылық модификацияға параморфты алмасуға ұшырайды, мұны куб кристалдарды рентгенметрлік зерттеу көрсетеді.

Күкіртті күмістің әр модификациясы үшін айрықша атауларды ұсынудың болғандарына қарамай минералогиялық практикада іс жүзінде «аргентит» деген жалпы атау орнығып қалған. Бұл атау төмен температуралық модификацияның жоғары температуралық модификациясы бойынша параморфозаларына да қолданылады.

Химиялық құрамы. Ag – 87,1 %, S – 12,9 %. Аргентитте изоморфтық қоспалардан көбінесе Cu байқалады. Әдетте ол сондай-ақ Pb, Fe, Sb және басқалармен ластанады.

Сингониясы кубтық (аргентит), симметрия түрі гексооктаэдрлік $3L^4 4L_6^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Pn3m(O_h^2)$. **Кристалдық құрылымы.** *Куприттің* құрылымдық типіне жатады. Төментемпературалық модификациясы (акантит) – моноклиндік (құрылымдық жағынан жеткіліксіз зерделенген). Кеңістіктік тобы $P2_1/c(C_{2h}^5)$; $a_0=9,47$; $b=6,95$; $c=8,28$; $\beta=124^\circ$. 179°C -тан төмен температурада жаралған акантиттің дербес кристалдарының кейпі (габитусы) призмалық-дипирамидалық; келбеті - сырықшадан найза тәріздіге дейін. Акантит жетілмеген, көбінесе полисинтетикалық қосақтанған кристалдар түрінде жиі кездеседі. Ол кубтан, кубоктаэдрден (*91-сурет*), кейде ромбододекаэдрден тұратын аргентит кристалдары бойынша параморфозалар құрамында да кездеседі.



91-сурет. Аргентит кристалы (кәдімгі пішіні)

Түсі қорғасын-сұр. **Жылтырлығы** омырылымда металша.

Қаттылығы 2-2,5. **Майырылғыш.** **Жіктілігі** {110} және {100} бойынша жетілмеген. **Меншікті салмағы** 7,2-7,4. **Басқа қасиеттері.** Тек жоғары температурада ғана электр өткізе алады. Аргентиттің жылтырланған беті күшті жарық сәулесі әрекетінен бірнеше секунд ағымында күнгірттенеді.

Диагноздаушы белгілері. Макроскоптық, яғни көзмөлшер бойынша анықталатын белгілері бойынша жеңіл анықтала алмайды. Жиі күміс кіреуекесімен, кейде сомтума күкіртпен сүйемелденеді. HNO_3 қышқылында күкіртті бөле отырып ериді; HCl қосқан кезде қою сүзбе тәрізді ақ түсті AgCl тұнбасы пайда болады, ол аммиакта ериді.

Жаралуы және кенорындары. Аргентит құрамында күміс бар сульфид рудалы гидротермалық кенорындарда, көбінесе сомтума күкіртпен және құрамында күміс бар басқа минералдармен парагенезисте кездеседі.

Дегенмен бұл минерал, дәлірек айтқанда акантит, құрамында күміс бар сульфид руда кенорындары *тотығу белдемдерінің* төменгі бөліктерінде өте кең таралуға ие болады. Ол церруссит ($\text{Pb}[\text{CO}_3]$), хлораргирит (AgCl), сомтума күміс сияқты және басқа минералдар ассоциациясында кездеседі. Акантиттің псевдоморфозалары сомтума күміс бойынша және құрамы бойынша күрделі, олардың күмістің күкіртті, күшәлалы, сүрмелі қосылыстары болып табылатын (прустит, пираргирит, стефанит және басқа) көптеген минералдары бойынша псевдоморфозалары байқалады.

Аргентиттің үлкен дербес шоғырлары өте сирек. Ол айтарлықтай массаларда сомтума күкіртпен бірге *Конгберг* (Норвегия) кенорнында, сондай-ақ *Мексиканың* көптеген кенорындарында (Уакатекас, Гуанахуато және басқа) күміс сульфотұздарымен (полибазит, пираргирит, прустит және басқа) ассоциациясында кездескен.

Россия аумағында аргентит жұғындылар түрде, кейде тұтас шағын массаларда *Змеиногорск* кенорнында (Алтай) және от сирек Нерчинск округі (Шығыс Забайкалье) мен Верхоянскінің бірқатар кенорындарында кездескен. Акантит жұқа сферолит қабыршақтары түрінде эпитеpmалық *Карамкен* (Магадан облысы) ырғақты белдемді кварц желілерінде тар белесті жолақтарды құрайды. Кварц желілерде акантит адулярмен, родохрозитпен және родонитпен күміс сульфотұздарымен бірге *Хаканджин* кенорнында (Хабаровск өлкесі) кездеседі. Солтүстік-батыс Қазақстанда *Соколов-Сарыбай* темірлі-скарндық кенорны бөлікшелерінің біріндегі соңғы гидротермалық толтырымды ұя тәрізді қуыстарында акантит аргентит бойынша параморфозаларда кездескен. Ол бұрыс пішінді бөлінімдерде сомтума күміспен, күшәламен және күміс-күшәлалы сульфотұздармен, кальцитпен және цеолиттармен бірге болады.

Практикалық мәні. Аргентит пен акантит құрамында күміс бар басқа минералдардың серіктері ретінде күміс алудың көзі болып табылады. Күмістің рудалардағы минимал өнеркәсіптік мәні 0,02 % шамасында болады.

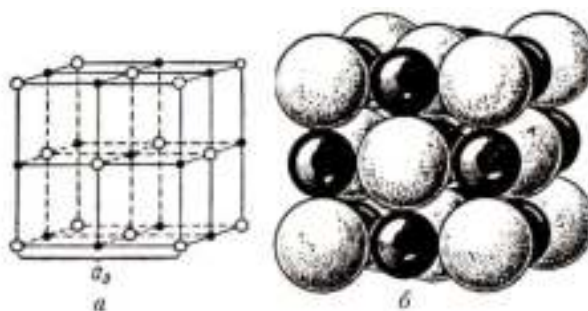
2. Галенит тобы

Минералдардың бұл тобынан табиғатта ең көп таралған галенитті қарастырамыз.

Галенит – PbS. Бұл атау латынша *galaena* – қорғасын рудасы дегеннен шыққан. Синонимі: қорғасын жылтыры. Түрлесі: *селенді галенит*. «Қорғасынды» деген атпен белгілі физикалық түрлесі тығыз күңгірт майда түйірлі масса болып табылады.

Химиялық құрамы. Pb-86,6 %, S-13,4 %. Қоспалардан көбінесе мыналар кездеседі: Ag проценттің ондық бөліктеріне дейін, Cu, Zn, кейде Se (селенді галенит үзіліссіз изоморфтық қатар құрамында клаусталлитке дейін), Bi, Fe, As, Sb, Mo, кейде Mn, U және басқалар. Көпшілік жағдайларда бұл элементтер бөтен минералдардың микроскоптық ұсақ кірінділерімен байланысты болады. Күмістің мөлшері висмут мөлшерімен оң байланыста.

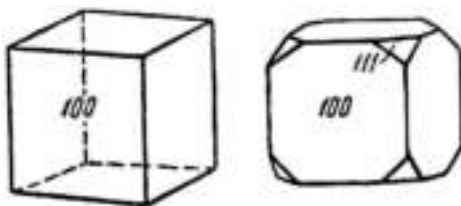
Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=5,924$. кристалдық құрылымы, мұнда кристалданатын галенит тобының сульфидтері NaCl типіне жатады (92-сурет). Күкірт аниондары ең тығыз кубтық (үш қабатты) жайласу бойынша орналасқан, ал қорғасын катиондары аниондар аралығындағы барлық октаэдрлік қуыстарды толтырады. Элементтердің ұяшық негізінде кубтық жақ центрленген тор жатыр, ол иондардың куб төбелерінде және әр жақтың орталығында орналасқандығымен сипатталады. Бірақ құрылымда екі бірдей торшаны құрайтын иондардың екі тегі қатысатындығымен айрықшалаанады (92 б-сурет). Егер элементар ұяшықты біз шағын кубтарға бөлсек, онда әр сортты иондар олардың төбелерінде кезектесе орналасатын болады. Иондардың екі сортының да координациялық саны 6. 92-суретте үлкен кубтың бұрыштары бойынша және жақтардың орталықтарында күкірт иондары, ал қорғасын иондары болса аралықтарында орналасады.



92-сурет. Галениттің кристалдық құрылымы: *a* - иондардың орналасуы (қара дөңгелекшелер - Pb, ақшылдары - S); *б* - шарлар түрінде бейнеленген кристалдық құрылым, сол масштабта

Оны керісінше де бейнелеуге болады, бірақ одан құрылымның ерекшелігі өзгермейді. **Кристалдар келбеті** көбінесе кубтық, кейде октаэдр жақтарымен (93-сурет), сирек октаэдрлік. Ең жиі кездесетін пішіндері: {100}, {111}, кейде {110}. Қосақтары (111) бойынша. Галенит кристалдары тек друзалы қуыстарда ғана кездеседі. Әдетте ол түйірлі массалар немесе бұрыс пішінді сеппе бөлінімдер түрінде байқалады.

Түсі – галенит қорғасын-сұр. **Сызық түсі** қорғасын-қара. **Жылтырлығы** металша. **Қаттылығы** 2-3. **Морт.** **Жіктілігі** куб бойынша жетік. Құрамында висмут бар түрлестерінде {111} бойынша дербестік байқалады (қатты ерітіндінің ыдырау құрылымының құрамында галеновисмутиннің – $PbBiS_2$ немесе матильдиттің – $AgBiS_2$ қалақша кірінділері болуы ықтимал). Қыздырған кезде дербестік жоғалады да куб бойынша кәдімгі жіктілік пайда болады. **Меншікті салмағы** 7,4-7,6. **Басқа қасиеттері.** Шамалы электрөткіздікке ие және детекторлық қасиеттері бар (жарықпен сәулелендіргенде өткізгіштігі төмендейді).



93-сурет. Галениттің куб кристалдары

Диагноздаушы белгілері. Түсі, жалтырлығы, куб бойынша сатыланған омырылымда білінетін өзіне тән жіктілігі, төмен қаттылығы мен жоғары меншікті салмағы бойынша жеңіл анықталады. Жасырын кристалды қорғасынды деп аталатын массаларда өзіне ұқсас сұрмелі және күшәлалы қосылыстардан жоғары меншікті салмағы бойынша ажыратылады. HNO_3 қышқылында оңай ериді де күкірт пен ақ $PbSO_4$ тұнбасын береді, бұл оның еріген кезде біршама тотығуы салдарынан орын алады.

Жаралуы және кенорындары. Галенит *гидротермалық* кенорындарда өте кең таралған. Көбіне бай шоғырлар жасайды. Оған ерекше тәні, ол әрдайым дерлік сфалеритпен ZnS парагенезисте кездесіп, онымен салыстырғанда әдетте бағыныңқы мөлшерде болады. Гидротермалық қорғасын-мырыш кенорындары нағыз желілер түрінде, немесе әктастарда бұрыс пішінді метасоматоздық жатындар түрінде, немесе ақыр соңында сеппелер түрінде жаралады.

Басқа минералдардан галенитпен бірлесіп кездесетіндер: пирит, халькопирит, солғын кендер, күмістің, қорғасынның, мыстың арсенопириттің және басқалардың сульфотұздары кездеседі. Бейруда минералдардан бұл рудаларда кварц пен кальциттен басқа сондай-ақ әр түрлі карбонаттар, барит $Ba(SO_4)$, флюорит CaF_2 және басқалар кездеседі.

Кенорындардың мору процесінде галенит тотыққан кезде англезит $Pb(SO_4)$ қабыршағымен көмкеріледі, беткі жағында церусситке $Pb(CO_3)$ ауысады. Бұл қиын еритін қосылыстар галениттің бүлінуге ұшырамаған ортаңғы бөлікшелерінің төңірегінде тығыз жейде сияқты жамылғы жасап, тотықтырғыш агенттердің ішіне қарай енуіне тосқауыл болады. Осыған байланысты осындай жейдемен көмкерілген галениттің тұтас массалары жалбырлар түрінде, сазды тасындылар белдемінде және тіпті шашылымдарда да кездеседі. Сфалериттен айырмашылығы, тотығу белдемінде галенит бойынша англезит пен церусситтен бөтен бірқатар қиын еритін оттек

косылыстары да пайда болады: фосфаттар, арсенаттар, ванадаттар, молибдаттар және басқалар. Осының салдарынан қорғасын-мырыш кенорындарының тотығу белдемі әдетте қорғасынға молығады.

Құрамында галенит бар көптеген рудалы кенорындардың ішінде тек кейбіреулерін ғана атап өтеміз. Ең белгілері: *Садон* желілі кенорны (Солтүстік Кавказ), Алтай кенорындары (*Риддер-Сокольное, Змеиногоorsk*) – олар полиметалл рудалары деп аталып, өте майда түйірлі пирит, сфалерит, халькопирит, галенит және солғын кендер массаларынан тұрады; *Дальнегорск* сульфид рудалы кенорны (Приморье), ол волластонит-геденбергитті скарнда орналасқан; *Нерчинск* (Забайкальеде) және басқалар. Көптеген полиметалл кенорындары *Орта Азияда* (Қарамазар таулары және басқалар) барланған.

Шетел кенорындары ішінде сондай-ақ өте ірі АҚШ кенорындарын атап өтеміз, оларға *Джоплин* (Миссури штаты) – кенорында әктас пен сазды тақтатастарда байтақ аумақта сеппе және шашыранды ұялар түріне кездеседі, *Ледвилл* («Қорғасынды қала») Колорадода және басқалар.

Практикалық мәні. Галенит ең маңызды қорғасын рудасы болып табылады. Қорғасынның барлық әлемдік өндірісі дерлік осы минералды өндірумен айналысады.

Баршаға белгілі металл қорытумен қатар, галенит рудасының шамалы бөлігі глет (PbO) алу үшін өңделіп, одан қорғасын препараттарын, атап айтқанда бояу (ағартқыш, сурик, крон және басқалар) және глазурь алу үшін пайдаланылады.

Руданы балқытқан кезде қорғасынға ілеспе түрде күмістің қомақты мөлшері айырып алынады. Құрамында күміс бар минералдар галенитпен байланысты, ал кейде оның құрамында висмут та болады.

3. Сфалерит тобы

Мұнда *AX* типті полиморфты минералдар кіреді, олар кубтық және гексагондық сингонияларда кристалданады (сфалерит немесе вюрцит типті кристалдық құрылымдарда иондары тетраэдрлік координациялы). Біз бұл топта сынап сульфидін (киноварь) де қарастырамыз, ол кейбір қасиеттері бойынша сфалерит тобына жақын, бірақ одан кристалдық құрылымы бойынша айтарлықтай айрықшалаанады.

СФАЛЕРИТ – ZnS. Оның атауы грекше сфалерис – алдамшы дегеннен шыққан, өйткені, ол сыртқы белгілері бойынша кәдімгі металдар сульфидіне тіпті де ұқсас емес. Синонимі: мырыш алдамышы. Түрлестері: клейофан - ақшыл түсті немесе түссіз түрлесі (қоспасы жоқ дерлік); марматит – қара түсті темірлі сфалерит түрлесі; пршибрамит – кадмийге бай (Cd 5 %-ке дейін) түрлесі.

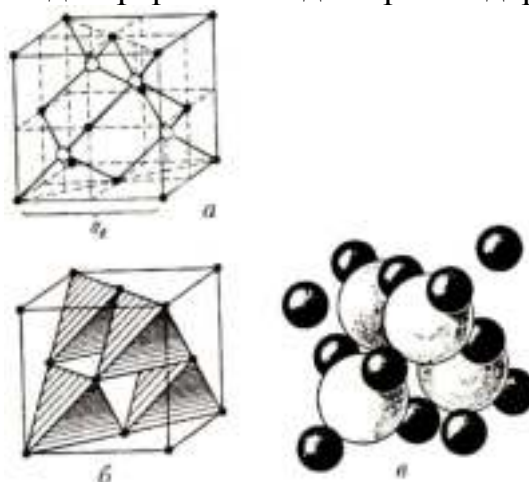
Химиялық құрамы. Zn – 67,1 %, S – 32,9 %. Қоспа ретінде көбінесе Fe болады (20 %-ке дейін); мұндай түрлестерінде микроскоп астында пирротиннің (Fe_{1-x}S) өте ұсақ кірінділері байқалады, ол қатты ерітіндінің ыдырау өнімі болып табылады. Кейде осындай кірінділер түрінде

халькопирит (CuFeS_2) және кейде станнин ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) болады, сфалериттегі мыс пен қалайы қоспасы осымен түсіндіріледі. Көбінесе изоморфты қоспа түрінде болатындар: Cd (әдетте проценттің ондық бөліктеріндей), In (проценттің жүздік бөліктеріндей), Co, Mn, Hg және басқалар.

Сингониясы кубтық, симметрия түрі гексатетраэдрлік $3L^2_4L^3_6P$. Жак проекциясы $F\bar{4}3m(T^2_d)$. $a_0=5,40$. **Кристалдық құрылымы** күкірт аниондарының үш қабатты (кубтық) ең тығыз жайласқандығымен сипатталады. Мырыш катиондары аниондар аралығындағы тетраэдрлік бос кеңістіктің жартысын алып жатады. Құрылымы алмастың құрылымына ұқсас, одан айырмашылығы, кіші кубтардың центрлері төбелеріне және үлкен куб жақтарының центрлеріне қарағанда басқа атомдардан тұрады. 94-суретте көрсетілгендей, әр S ионының төңірегінде тетраэдрдің төбелері бойынша мырыштың төрт ионы орналасады. Осы суреттерде көрсетілгендей, элементар ұяшықта кіші кубтардың жарты санының центрлерін алып жатқан күкірттің төрт ионы орналасады. Оған тәні, осы тетраэдрлердің барлығы бірдей бағдарланған, бұл жағдай жалпы алғанда кубтық емес, тетраэдрлік симметрия қалыптасуына әкеледі. Алмастан өзгешелігі, сфалерит кристалдарында жіктілік октаэдр жазықтықтары бойынша емес, ромбододекаэдрдің $\{110\}$ жазықтығы бойынша өтеді. Өйткені бұл жазық торлар бір мезгілде Zn және S иондарын қамтиды және тең мөлшерде, бұл жағдай оларды электрлік бейтарап және де нашар байланысқан етеді.

Кристалдарының келбеті. Друза кеңістіктерінде көбінесе жақсы жаралған кристалдар түрінде кездеседі. Кейпі көбінесе тетраэдрлік (95-сурет), мұнда оң және теріс пішіндер жылтырлық сипатымен және таптау фигураларымен жиі айрықшалаанады. Кейде $\{110\}$ жақтары басым болады және кристалдар додекаэдрлік келбетке ие. Қосақтары (111) бойынша сирек кездеседі.

Агрегаттары. Тұтас массалары айқын түйірлі құрылымымен сипатталады да жекелеген түйірлерде күрт білінген жіктілігіне байланысты жеңіл танымдалады. Кейде бүйрек пішінді жаралымдары кездеседі.



94-сурет. Сфалериттің кристал құрылымы: *a* – мырыш (қара дөңгелекшелер) және күкірт (ақшыл дөңгелекшелер) иондары центрлерінің орналасауы; *б* – тетраэдрлер түрінде бейнеленген сол құрылымның өзі, олардың әрқайсысының ішінде күкірт иондарының центрлері орналасады; *в* – шарлар түрінде бейнеленген кристалдық құрылым



95-сурет. Сфалериттің тетраэдр кристалдары

Түсі – сфалерит әдетте қошқыл немесе қоңыр; көбінесе қара (марматит), кейде сары, қызыл және жасылтым бояулы. Түссізден сарыға дейінгі мөлдір түрлестері де белгілі (клейофан). **Сызық түсі** ақ немесе ақшыл түсті сарыдан және қоңырдан сұрға дейінгі реңді, минералдың түсіне қарағанда әрдайым ақшылдау. **Жылтырлығы** алмасша. Іс жүзінде беймөлдірден (марматит) жақсы мөлдірге дейін. Шағылыстыру көрсеткіші N -сәуледе $N=2,37$.

Қаттылығы 3-4. Біршама морт. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша жетік. **Меншікті салмағы** 3,9-4. **Басқа қасиеттері.** Электр өткізбейді. Полюстік термоэлектрлікке ие. Кейбір түрлестері үйкегенде немесе сындырғанда сәулеленеді (флуоресценцияланады).

Диагноздаушы белгілері. Кристалл түйірлерінің изометрлік пішіндері тән, олар ромбододекаэдр бойынша жіктілікке ие, яғни мырыш пен күкірт атомдарынан тұратын құрылымдағы жазық торларға сай келетін алты бағыт бойынша осысымен сфалериттің темірлі түрлестері оған түсі, қаттылығы, жылтырлығы және басқа белгілері бойынша аса ұқсас вольфрамиттен – $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ және энаргиттен – Cu_3AsS оңай ажыратылады. Аталған минералдар түйірлері призмалық келбетке және бір бағыттағы жіктілікке ие.

Концентрацияланған HNO_3 қышқылында күкіртті бөліп ериді. HCl қышқылымен реакцияда ұнтақта H_2S бөлінеді.

Жаралуы және кенорындары. Сфалерит кенорындарының негізгі массасы, галенит сияқты *гидротермалық* кенорындарға жатады (*галенитті* қараңыз), бұл екеуі әрдайым дерлік бірге кездеседі. Кейбір сульфид кенорындарында халькопиритпен байланысты болады.

Экзогендік жағдайларда өте сирек жаралады. Ол кейбір көмір кенорындарында кездескен.

Тоғығу процестері кезінде сфалерит біршама жеңіл ыдырайды да суда оңай еритін цинк сульфидін жасайды, осының салдарынан тоғыту белдемдері цинкке өте жұтаң болады. Егер кенорынның қапталдас таужыныстары әктастан тұратын болса, онда оларда цинк карбонаты – смитсонит шоғырлары жаралады.

Сфалерит қорғасын-мырыш кенорындарында әдетте сандық жағынан галениттен айтарлықтай басым болады, оның жекелеген мысалдары жоғарыда келтірілген (*галенитті* қараңыз).

Кейбір кенорындарда сфалериттің кальцитпен, кварцпен және басқа минералдармен бірге жақсы жаралған кристалдар друзасы кездеседі. Мысалы, *Дальнегорск* кенорында (Приморье); *Наголь* бұйратында (Украина) және *Маданда* (Родоп таулары, Болгария).

Бірқатар жерлерде сфалериттің өте қызық колломорфтық жаралымдары әктас арасындағы қуыстарда концентрлі-жолақ бүйрек тәрізді жаралымдар түрінде галенитпен, пиритпен, марказитпен, халькопиритпен, кальцитпен немесе доломитпен бірлесіп кездескен.

Халькопиритпен тығыз ассоциацияда (галенитсіз дерлік) Оралдың колчедан жатындары деп аталатындарының бірқатарында байқалады: *Карпушинское, III Интернационал атындағы* және басқаларда.

Минералогиялық жағынан ең қызықты шетел кенорындарынан келесілерді атап өтеміз: *Пршибрам* (Чехия); *Бинненталь* (Швейцария) – доломит арасындағы қуыстарда тамаша кристалдар; *Сантандер* (Солтүстік Испания) ауданы кенорындарындағы сфалериттің мөлдірлігі бойынша керемет кристалдары.

Практикалық мәні. Сфалерит мырыштың басты рудасы болып табылады. Сфалерит рудаларынан мырышқа ілеспе ретінде құнды сирек металдар: Cd, In және Ga айырып алынады.

Полиметалл рудаларды күйдірген және балқытқан кезде ZnS тотығып ZnO жасап, ал негізінен бөлініп шыққан газдармен ұшып кетеді. Сондықтан әдетте рудаларды алдын ала байытып, олар қорғасын және мырыш концентраттарына ажыратылады. Мырыш концентраты айрықша пештерде тотықтыру мақсатында алдын ала күйдіргеннен, кейін жабық реторталарда тотықсыздандыру балқытуына жіберіледі де мырыш айдалады.

Буландыру жолымен алынатын металл мырыш оншалықты таза болмайды да ол мырышталған темір алу үшін пайдаланылады. Шикі мырышты тазарту электролиз жолымен жүргізіледі. Электролиттік мырыш жез, қола және басқа балқымалар алу үшін қолданылады.

Мырыш одан басқа шамалы мөлшерде тікелей мырышты ағартқыш, сондай-ақ флюоресциялаушы экрандар және басқалар алу үшін тұтынылады.

Кадмий (оның дербес минералының құрамы CdS: кубтық *хоулеит* және гексагондық *гринокит*) негізінен сфалерит рудаларынан ілеспе түрде өндіріліп, мынадай бағыттарда қолданылады: гальванопластикте болат және темір бұйымдарды металл коррозиясынан сақтау үшін көмкергенде; құрамына тапшы саналатын қалайы кіретін баббитке қарағанда жоғары температура мен үйкеліске қарсыласуы жоғарылау қасиетке ие және беріктеу оңай балқытын балқымалар алу үшін; аккумуляторлар өндірісінде; өртке қарсы автомат құралдар үшін және т.б.

Галлий өзінің қасиеттері бойынша көпшілігінде алюминийді еске салатын металл болып табылады. Ол 29⁰С-та балқиды, ал алюминиймен бірге кәдімгі температура кезінде сұйық болатын балқыма жасайды. Галлийдің қайнау температурасы сынаппен салыстырғанда өте жоғары (1700-2300⁰С), осы қасиеті оны бірқатар жағдайларда сынаптың орнына термометрлерді және басқа дәл аспаптарды толтыру үшін қолдануға мүмкіндік береді. Галлийлі шамдар Күн жарығына жақын жарық береді.

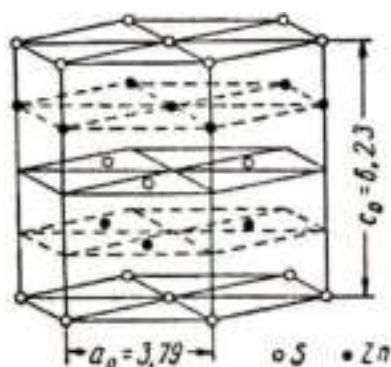
Индий антикоррозиялық металл ретінде металл бұйымдарды жабуға, сондай-ақ самалалар (прожекторлар) мен автомобиль шамдары үшін

рефлекторлар өндірісінде пайдаланылады. Индийдің органикалық қосылыстары ұйқы ауруымен күресу үшін қолданылады.

ВЮРТЦИТ – ZnS. Түрлестері: эритроцинкат – құрамында марганец бар вюртцит (Zn,Mn)S.

Химиялық құрамы сфалериттің құрамындай. Әдетте оның құрамында кадмий мөлшері жоғарылау болады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-пирамидалық L^6P . Кеңістіктік тобы $P6_3mc(C^4_6v)$. $a_0=3,798$; $c_0=6,23$. Кристалдық құрылымы күкірт иондарының гексагондық (екі қабатты) ең тығыз жайласқандығымен сипатталады (96-сурет). Соңғы кезде вюртциттің табиғатта сирек кездесетін 4-, 6-, және 15-қабатты ең тығыз жайласқан политипті модификациясы анықталған. Мырыш катиондары сфалерит құрылымындағы сияқты бір бағдарлы тетраэдрлік бос қуыстардың жартысын алып жатады. Политиптік модификациялар қатарына жататын бұл минералдар кристалдық құрылымының жақындығы олардың бірқатар физикалық қасиеттерінің (мен.салмағы, қаттылығы, түсі және басқалар) жақындығын да анықтайды. Вюртциттің елеулі айырмашылығына әрине оның оптикалық анизотропиясы және кездесетін кристалдарының пішіні жатады. **Кристалдарының келбеті** пирамидалық, қысқа бағаналы немесе тақталанған.



96-сурет. Вюртциттің кристалдық құрылымы

Түсі – вюртцит дәл сфалерит сияқты құрамында негізінен Fe қоспасы болуына байланысты ақшылдан қошқылға дейін және қараға дейін болады. **Сызық түсі** тиісінше түссізден қошқылға дейін өзгереді. **Жылтырлығы** алмасша.

Қаттылығы 3,5-4. Морт. **Жіктілігі** {1120} призма бойынша жетік және {0001} бойынша жетілмеген. **Мен.салмағы** 4-4,1.

Диагноздаушы белгілері. Параллель-сырықша агрегаттарында оны сфалериттен жіктілік сипатына байланысты ажыратуға болады. Тұтас массаларда сырттай сфалериттен ажыратылмайды. Оның оптикалық анизотропиясы микроскоп арқылы ғана анықтала алады. Басқа қасиеттері сфалеритпен бірдей.

Жаралуы және кенорындары. Біршама сирек минерал болып табылады. Төмен температурада жаралған кейбір гидротермалық кенорындарда сфалеритпен бірге кездеседі.

Өте шамалы мөлшерде сфалеритпен бірге Оралдың кейбір кенорындарында: *Блява*, *Яман-Касы*; Алтайда (*Николаевск*), Сақа Республикасында (*Правая Ударница*). Сондай-ақ Қырғызстан аумағында (*Ақ Тұз*, *Қарабаш*) және Батыс Украинада (*Берегово*) анықталған.

Шетел кенорындарынан қатты минералогиялық қызығушылық туындататындарға жататындар: *Пришибрамдагы* (Чехия) концентрлі-зоналы колломорфтық түрлестері, *Бьютт* кенорнындағы (АҚШ, Монтана штаты) жақсы жаралған пирамида кристалдары, *Оруро* мен *Потоза* (Боливия) және басқалар.

Бұл минерал дербес практикалық мәнге ие емес.

ГРИНОКИТ – CdS . Синонимі: кадмий алдамышы. Сирек кездеседі. Cd мөлшері 77 %. Кейде құрамында индий болады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-пирамидалық. Кеңістіктік тобы вюрциттікіндей, $a_0=4,142$; $c_0=6,724$.

Сирек кездесетін ұсақ кристалдары бөшке тәрізді немесе үшкір пирамида пішінді. Әдетте ұнтақ сияқты және жер жұғындылары түрінде байқалады.

Түсі тоты-сары, жирен-сары, күңгірт-жирен. **Сызық түсі** жирен-сарыдан кірпіш-қызылға дейін. **Жылтырлығы** алмасша.

Қаттылығы 3-3,5. Морт. **Жіктілігі** {1120} бойынша жетік. Мен.салмағы – 4,9-5.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне ұқсас аурипигменттен As_2S_3 , реальгардан AsS және вольфениттен $Pb[MoO_4]$ дәнекерлеуші түтікше алдындағы сипатымен айрықшалаанады (содамен қатты қыздырған кезде, қызыл-қошқыл CdO жұғындысын береді). Гринокитті қышқылдарда еріткен кезде H_2S -ке тән күшті иіс сезіледі. Кадмийге реакцияны сүзгі қағазда дифенилкарбазидтің спирт ерітіндісімен жүргізіледі.

Жаралуы және кенорындары. Сфалеритпен немесе вюрцитпен бірлесе байқалады. Гринокиттің елеулі шоғыры осыған дейін байқалған емес.

Қуыстарда өте ұсақ кристалшалар түрінде халькопирит және галенит бетінде *Сибаяв* кенорнының (Оңтүстік Орал) колчедан жатындарында кездескен, оның экзогендік минерал екендігі көрінеді. Сондай-ақ *Дукат* кенорнында да (Магадан облысы) байқалған.

Бірқатар кенорындардың тотығу белдемінде: *Қызыл сепеде* (Орталық Қазақстан), *Гайнах-Кан*, *Кан-Сай*, *Обисорбух* (Тәжікстан) кенорындарында кездескен.

Шетел кенорындары ішінде *Пришибрамды* (Чехия), *Фриденсвилді* (АҚШ, Пенсильвания) және басқалары айтуға болады.

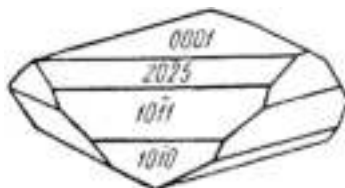
Кадмийдің қолданылуы *сфалеритте* айтылған.

КИНОВАРЬ – $\alpha-HgS$. Атауы Индиядан келген деп ұйғарылған, мұнда оны қызыл шайыр және «айдаһар қаны» деп атайды. Аздау таралған кубтық модификациясы $\beta-HgS$ *метациннабарит* деп аталады; оған ұсақ қара, қызыл түсті өткізетін тетраэдрлік кристалдар тән, ол сырттай сфалеритке ұқсас.

Химиялық құрамы. Hg – 86,2 %, S – 13,8 %. Бөгде элементтер әдетте механикалық қоспаларға байланысты.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі тригондық-трапецоэдрлік L^33L^2 . Кеңістіктік тобы $P3_12(D^4_3)$ немесе $P3_22(D^6_3)$. $a_0=4,16$; $c_0=9,54$. **Кристалдық құрылымы** гексагондық келбетке ие. Жалпы оны координациялық саны 6 (дәлірек айтқанда 2+4 Hg үшін де, S үшін де) NaCl-дың бұрмаланған құрылымы ретінде қарастыруға болады. Кристалдық құрылымының ерекшелігіне S-Hg-S ұдайы спираль тізбектері жатады, олар иондар аралығында ковалентті байланысымен сипатталады және C осіне параллель созылады (сол жақ немесе оң жақ бұранда осьтің). Бұл жағдай полюстену (үйектелу) жазықтығының күшті біліну қабілетінде көрініс табады. Ол тізбек-молекулалар аралығындағы нашарлау байланыс призма $\{1010\}$ бойынша айқын жіктілікті туындатады.

Кристалдарының келбеті. Киноварь ұсақ қалың тақталы (0001) бойынша немесе жақтары $\{1011\}$, $\{2025\}$ және басқа (97-сурет) ромбоэдрлік кристалдар түрінде кейде трапецоэдр жақты болып кездеседі. (0001) бойынша қосақталу кірікпелері тән (98-сурет). **Агрегаттары.** Көбінесе түйірлерінің пішіндері бойынша бұрыс сеппелер түрінде, кейде тұтас массаларда, сондай-ақ ұнтақ сияқты жұғындылар мен жағындылар түрінде байқалады. Бауыр тәрізді деп аталатын рудақұрамында жер сияқты бөгде және органикалық қоспалар жасырын көп кристалды массалар болып табылады.



97-сурет. Киноварь кристалы



98-сурет. Киноварьдің қосағы $r\{10\bar{1}1\}$, $n\{20\bar{2}1\}$, $x\{42\bar{6}3\}$

Түсі қызыл, кейде қорғасын-сұр құлпырмалы. **Сызық түсі** қызыл. **Жылтырлығы** күшті шаламеталша. Шаламөлдір.

Қаттылығы 2-2,5. Морт. **Жіктілігі** $\{1010\}$ бойынша біршама жетік. **Мен. салмағы** 8,09. **Басқа қасиеттері.** Метациннабариттен айырмашылығы, киноварь электр өткізбейді.

Диагноздаушы белгілері. Киноварь қызыл түсі, төмен қаттылығы, жоғары меншікті салмағы бойынша біршама жеңіл анықталады.

Көмірмен жанатын дәнекерлеуші түтікше алдында құрғақ түрде қалдықсыз айдалады. Булану 200°C температурадан басталады. Жабық

түтікшеде қыздырған кезде бір бөлігі кубтық HgS, бір бөлігі металл сынап, сондай-ақ күкірт жұғындысынан тұратын қара айдалым жаралады. Ашық түтікшеде қыздырған кезде, яғни оттегі болған кезде түтікшенің салқын қабырғаларында өте ұсақ шариктер түрінде $\text{HgS} + \text{O}_2 = \text{Hg} + \text{SO}_2$ реакциясы бойынша отыратын металл сынап жаралады. Сынап алудың заводтық әдістері осыған негізделген.

Патша арағында ериді. Хлор жалпы алғанда киноварьды ыдыратады. Ыдырау жемір сілтілер сульфидінің ерітінділерінде жүреді; HNO_3 және H_2SO_4 әсер етпейді.

Жаралуы және кенорындары. Киноварь кенорындары тек қана төмен температурада жаралатын *гидротермалықтарға* жатады. Киноварьдың жер бетіне шығатын ыстық сілтілі ерітінділерден түзілу мысалдары белгілі (мысалы Невададағы Стимбот көздері және Калифорниядағы Салфар-Бэнк (АҚШ) осындай. Киноварьмен бірлесе кездесетін бейруда минералдардан әдетте кварц, кальцит, көбінесе флюорит, барит, кейде гипс және басқалар таралған.

Сынап кенорындарының тотығу белдемдерінде туынды жаралымдар ретінде кездесетіндер: метациннабарит қара жарғақ түрінде, сомтума сынап және кейде сынап хлоридтері. Жалпы айтқанда киноварь тотығу жағдайында басқа көптеген сульфидтерге қарағанда біршама орнықты. Осы жағдайға оның көбінесе шашылымдарда кездесу факті байланысты, шаймалаған кезде ол жоғары меншікті салмағына байланысты түпшаймада қалады.

Қоры бойынша орташа бірнеше кенорын Чукоткада белгілі – *Палянское* және *Пламенное*; Корякияда – *Тамватней*; Сақа Республикасында (Якутия) – *Звездочка*; Таулы Алтайда – *Акташ*. Бірқатар шағын кенорындар Кавказда бар. Олардың ішінде минералогиялық қызығушылыққа ие болатыны *Хидеихеп*, мұнда киноварь ашық-қызыл реальгармен AsS ассоциацияланады.

Елеулі кенорындар Орта Азияда анықталған. Олар негізінен Алай мен Түркістан жоталарының солтүстік сілемдері бойында орналасқан: *Хайдаркан* және *Чаувай* (Қырғызстан). Киноварь мұнда кварцпен, антимонитпен, флюоритпен, кальцитпен, баритпен және басқа минералдармен бірлесе рудалы брекчияда ұсақ түйірлер түрінде болады. Шығыс Еуропада киноварьдың ең ірі кенорнына *Никитов* (Донбасс, Украина) жатады. Мұнда киноварь сеппелер және желішіктер түрінде кварцпен, антимонитпен, арсенипиритпен және кейде пиритпен бірлесе негізінен құмтаста кездеседі.

Басқа шетел кенорындары ішінде ең белгілілеріне жататындар: ірі *Альмаден* кенорны (Испания), *Идриа* (бұрынғы Югославия) және *Нью-Идриа* Калифорнияда (АҚШ).

Практикалық мәні. Киноварь сынап алудың жалғыз ғана дерлік көзі болып табылады. Сомтума сынап табиғатта біршама сирек кездеседі. Сынап негізінен түбірлік кенорындардан өндірілетін алтынды амальгамациялау үшін пайдаланылады, химиялық заттарды, жарылғыш сынапты $\text{Hg}(\text{CNO})$ – детонатрлар мен физикалық аспаптарда жарылғыш зат алу үшін қолданылады.

4. Пирротин әулеті

Бұл топқа элементтердің периодтық жүйесіндегі VIII топ металдарының (атап айтқанда Fe, Ni және Co) S, As және Sb қосылыстары бірігеді, олардың жалпы формуласы $A\text{X}$ (немесе осыған жақын).

Мұнда біз мына минералдарды қарастырамыз: пирротин тобы, никелин, миллерит және пентландит.

ГЕКСАПИРРОТИН – Fe_{1-x}S (көбінесе $x=0,1-0,2$). Кейде оның формуласын FeS түрінде белгілейді, ал бұл *троилитке* сәйкес келеді. Троилит тек қана метеориттер құрамында және тотықсыздану парагенезистерінде алмаспен сомтума темірмен және тағы басқалармен кездеседі. Минералдың атауы грекше *гекса* – алты, гексагондық және *пиррос* – от түсті дегеннен шыққан.

КЛИНОПИРРОТИН – Fe_7O_8 . Бұл екі түрді әрдәйім жай ажырату қиын, сондықтан әдебиетте көбінесе бейтарап топтама термин «пирротин» қолданылады. Синонимі: магниттік колчедан.

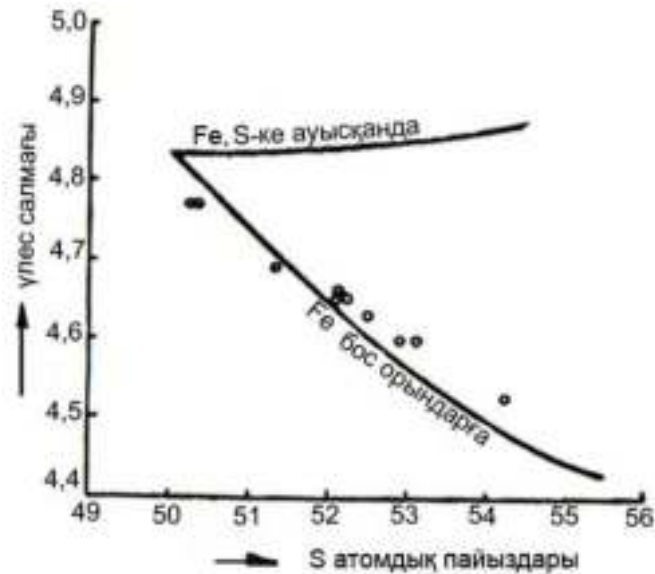
Химиялық құрамы. FeS формуласына керісінше пирротиндерде іс жүзінде ылғи күкірттің «артық» мөлшері байқалады: 36,4 % орнына оның мөлшері 39-40 % шамасына жетеді. Қоспалардан кейде шамалы мөлшерде Cu, Ni, Co, сондай-ақ Mn, Zn және басқалар болады (алғашқы үш металл – негізінен халькопирит пен пентландиттің болуына байланысты).

Сингониясы троилит пен гексапирротиннің гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-дипирамидалық L^6L^27PC . Гексапирротиндер үшін бірнеше политипті түрлестері байқалған, оның модификацияларының көпшілігі 300-350⁰C-тан жоғары температурада орнықты. Кеңістіктік тобы $R\bar{6}_3/mmc$ (D^4_{6h}). $a_0=6,872$; $c_0=11,444$ (x артқан сайын c -ның шамасы артады). Пирротиндердің кристалдық құрылымы гексагондық тығыз жайласқан никелин типті құрылыммен сипатталады (төменде келтірілген).

Рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, күкірттің молдығы (FeS формуласына керісінше) қосымша S^{2-} ірі иондары пирротин кристалдық құрылымындағы бір аралықтарға кіреді деумен түсіндіріле алмайды. Өйткені бұл үшін өлшемі бойынша жеткілікті бос орындар жоқ. Мұнда S^{2-} иондары жартылай темір иондарын алмастырады немесе S^{2-} аниондары саны тұрақты болған кезде, Fe катиондарының кейбір орындары бос қалады деп жорамалдауға болады.

Бұл мәселені шешуге екі нұсқа үшін есептелген меншікті салмақтарын салыстыру жолы таңдалған. *99-суретте* екі қисық бейнеленген: жоғарғы қисық S иондары жартылай Fe иондарын алмастырады деп жорамалдағандағы меншікті салмақтарының есептелген мәндерін көрсетеді; төменгісі – басқа нұсқа үшін, яғни Fe иондары үшін орындардың бір бөлігі бос қалғанда. Бұл екі деректі салыстырғанда, екінші жорамалдың дұрыс болып шығатынына жеңіл көз жеткізуге болады. Мұндай жағдайда S^{2-} аниондарының жалпы теріс таңбалы зарядын өтемелеу үшін темір иондарының бір бөлігі екі валентті емес, оң зарядты үш валентті болу керек

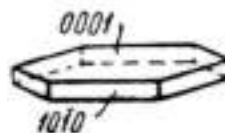
екенін көреміз. Осылайша, $2\text{Fe}^{3+} \square \rightarrow 3\text{Fe}^{2+}$ сұлбасы бойынша алудың ақаулық изоморфизмі байқалады.



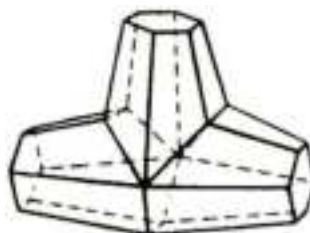
99-сурет. Қисықтармен есептелген меншікті салмақтар көрсетілген. Дөңгелекшелермен пирротин үшін шын мәнінде табиғатта анықталған меншікті салмақтар бейнеленген.

Шынында, темір позицияларындағы вакансиялар пирротиндердің көпшілігінде анықталған. Мұнда олардың статистикалық таралу жағдайларында біз гексагондық жоғары симметриялы модификацияны көреміз, ал температура төмендеген сайын вакансиялардың біртіндеп реттелуі орын алады. Осының салдарынан симметрия моноклиндікке ($F2/d$ тобы) дейін төмендейді және тор параметрлері еселеп артады. Клинопирротин үшін де политипияға байланысты түрлестері тән.

Кристалдарының келбеті. Кристалдары жалпы сирек. Әдетте олар тақталанған, кейде бағаналы немесе пирамидалық келбетке ие (100 - және 101 -суреттер), ең жиі кездесетін пинакоид $\{0001\}$, призма $\{10\bar{1}0\}$, дипирамидалар $\{10\bar{1}1\}$, $\{20\bar{2}1\}$ және басқалар жақтары. Қосақтары $(10\bar{1}1)$ Әдетте тұтас массаларда немесе бұрыс пішінді сеппе түйірлер түрінде кездеседі.



100-сурет. Пирротиннің тақталанған кристалы



101-сурет. Пирротин қосағы

Түсі сарғыш, сарыға дейін қола-сары реңді, көбінесе қошқыл құлпырымды. **Сызық түсі** сұрғылт-қара. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 4. біршама морт. **Жіктілігі** жетілмеген $\{10\bar{1}0\}$ бойынша. Сонымен қатар кейде $\{0001\}$ бойынша дербестік байқалады. **Мен. салмағы** 4,58-4,7. **Басқа қасиеттері.** Клинопирротиндердің барлығы іс жүзінде ферромагнитті, ал гексапирротин көбінесе беймагнитті болып келеді. Бұл айтылғандар барлық троилиттерге де қатысты. Электрді жақсы өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Бұл топ минералдарына тән болатыны олардың түсі және көбінесе анықталатын магниттік қасиеттері.

HNO_3 және HCl қышқылдарында еруі қиын, бұл жағдай пирротинді троилиттен (FeS) күрт ажыратады.

Жаралуы және кенорындары. Пирротин біршама сирек жағдайларда жоғары температуралы минерал болып табылады. Оның жаралуы дәл пирит сияқты ($\text{Fe}[\text{S}_2]$) тек температурадан ғана емес, негізінен ерітінділердегі күкірт иондарының концентрациясына тәуелді болады: S^{2-} концентрациясы жоғары болған кезде темір дисульфид ($\text{Fe}[\text{S}_2]$) түрінде бөлінеді, төмен температурада – моносульфид (FeS) түрінде.

Пирротин тек қана дерлік эндогендік кенорындарда және әр түрлі генетикалық типтерде таралған.

1. Ол негізді магмалық таужыныстарда, негізінен норитте, кейде габбро-диабазда біршама кең таралғандығымен сипатталады. Бұл таужыныстарда сульфид шоғырлары арасында ол басты минерал болып табылып, пентландитпен және халькопиритпен тығыз бірлесіп кездеседі (мыс-никельді сульфид руда кенорындары: *Норильск* тобы, Кола түбегіндегі *Пегенга* және *Мончегорск*). Шет елдегі ең ірі баламасына *Садбери* кенорны (Канада) жатады.

2. Кенорындардың жапсарлық-метасоматоздық типінде кейде, негізінен әктастар шекарасында елеулі шоғырлар жасайды. Бұл кенорындарда онымен бірлесе халькопирит, пирит, магнетит, қара сфалерит, арсенопирит, кейде касситерит (SnO_2), шеелит ($\text{Ca}[\text{WO}_4]$), кальцит, кварц және басқалар кездеседі. Олардың барлығы скарнжаралу процесінің соңғы сатыларында жаралады. Жапсарлық-метасоматоздық кенорындардан Тура кеніштері тобындағы *Башмаковское* мен *Богословское* кенорындарын (Солтүстік Орал) көрсетеміз.

3. Бірқатар нағыз гидротермалық кенорындарда (мысалы, Приморьедегі *Дальнегорск*) сфалеритпен, галенитпен, халькопиритпен, касситеритпен, арсенопиритпен, темірлі хлориттермен, карбонаттармен және басқалармен бірлесе байқалады. Осы минералдар арасында пирротин ең соңғы жаралғандар қатарына жатады. Друзалы қуыстарда оның жақсы жаралған кристалдары әдетте сфалерит, кварц, кальцит және басқалар сияқты ертелеу жаралған минералдар кристалдары бетіне өскені байқалады.

4. Пирротиннің өзіндік сирек табылымдары шөгінді жаралымдар арасында сидеритпен бірлесе (*Керчь* темір кенорны, Украина), сондай-ақ фосфорит жалбырларында жасалған.

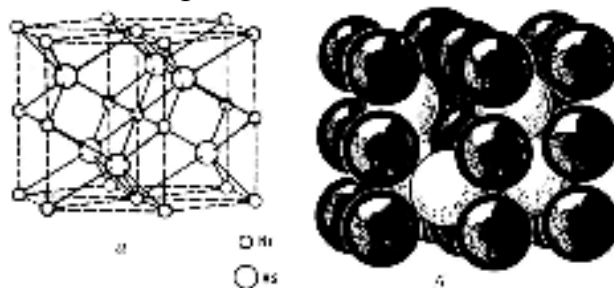
Гидротермалық процестердің соңғы сатыларында, күкірттің белсенділігі артқан кезде, пирротин алдымен метастабильді марказитпен, ал содан соң пиритпен алмасады. Морыған кезде тотығу белдемінде ол ең оңай ыдырайтын сульфид болып табылады. Алдымен темір закисінің сульфаты жаралады, оттегі болған жағдайда ол темір окисінің сульфатына өтеді. Соңғысы гидролизденіп, ерімейтін темір гидроокиселдерін (лимонит) және ерітіндіге өтетін еркін күкірт қышқылын береді.

Практикалық мәні. Құрамында басқа металл пайдалы қазбалар жоқ тұтас пирротин рудаларының жатындары шектеулі өнеркәсіптік мәнге ие. Күкірт қышқылы өндірісінің шикізаты ретінде бұл рудалар пирит рудаларына айтарлықтай жол береді. Олардағы күкірттің мөлшері әдетте 30-32 % шамасынан аспайды, ал пирит рудаларында күкірт 45-50 % шамасына жетеді.

НИКЕЛИН – NiAs. Синонимі: қызыл никель колчеданы.

Химиялық құрамы. Ni – 43,9 %; As – 56,1 %. Қоспалары: Fe (2,7 %-ке дейін), S (5 %-ке дейін), кейде Sb және Co. Әдетте байқалатын никелин құрамындағы кең ауытқулар көбінесе микроскопта ғана байқалатын бөгде минералдар қоспасына байланысты.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-дипирамидалық L^6L^27PC . Кеңістіктік тобы $P6_3/mmc(D^4_{6h})$. $a_0=3,616$, $c_0=5,020$. *Кристалдық құрылымы* күшәла атомдары ең тығыз жайласқан гексагондық құрылымымен және барлық октаэдрлік бос жерлерді никель атомдары толтыруымен сипатталады (102 а-сурет). Ол сондай-ақ никель атомдарының қарапайым гексагондық жайласуының жартысын күшәла атомдары тригондық призмалары санының жартысы толтырғанда алынады (102 б-сурет). Осылайша, күшәланың әр атомы никельдің алты атомымен тригондық призма бойынша қоршалған, ал никельдің әр атомы – күшәланың алты атомымен октаэдр бойынша. Одан басқа, никельдің әр атомы никельдің (тік бағыт бойынша) басқа екі атомына жақын, олар сондай-ақ ең жақын көршілері болып табылады. Осындай типті кристалдық құрылымының ерекшелігі осымен түсіндіріледі. Мұнда ол осындай құрылымдардағы атомдар байланысы кейде иондық байланыс белгілеріне ие болса, ал кейде металдық байланысты көрсетеді. Бұл жағдай шағылыстыру қабілеті, электрөткізгіштік және басқалар сияқты қасиеттерінің артуында ғана емес, сондай-ақ осы типті құрылымдарда кристалданатын қосылыстар құрамының кейбір тұрақсыздығында да көрініс табады.



102-сурет. Никелиннің кристалдық құрылымы: *a* - никель және күшәла атомдарының центрлері орналасқан жерлер; *б* - шарлар түрінде бейнеленген кристалдық құрылым

Кристалдарының келбеті. Кристалдары өте сирек кездеседі, көбінесе айқын жаралмаған пішіндерде, $\{10\bar{1}0\}$ жақтары басым түрде. Әдетте тұтас массаларда, кейде бүйрек тәрізді, дендрит және басқа пішін түрлерінде кездеседі.

Түсі – никелин сұрғылт мыс-қызыл сарғыш реңді. **Сызық түсі** қошқыл-қара. Жалтырлығы металша.

Қаттылығы 5. Морт. **Жіктілігі** $\{10\bar{1}0\}$ бойынша жетілмеген. **Мен.салмағы** 7,6-7,8. Электрді жақсы өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Бозғылт мыс-қызыл түсі, металша жалтырлығы, біршама жоғары қаттылығы, сондай-ақ аннабергиттің жасыл түсті жұғындысы аса тән.

HNO_3 қышқылындағы ерітіндісі алма-жасыл түске ие, аммиак қосылған ерітінді көк түске айналады. Диметилглиоксиммен қою қызғылт тұнба береді.

Жаралуы және кенорындары. Көбінесе *гидротермалық* желілік кенорындарда кездеседі, кейде айтарлықтай мөлшерде сеппелер немесе тұтас массалар түрінде болады. Онымен парагенезисте никель диарсенидтері – хлоантит, раммельсбергит, кейде сомтума висмут, сомтума күміс және басқалар жиі кездеседі.

Мору процесінде никелин бойынша ашық-жасыл минерал аннабергит – $\text{Ni}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ жаралады.

Россияда никелиннің ең қызықты табылымдары Кемерово облысындағы (Батыс Сібір) *Берикөл* алтынрудалы кенорында жасалған. Никельдің басқа арсенидтерімен бірге (раммельсбергит, герсдорфит және басқалар) карбонат желішіктерде бұрыс ұя тәрізді пішінді тұтас массалар түрінде байқалған. Никелин никель мен кобальттың диарсенидтерімен және сульфоарсенидтерімен бірге концентрлі-зоналы бүйрек тәрізді агрегаттарды *Хову-Аксы* (Тыва) кенорнының соңғы доломитінде жасайды. *Белореченск* кенорнында (Краснодар өлкесі) никелин раммельсбергитпен және уран кіреуекесімен бірге карбонат желілік материал құрамына кірген тарамдалған сфероидолит дендриттерін қалыптастырады.

Шетел кенорындарынан *Кенді* таулардағы (Саксония) кейбір желілік гидротермалық кенорындарды – сомтума висмутпен кобальт-никель-стронций формациясы деп аталатынды жасайды (Шнееберг типі) және Онтариодағы (Канада) белгілі *Кобальт* кенорнын айтуға болады. Мұнда никелин никель және кобальт сульфидтерімен және арсенидтерімен, сондай-ақ сомтума күміспен және басқа минералдармен бірлесе байқалады.

Практикалық мәні. Құрамында никель бар рудалар қоры біршама болған кезде маңызды өнеркәсіптік кен болып табылады.

МИЛЛЕРИТ – NiS. Синонимі: шашты колчедан.

Химиялық құрамы. Ni – 64,7 %, S – 35,3 %. Қоспалардан Fe (1-2 %-ке дейін), Co (0,5 %-ке дейін), Cu (1 %-ке дейін) болады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_3L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R3m(C^3_{3v})$. $a_0=9,60$; $c_0=3,15$. **Кристалдық**

құрылымы пирротиннің және жасанды NiS модификациясы (координациялық саны 6 никелин типі) құрылымынан өзгеше. Координациялық саны 5 бұл модификациясының (жоғары температуралық NiS модификациясы мен пентландиттің аралығындағы өтпелі) құрылымы өте күрделі. Оның негізгі мотиві қуыс денелі призма болып табылады, оның қабырғалары ортақ төбелері бардан тұрады, ал қырлары шала октаэдрлі NiS₅. Шала октаэдрлердің шаршы негізі призмалардың ішіне қараған, мұнда никель атомдары призма ішінде оның осіне қарай бағытталған. Олар никель атомдары бір-бірімен металдық байланысқа түсе алатындай біршама аз қашықтықтарға дейін жақындасады.

Кристалдарының келбеті. Әдетте кристалдары ине пішінді ірілеу бойлық айғызды болады. **Агрегаттары.** Көбінесе радиус-сәуле, шаш агрегаттарда кездеседі. Осы белгісі бойынша оны бұрын шашты колчедан деп атаған.

Түсі – миллерит жез-сары, кейде кемпіркосақ құлпырымды. **Сызық түсі** жасылтым-қара. **Жылтырлығы** күшті металша.

Қаттылығы 3-4. Морт. Қылды кристалдары біршама серпімді. **Жіктілігі** {1011} және {0112} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 5,2-5,6. **Басқа қасиеттері.** Электрді жақсы өткізеді (Ni-Ni металдық байланыстағы электрондардың шашылымдануы салдарынан).

Диагноздаушы белгілері. Жиі кездесетін шаш пішіндері және радиус-сәуле агрегаттары, жез-сары түсі өте тән. Ол бұрыс пішінді түйірлерде немесе массаларда кездескен жағдайларда, оның құрамында никель мен күкірт бар екенін химиялық жолмен тексермейінше, анықтау өте қиын болады.

HNO₃ қышқылында және патша арағында еріп, ерітіндіні жасыл түске бояйды (бұл жағдайда никельге байланысты), күкіртті бөледі. Никельге диметилглиоксиммен аса тән реакция байқалады.

Жаралуы және кенорындары. Табиғатта біршама сирек кездесетін минералдар қатарына жатады және басым көпшілік жағдайларда нағыз *гидротермалық* текті жаралым болып табылады.

Кейде мыс-никельді сульфидтер рудасы кенорындарында ең соңғы гидротермалық минерал ретінде кездеседі, ол пентландит бойынша дамиды, атап айтқанда – *Норильск* тобы кенорындарында.

Оның шоғырлары нағыз желілік гидротермалық кенорындарда басқа никельді және кобальтты минералдар бірлестігінде байқалады. Олар негізінен күкіртті және күшәлалы қосылыстардан тұрады. Мұндай жағдайларда сәуле агрегаттарда линнеитпен, герсдорфитпен, галенитпен, флюоритпен, кальцитпен, кварцпен және басқалармен парагенезисте байқалады.

Россия аумағында оның минералогиялық мәнге ие табылымдары *Березовское* алтын рудалы кенорында (Орал). Ол сәуле немесе бума тәрізді агрегаттар түрінде жұқа карбонат желішіктерде лиственит (метасоматоздық өзгерген ультранегізді таужыныс) арасында орналасады. Ине тәрізді кристалдары және олардың Cl-хлоридтармен және кальцитпен бумалары

Сарановск кенорнының (Солтүстік Оралда) тұтас хромит рудаларындағы уваровитпен минералданған альпілік типті жарықшақтар қуыстарында орналасады.

Шет ел кенорындары ішіндегі ең белгілері *Кенді* тауларда (Саксония), атап айтқанда *Фрайберг*, *Шнееберг* және басқалар. Мұнда миллерит никель мен кобальттың басқа сульфидтерімен, сондай-ақ галенитпен, кальцитпен, флюоритпен және басқалармен бірлеседі. Миллериттің майда сәулелі агрегаттары *Кладно* (Чехия) тас көмір кенорнында белгілі.

Практикалық мәні. Никельге ең бай минералдардың бірі ретінде түсті металдар өнеркәсібі үшін маңызды мәнге ие. Оның таужыныстардағы немесе рудалардағы сирек сеппелері де, әсіресе олар басқа никельді және кобальтты минералдармен бірлескен жағдайда қызығушылыққа ие болады.

ПЕНТЛАНДИТ – $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$. Синонимі: темірникельді колчедан.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Fe мен Ni арасындағы қатынас әдетте 1:1, кобальт 0,4-2,5 % мөлшерінде (кейде одан да асады) никельге, кейде күміске изоморфтық қоспа түрінде ұдайы кездеседі.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=10,02$. Жақсы жаралған кристалдар түріне табиғатта осыған дейін кездескен емес. Бұрыс пішінді түйірлер және кірінділер түрінде Норильск және Садбери типті магмалық кенорындардың пирротинді рудаларында таралған. **Кристалдық құрылымы.** Күкірт аниондары ең тығыз кубтық жайласу жасайды. Темір мен никель катиондары негізінен тетраэдрлік қуыстардың жартысын (күкірт аниондарының саны бойынша) толтырады, ал олардың қалған бөлігі (химиялық формуласына сәйкес) – октаэдрлік қуыстардың сегізден бірін алады. Құрылымдағы металл атомдары изометрлі сауыс тәрізді оқшаулануларды (кластерлерді) жасауға бейім, мұнда металдық байланыс орын алады.

Түсі - пентландит қола-сарыдан сұрға дейін, пирротинге қарағанда біршама ашықтау. **Сызық түсі** жасылтым-қара. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 3-4. Морт. **Жіктілігі** {111} октаэдр бойынша жетік, омырылымы баспалдақты. **Мен. салмағы** 4,5-5. **Басқа қасиеттері.** Магниттілігі жоқ. Электрді жақсы өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Пентландитті макрокоптық жолмен анықтау өте қиын, өйткені ол әдетте пирротин массасы арасында өте ұсақ түйірлер түрінде кездеседі. Тек ірі түйірлерін ғана пирротинмен салыстырғанда анықтау реңі және жақсы білінетін жіктілігі бойынша анықтауға болады.

HNO_3 қышқылы оны ерітіп, жасыл түске бояйды. NH_4OH қосқанда темір гидроокисінің қошқыл тұнбасының отыруына әкеледі. Диметилглиооксиммен никельге күрт білінген реакция береді.

Жаралуы және кенорындары. Пирротинмен және халькопиритпен тұрақты дерлік парагенетикалық ассоциация береді. Бірақ ол тек негізді және ультранегізді магмалық таужыныстармен генетикалық байланысты сульфид рудаларда ғана кездеседі (габбро-норит, перидотит және басқалар). Аталған таужыныстардағы осы үш минерал парагенезисі өзіндік болатындығы сондайлық, олардың құрамындағы жеңілдеу анықталатын минералдар –

пирротин мен халькопиритті анықтау жеткілікті болады. Мұнда мұқият микроскоптық зерделеу жүргізген кезде маңызды өнеркәсіптік мәнге ие пентландит те анықтала алатынына деген сенім артады. Шағын мөлшерде сондай-ақ магнетит және платина минералдары: сперрит – $Pt[As_2]$, палладийлі платина, куперит – PtS , брэггит – $(Pt,Pd,Ni)S$ және басқалар кездеседі.

Тотығу белдемінде никель сульфидтері бойынша суда жеңіл еритін құрамы $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ (*моренозит*) немесе $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ (*рётгерсит*) жаралады, ол көбінесе қуыстарда және кен үңгімелері қабырғаларында бозғылт-жасыл сталактиттер және кристалл қабыршақтар түрінде байқалады.

Россия аумағында құрамында пентландит бар мыс-никель рудаларының өте ірі жатындары *Норильскде, Мончегорскде және Печенгада* белгілі.

Мұндай рудалар кенорындарының ең ірілерінің бірі *Садбери* деген атпен белгілі, ол Канадада (Онтарио көлі маңында) орналасқан. Кен денелері ірі жатындар және желілер түрінде негізді таужыныстардан тұратын (норит, габбро және басқалар) магмалық массивтердің төменгі жақтарында, сондай-ақ астындағы метаморфтық комплекс таужыныстарында орналасады. Бұл рудалар құрамында 1-5 % Ni, 2-3 % Cu және платина металдары болады.

Практикалық мәні. Құрамында пентландит бар рудалар өндірілетін никельдің негізгі көзі болып табылады. Никельдің әлемдік өндірісінің 90 % шамасы мыс-никельді сульфид рудаларынан алынады. Бұл рудалардан никельден басқа кобальт, мыс, күміс, платина тобы металдары да және шамалы мөлшерде селен мен теллур айырып алынады.

Никель арнайы аспаптар, ыдыстар жасау үшін, техникалық жағынан маңызды көптеген балқымалардың (нейзильбер, никельді құрыш, реостаттар үшін мыспен және мырышпен балқымасы, монета балқымасы және басқалар) құрамдас бөлігі ретінде, никельмен көмкеру қолданылатын қосылыстар алуға және т.б. пайдаланылады.

5. Халькопирит тобы

Бұл топта күрделі Cu, Fe және Sn сульфидтерін – тетрагондық сингонияда кристалданатын халькопирит пен станнинді сипаттаймыз. Олар кристалдық құрылымы бойынша сфалеритке жақын болғанымен, бірақ физикалық қасиеттері бойынша одан күшті айрықшалаанады. Сфалеритке олар кейде өте ұсақ кірінділер түрінде кездеседі. Бұл кірінділер шектеулі қатты ерітіндінің ыдырау өнімдері болып табылады, ал бұл жағдай кристалдық құрылымының жақындығымен түсіндіріледі, әсіресе жоғары температура кезінде. Сфалерит өз кезегінде қатты ерітінділердің ыдырау өнімі түрінде станнинде де байқалады.

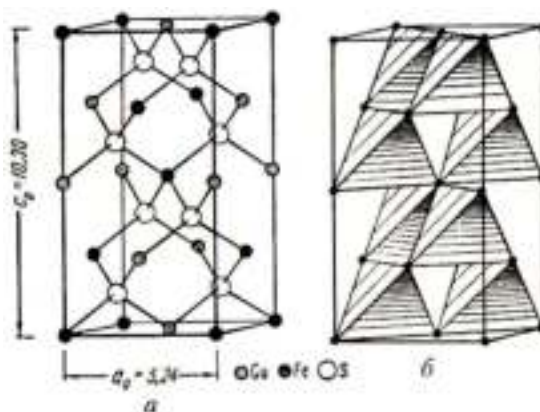
Мұнда мыс пен темірдің және бір күрделі сульфиді – борнит сипатталады. Ол бірқатар қасиеттері бойынша халькопиритке жақын және онымен кең изоморфтық қоспалар жасауға қабілетті. Салқындаған кезде олар ыдырап кетеді. Бұл топқа сонымен қатар кубанит кіреді.

ХАЛЬКОПИРИТ – CuFeS_2 . Атауы грекше *халькос* – мыс, *пирос* – от дегеннен жаралған. Синонимі: мыс колчеданы.

Химиялық құрамы. Cu – 34,57 %; Fe – 30,54 %; S – 34,9 %. Химиялық талдаулар деректері әдетте осы цифрларға өте жақын. Қоспалар ретінде өте мардымсыз мөлшерде кейде Ag, Au және басқалар болады.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі тетрагондық-скаленоэдрлік $L^2_42L^22P$. Кеңістік тобы $I42d(D^2_{2d})$. $a_0=5,24$; $c_0=10,30$. $a:c=1:1,9705$.

Кристалдық құрылымы біршама қарапайым тетрагондық торымен (*103-сурет*) сипатталады, ол кубтық жақцентрліктің туындысы болып табылады. Халькопириттің элементар ұяшығы сфалерит типті ұяшықтың биіктігі бойынша екі еселенген түрі сияқты (*94-суретте*). Дәл сфалериттегі сияқты күкірттің әрбір ионы тетраэдр бұрыштарында әр қабатта белгілі бір ретпен орналасатын мыс пен темірдің төрт ионымен қоршалған. Бірінші және бесінші катиондық қабаттарда, яғни тетрагондық призманың жоғарғы және төменгі жақтарында (*103 а-сурет*), квадраттың бұрыштары бойынша Fe иондары, ал ортасында – Cu иондары орналасады. Үшінші қабатта (призманың ортасында) керісінше, квадраттың бұрыштарында Cu иондары, ал оның ортасында Fe иондары орналасады. Екінші және төртінші қабаттарда Cu ионының екеуі Fe ионының екеуімен айқаса орналасады, мұнда екінші қабат Cu катиондарының астында Fe катиондары орналасады және керісінше. Барлық тетраэдрлік топтамалар бірдей бағдарланған (*103 б-сурет*), бұл жағдай кристалдар гемиэдриасына байланысты.

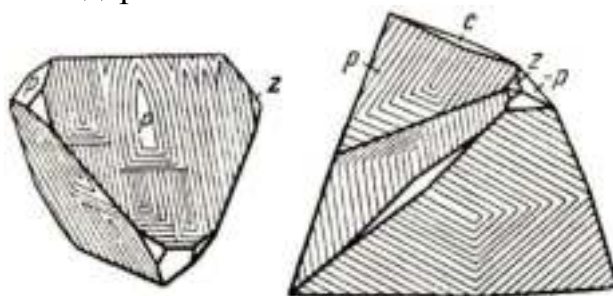


103-сурет. Халькопириттің кристалдық құрылымы: *a* - мыс, темір және күкірт атомдары центрлерінің орналасуы; *б* – тетраэдрлер түрінде бейнеленген сол құрылымның өзі

Сфалериттен айырмашылығы, халькопирит беймөлдірлікке, айқын металша жылтырлыққа ие және жетік жіктілігі жоқ.

Кристалдарының келбеті. Халькопириттің кристалдары сирек және тек друзалы қуыстарда ғана кездеседі. Олар көбінесе $\{112\}$ және $\{11\bar{2}\}$ комбинацияларымен жалған октаэдрлік немесе тетраэдрлік келбетке (*104-сурет*), кейде скаленоэдрлік және басқаларға ие. Негізгі тетраэдрдің жақтары күңгірт немесе айғыздармен жабылған, ал теріс жағындағылар – жылтыр. Қосақтары (112) бойынша жиі, (102) бойынша және басқа заңдар бойынша сирек. **Агрегаттары.** Әдетте тұтас массаларда және бұрыс пішінді сеппе

түйірлер түрінде кездеседі. Сондай-ақ бүйрек тәрізді және сауыс пішіндерде колломорфтық жаралымдары белгілі.



104-сурет. Халькопириттің тетраэдр кристалы және қосағы: $p\{112\}$, $z\{011\}$, $c\{001\}$

Түсі жез-сары, көбінесе күңгірт-сары немесе ала-кұла құбылмалы. **Сызық түсі** қара жасылтым ренді, кей жерлерінде металша жылтыр. Беймөлдір. Жылтырлығы металша күшті.

Қаттылығы 3-3,5. Біршама морт. **Жіктілігі** $\{101\}$ бойынша жетілмеген. **Мен.салмағы** 4,1-4,3.

Диагноздаушы белгілері. Өзіндік түсі, пириттен күрт айрықшаланатын қаттылығы, омырылымда жі кездесетін құлпырымы бойынша біршама жеңіл анықталады. Миллерит бұрыс пішінді түйірлерде халькопиритке ұқсас көрінеді, бірақ күштірек жылтырлыққа ие болады және никельге бай.

HNO_3 қышқылында біртіндеп күкіртті бөле отырып ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Халькопирит табиғатта әр түрлі жағдайларда жаралады.

Ол пирротиннің серігі ретінде көбінесе *магмалық* кенорындарда негізді интрузиялық таужыныстардағы мысты-никельді сульфид рудаларда пентландитпен, магнетитпен, кейде кубанитпен және басқалармен бірлесе кездеседі.

Ең кең дамығаны нағыз *гидротермалық* желілік және метасоматоздық (соның ішінде жапсарлық-метасоматоздық) кенорындарда. Ол әдетте пиритпен, пирротинмен, сфалеритпен, галенитпен, солғын кендермен және басқа көптеген минералдармен бірлеседі. Бұл кенорындарда бейруда минералдардан кварц, кальцит, барит, құрамы бойынша әр түрлі силикаттар және басқалар кездеседі.

Экзогендік процестерде халькопирит шөгінді таужыныстар арасында күкіртсутекті ашыған жағдайларда органикалық қалдықтардың ыдырауы және мысты ерітінділердің келуі кезінде өте сирек жаралады. Оның ағашты және организмдерді алмастыру құбылыстары (халькозинмен және марказитпен қатар) байқалған.

Халькопирит мору процестерінде химиялық ыдырап, мыс және темір сульфаттарын береді. Мыстың еритін сульфаты CO_2 немесе карбонаттармен әрекеттескенде оттегі және су болған жағдайда малахит пен азуритті жасайды; SiO_2 гидрозольдерімен – хризоколла; мору белдемінде жаралатын әр түрлі қышқылдармен әрекеттескенде - әр түрлі тұздар: арсенаттар, фосфаттар, ванадаттар, кейде хлоридтер және басқалар жаралады. Өте құрғақ

климат жағдайларында мору қыртысында сіңетін жер беті суында оңай еритін мыстың әр түрлі сульфаттары да сақталады.

Халькопирит бойынша псевдоморфозалар, яғни оның мыстың туынды сульфидтерімен - борнитпен, халькозинмен және ковеллинмен алмасуы мыс кенорындарының сульфидке қайта баю белдемдерінде кең таралған.

Халькопирит ілеспе ретінде белгілі бір мөлшерде әр түрлі сульфид рудалардың барлық дерлік гидротермалық кенорындарында кездеседі. Көптеген кенорындардың рудасында ол елеулі құрамдас бөлігі болып табылады және дербес өнеркәсіптік мәнге ие болады. Россия және ТМД аумағында халькопирит басты мыс минералы болып табылатын кенорындардың барлық генетикалық типтері бар.

Оралда көпшілік бөлігінде палеозойдың метаморфталған эффузиялық-шөгінді таужыныстары қатқабаттарында орналасқан колчедан жатындары деп аталатындарда кең таралған. Бұл кенорындардың рудаларында басты минерал пирит (60-80 %), ал халькопирит онымен парагенетикалық байланысқан. Кейбір жатындарда халькопирит сфалеритпен тығыз ассоциацияланады. Мұндай кенорындар: *Карпушинское, Сибай, Левихин* және басқалар. Құрамы бойынша осындай кенорындар Закавказьеде белгілі.

Әктастардағы жапсарлық-метасоматоздық кенорындар типіне Солтүстік Оралдағы *Тура* кенорындар тобы және Кузнецк Алатауының шығыс беткейіндегі (Хакасия) *Минусинск* ауданы кенорындарының бірқатары жатады. Халькопирит мұнда әдетте пиритпен, кейде пирротинмен, магнетитпен және басқа минералдармен парагенетикалық байланысқан.

Кенорындардың қызықты типіне *Жезқазған* (Орталық Қазақстанның батысында) және *Удокан* (Забайкалье) кенорындары жатады. Мұнда халькопирит борнитпен және халькозинмен бірге ұсақ түйірлі құмтастың цементін жасайды. Бұл минералдар гидротермалық ерітінділерден кварц түйірлері аралығындағы әкті цементті алмастыру жолымен жаралған деп есептеледі. Дегенмен соңғы жылдардың зерттеулері бұл кенорындардың жаралуы бастапқы шөгінді жолымен жүрген деген жорамал жасауға негіз болды.

Шет ел кенорындарынан тек кейбіреулерін ғана келтіреміз: *Бингхэм* Юта штатында (АҚШ), *Чукикамата* (Чили), *Шаба* мысты құмтастары (бұрынғы Катанга, Конго демократиялық республикасы) және оның оңтүстігінде – Солтүстік Родезияда.

Практикалық мәні. Құрамында халькопирит бар рудалар мыстың ең басты көзі болып табылады. Оның мұндай рудалардағы өнеркәсіптік мөлшері 2-2,5 % ауқымында өзгереді.

Металлургия заводтарында алынатын мыс таза күйінде де, балқымалар (жез, қола, томпак және басқалар) түрінде де тұтынылады. Мыстың негізгі тұтынушысына электрөнеркәсібі жатады. Оның айтарлықтай мөлшері машина жасау, кеме жасау өнеркәсібінде, химия өнеркәсібі үшін құралдар жасауға, тұрғын үй құрылысында және басқаларда қолданылады.

СТАННИН – Cu_2FeSnS_4 . Синонимі: қалайы колчеданы.

Химиялық құрамы, %: Cu-29,5; Fe-13,1; Sn-27,5; S-29,9. Талдау бойынша мөлшері, %: Sn 22-27,7; Cu 22,9-31,5; Fe 4,7-23,3. Сонымен қатар мына қоспалар кездеседі, %: Zn 0,75-10,1; Sb<3; Cd<1,5; Pb<2; Ag<1.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі тетрагондық-скаленоэдрлік $L^2_4L^2_2P$. Кеңістіктік тобы $I42d (D^{12}_{2d})$. $a_0=5,46$; $c_0=10,725$. $a:c=1:1,966$.

Сирек кездесетін ұсақ кристалдары кубтық немесе тетрагондық келбетке ие. Сыртқы түрі бойынша олар халькопирит кристалдарына өте ұқсас келеді. Әдетте станнин бұрыс түйірлер және тұтас массалар түрінде байқалады. Кристалдық құрылымы халькопириттің құрылымына ұқсас (*103-суретте*), бірақ катиондарының орналасуында мынадай рет байқалады: бірінші және бесінші қатарларда квадраттың төбелерінде Sn иондары, орталығында – Fe; ортаңғы қабатында, керісінше төбелерінде Fe иондары, ал орталықтарында – Sn; жұп қабаттары (екінші және төртінші) Cu иондарынан тұрады. Станниннің кристалдық құрылымы иондардың орналасуы бойынша халькопириттікіндей, яғни сфалериттің кристалдық құрылымына туыстық жақындығы көрінеді.

Түсі – станнин болат-сұр түсті, өзіндік зәйтүн-жасылтым реңі (жаңа омырылымда) болады. Халькопириттің микроскоптық мол кірінділері болған жағдайларда айқын сарғыш реңге ие бола алады. **Сызық түсі** қара. **Жылтырлығы** жаңа омырылымда металша, бірақ жылдам күңгірттенеді.

Қаттылығы 3-4. Морт. **Жіктілігі** {110} және {001} бойынша жетілмеген, сирек байқалады. **Мен. салмағы** 4,3-4,5.

Диагноздаушы белгілері. Оған өзіндік зәйтүн-жасылтым түс тән. Осы белгісі бойынша ол өзіне бірқатар белгілері бойынша (қаттылығы, морттығы және басқа) ұқсас солғын кендерден біршама оңай ажыратылады.

Оның құрамындағы мыс, темір және күкірт химиялық реакциялармен анықталады. HNO_3 қышқылында күкірт пен қалайының қос тотығын бөліп ыдырайды; оның ерітіндісі көк түске боялады.

Жаралуы және кенорындары. Біршама аз таралған минерал болып табылады және *гидротермалық* қалайы рудасы кенорындарда кездеседі.

Ол вольфрам-қалайы кенорындарында касситеритпен (SnO_2), халькопиритпен, арсенопиритпен, вольфрамитпен және басқа минералдармен бірлестікте байқалады.

Сфалерит-галенитті және сфалерит-пирротинді қалайы құрамды рудаларда жиірек кездеседі. Бұл рудаларда онымен сфалерит және халькопирит парагенезісі, ал кейде пирротин, галенит және басқалар өте тығыз байланысты. Бірқатар жағдайларда оның касситеритпен (SnO_2) алмасу құбылысы анықталады және керісінше.

Тотығу белдемінде ақыр соңында лимонит және касситерит жаралатын ыдырауы болады. Бірақ қалайының негізгі массасы мұнда коллоид ерітіндіге өтетіні көрінеді, ол ары қарай коагуляцияланады да соның нәтижесінде жер сияқты, кеуек немесе колломорфтық касситерит жиырылымдарын береді.

Россия аумағында станнин өте мардымсыз мөлшерде көптеген қалайы-вольфрам кенорындарында кездескен. Мысалы *Букукада* (Забайкалье) көбінесе халькопиритпен бірлесе, касситеритпен және сфалеритпен

парагенезисті өлшемі 1 см-ге дейінгі түйірлері болған. *Тигринное* (Приморье) қалайы-вольфрам кенорны рудаларында елеулі рөл атқарады, мұнда кварц желілерінде касситеритпен, вольфрамитпен, арсенопиритпен және сфалеритпен бірге орналасады. Ол *Синанча* (қазір *Черемшана*) сияқты қорғасын-мырышты кенорындарда (Приморье) байқалады.

Шетел кенорындарын алсақ – *Циновец* (бұрынғы Циннвальд - Кенді тауларда, Чехия), айтарлықтай мөлшерде Оңтүстік Қытайда, *Циханьда* (Тасмания аралы) және әсіресе *Боливияның* көптеген кенорындарында (Ахота, Потози және басқалар) кездескен.

БОРНИТ – Cu_5FeS_4 . Синонимі: ала-құла мыс рудасы. Табиғи жағдайларда халькопиритпен шектеулі қатты ерітінділер жасайды, температура төмендеген кезде ыдырап кетеді. Ыдыраудың бұл процесі эксперименттік жолмен зерделенген.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Теориялық тұрғыдан Cu_5FeS_4 химиялық формуласына сәйкес, оның құрамы мынадай болуы тиіс, %: Cu – 63,3; Fe – 11,2; S – 25,5. Бірақ борниттің құрамы айтарлықтай ауқымда ауытқиды, өйткені бұл минерал өзінің құрамына қатты ерітінділер түрінде халькопирит пен халькозинді енгізуге қабілетті. Басқа химиялық қоспалардан көбінесе Ag байқалады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fd\bar{3}m(O^7_h)$. $a_0=10,93$. кристалдары өте сирек кездеседі. Әдетте тұтас массаларда және сеппелер түрінде байқалады. **Кристалдық құрылымы.** Борнит күрделенген кубтық ең тығыз жайласқан құрылымды болады, оның тетраэдрлік бос жерлері толтырылады. Температура төмендеген кезде ромбоэдрліктен моноклиндік модификацияға қарай бірқатар полиморфтық айналулардан өтеді. Мұнда металл атомдары реттеледі, ал аниондық жайласу бұрмаланады. Рентгенметриялық деректер бойынша борниттің кристалдық құрылымында мыстың екі сортты иондары әр түрлі жағдайларда орналасады және оның химиялық формуласы мынадай түрге ие болуы мүмкін: $2Cu_2S \cdot CuFeS_4 = (Cu_4CuFeS_4)$, яғни мыстың төрт ионы бір валентті, ал бесінші ионы мен темір екі валентті.

Түсі жаңа омырылымда күңгірт мыс-қызылдан жиренге дейін; әдетте ашық ала-құла (көбінесе көкшіл) құлпырыммен көмкеріледі. **Сызық түсі** сұрғылт-қара. Беймөлдір. **Жылтырлығы** металшадан шала металшаға дейін.

Қаттылығы 3. Біршама морт, бірақ пластикалылығы халькопиритке қарағанда басымдау. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ. **Мен.салмағы** 4,9-5. **Басқа қасиеттері.** Электрөткізгіштікке ие.

Диагноздаушы белгілері. Түсі және көкшіл құлпырымы, төмен қаттылығы бойынша оңай ажыратылады. Ашық-көк құлпырымы бойынша ковеллин деп жаңсақ ажыратылуы мүмкін (бірақ пышақпен сыдырған кезде минералдың шын түсі қандай екеніне қарап ажыратуға болады).

HNO_3 қышқылында қалқып шығатын күкірт бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Борнит табиғатта эндогендік те, экзогендік те жаралымды болып кездеседі.

Эндогендік жаралымды борнит кейбір *гидротермалық* кенорындарда кездеседі. Бірқатар жағдайларда оның құрамында қатты ерітіндінің ыдырау өнімі болып табылатын микроскопиялық, әдетте қалақша халькопирит кірінділері болады. Онымен парагенезисте халькопириттен басқа эндогендік халькозин, галенит, сфалерит, пирит және басқалар кездеседі.

Экзогендік борнит *сульфидке қайта баю* белдемінде кең дамиды. Ол туынды сульфидтің ең бастапқысы ретінде метасоматоздық жолмен, негізінен халькопириттің есебінен бұрыш пішінді желішіктер, жиектер немесе тұтас массалар түрінде жаралады. Көптеген мыссульфид кенорындарда байқалады, бірақ елеулі массаларда сирек кездеседі. Мыстың басқа туынды сульфидтерімен салыстырғанда орнықсыздау болып, мысқа байырақ халькозинмен және ковеллинмен алмасады. Тотығу белдемінде ыдыраған кезде борнит бойынша оттек қосылыстары: малахит, азурит, кейде куприт және басқалар жаралады.

Россия аумағында эндогендік борнит эндогендік халькозинмен бірлесе Оңтүстік Оралдың бірқатар колчедан жатындарында: *III Интернационал атындағы, Держинск* кенорнында (Қарабаш тобы) және басқаларда кездескен.

Сондай-ақ халькопиритпен парагенезисте *Жезқазған* кенорнында (Орталық Қазақстан) және *Удокан* кенорнында (Забайкалье) мысты құмтастар деп аталатындарда кең таралған (жаралуы туралы *халькопиритті* қараңыз).

Экзогендік борнит айтарлықтай мөлшерде мыссульфид кенорындарының барлығында дерлік сульфидке қайта баю белдемінде кездеседі, әсіресе егер мору қоңыржай климат жағдайларында жүрген кезде.

Практикалық мәні. Борнит халькопиритпен салыстырғанда мысқа байырақ минерал болып табылатындықтан, тіпті сеппе борнит рудаларының өзі қоры мол болған кезде өнеркәсіптік қызығушылық туындататыны даусыз.

КУБАНИТ – CuFeS_3 . Сингониясы ромбылық. **Химиялық құрамы**, %: Cu 22-24; Fe 40-42; S 34-35. **Түсі** пирротиннің түсіне өте ұқсас, ал кейде халькопиритке келеді – қола-сары. **Жылтырлығы** металша. **Қаттылығы** 3,5. **Жіктілігі** жоқ. **Мен.салмағы** 4,03-4,18. Магниттілігі күшті.

Халькопиритпен парагенетикалық тығыз байланысты. Көбінесе халькопиритте микроскопта анықталатын және қатты ерітінділердің ыдырау өнімі болып табылатын қалақша бөлінімдер түрінде анықталады. Алғаш рет *Морро-Вело* (Бразилия, Минас-Жераис) алтын рудалы кварц желілерінде кездескен. Россияда *Норильск* мысты-никельді сульфид жатындарда, сондай-ақ *Люппико* (Солтүстік Приладожье) магнетит-везувиан-диопсид скарндарында белгілі.

6. Ковеллин тобы

Мұнда эмпирикалық химиялық формуласы бойынша қарапайым қосылыстар жатады. Бірақ олар күрделі кристалдық құрылымға ие. Осыған байланысты минералдар құрамына иондардың екі сорты (катиондар арасында

да, аниондар арасында да) кіреді. Сондықтан химиялық формуласы да күрделілеу түрге ие. Бұл топта біз тек қана бір минералды – ковеллинді қарастырамыз.

КОВЕЛЛИН – CuS немесе $\text{Cu}_2^{1+}\text{S}\cdot\text{Cu}^{2+}\text{S}_2$. Ол италиялық минералог Ковелли фамилиясы бойынша аталған. Синонимі: мыс индигосы.

Химиялық құрамы. Cu – 66,5 %, S – 33,5 %. Химиялық талдаулар Fe қоспасы, кейде Se , Ag және Pb бар екенін көрсетеді.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-дипирамидалық L^66L^27PC . Кеңістіктік тобы $P6_3/mmc(D^4_{6h})$. $a_0=3,80$; $c_0=16,32$. Кристалдары төтенше сирек кездеседі және ұсақ жұқа тақташалар түрінде болады. **Кристалдық құрылымы.** Ковеллин өзіндік ерекше қабатты гексагондық құрылымға ие (*105-сурет*). Рентгенқұрылымдық зерттеулер нәтижесі бойынша, құрылымы бұрынғы химиялық формуласы – CuS негізінде күткенге қарағанда әлдеқайда күрделі болып шықты. Мұнда күкірт иондарының екі түрі анықталатыны тән: жекелеген S^{2-} иондары және жұпталған $[\text{S}_2]^{2-}$ иондары. Екі бір-біріне тығыз жымдасқан ионнан тұратын бұл иондар комплексі пириттің кристалдық құрылымында орын алғанға ұқсас болып келеді, S-S қашықтығы да дәл сондай $2,05\text{\AA}$ (төменде *115-суретте* көрсетілгендей). Мыс иондары да екі сортты болып келеді: Cu^{1+} және өлшемдері кішілеу Cu^{2+} . Мыстың әр екі валентті ионы жекелеген үш S^{2-} ионымен тең жақты үшбұрыш түрінде қоршалады. Бір-бірімен төбелері бойынша қосылған триадалар ковелиннің кристалдық құрылымында алтылық оське перпендикуляр бағдарланған қабаттарды құрайды (*105-суретте* – қара түсті). Осындай қабаттардың аралығында орталығында Cu^{1+} бір валентті иондары бар тетраэдрлердің екі қабаты орналасады. Мұнда бір-біріне қарсы қараған осындай тетраэдрлердің табандары тік бағдарланған жұпталған $[\text{S}_2]^{2-}$ иондарымен қосылған (*105-суреттің* орталығында, жоғарғы және төменгі жақтарында олар қуыс қысқарған үшбұрышты призмалар түрінде көрсетілген). Ал оларға қарсы орналасқан тетраэдрлердің төбелерінде жекелеген S^{2-} иондары орналасады да олар үшбұрыш қабаты үшін де, одан кейінгі тетраэдрлер қабаты төбелері үшін де ортақ болады. Осылайша, ковеллин құрылымында көміртектің екі модификациясының да (алмас пен грфиттің) құрылымдық элементтерінің бірлескені сақталады. Егер бір мұндай кристалдық құрылымның иондарын санап шықсақ, онда ковелиннің формуласын $\text{Cu}_2^{1+}\text{S}\cdot\text{Cu}^{2+}\text{S}$ деп жазылудың дұрыс екенін көреміз. Құрылымның осы ерекшеліктерімен минералдың пішіні, жіктілігі, ерекше оптикалық қасиеттері, қыздырған кезде күкірттің бір бөлігін айдап шығаруға қабілеті және басқалар тамаша үйлеседі.

Агрегаттары. Сирек кездесетін кристалдары гексагондық қалақшалар түріне ие. Әдетте ковеллин ашық-көк түсті немесе көкшіл-қара ұнтақ немесе күйе массалардың жұқа жұғындысы түрінде байқалады.

Түсі – ковеллин индиго-көк түсті. **Сызық түсі** сұрдан қараға дейін. Беймөлдір. Өте жұқа парақшаларда жасыл түсті жарық өткізеді. **Жылтырлығы** металша. **Қаттылығы** 1,5-2. Морт. Жұқа қалақшаларда

біршама майысқақ. Жіктілігі $\{0001\}$ бойынша жетік. Мен. салмағы 4,59-4,67.



105-сурет. Ковелиннің полиэдрлердегі кристалдық құрылымы (Н.В. Белов бойынша): тетраэдрлер – күкіртпен координацияланған Cu^{1+} иондары; үшбұрыштар – Cu^{2+} ; қуыс тригондық призмалардың тік қырлары - $[\text{S}_2]^{2-}$ гантельдері

Диагноздаушы белгілері. Ашық-көк түсі, төмен қаттылығы және мыс сульфидтерімен бірлестігі бойынша оңай танылады. Ыстық HNO_3 қышқылында күкірт бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Ковеллин әдетте өте аз мөлшерде мыс руда кенорындарында сульфидке қайта баю зонасына аса тән экзогендік минералдардың бірі болып табылады. Әдетте метасоматоздық жолмен мыстың бастапқы және туынды сульфидтерінің: халькопириттің, борниттің, халькозиннің және басқалардың орнында дамиды. Метасоматоздық жолмен жаралуымен қатар оның жарықшақтар бойында колломорфтық жаралымдар немесе жер тәрізді массалар түрінде дербес түзілу оқиғалары белгілі.

Гидротермалық текті ковеллин пиритпен парагенезисте өте сирек және аз мөлшерде *Бьютт* (АҚШ, Монтана штаты) және басқа жерлерде кездеседі.

Фумарола әрекетінің өнімі ретінде Везувий лаваларында байқалып, осында ковеллин алғаш рет хатталған, сондай-ақ *Узон* (Камчатка) кальдерасында кездескен.

Дербес кенорындар жасамайды. Өте мардымсыз немесе шағын мөлшерде мыссульфид руда кенорындарының барлығында дерлік (сульфидке қайта баю белдемдерінде) кездеседі. Үлкен массаларда *Кавау* аралында (Жаңа Зеландия маңында) кездеседі.

Практикалық мәні. Ковеллин-халькозин рудалары құнарлы мыс рудалары қатарына жатады. Олар бастапқы халькопирит рудасымен салыстырғанда сеппелік дәрежесі бірдей болғанның өзінде мыстың мөлшері екі есе артық болады.

7. Аурипигмент тобы

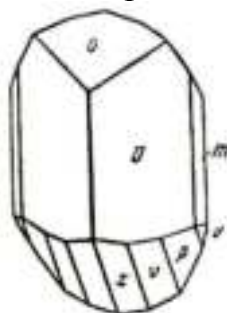
Бұл топта үш валентті күшәла сульфидін – аурипигментті, сондай-ақ реальгарды қарастырамыз. Олар бірқатар ортақ қасиеттерге ие.

АУРИПИГМЕНТ – As_2S_3 . Атауы латынша *aurum* – алтын және *pigmentum* – бояу дегеннен шығады. Бұл минералдың құрамында алтын бар деп жорамалданған.

Химиялық құрамы. As – 61 %, S – 39 %. Әдетте тек мынадай механикалық қоспалар ғана анықталады: Sb_2S_3 , FeS_2 (марказит), SiO_2 , саз зат және басқалар. Тек Se, Sb, V (0,02 %-ке дейін), Ge ($4 \cdot 10^{-6}$ % шамасына дейін) изоморфты қоспалар ретінде қарастырыла алады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі ромб-призмалық L_2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/n(C_{2h}^5)$. $a_0=11,46$; $b_0=9,59$; $c_0=4,24$; $\beta=90^{\circ}27'$. Рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, аурипигменттің кейбір үлгілерінің құрамында механикалық қоспа түрінде сомтума күкірттің айтарлықтай мөлшері болады.

Кристалдық құрылымы молекулалық қабаттасқан; As_2S_3 құрайтын жиырылған қабаттары өзара вандерваальс күштерімен нашар байланысқан. Аса жетік $\{010\}$ бойынша жіктілігі, төмен қаттылығы, жоғары оптикалық анизотропиясы, жеңіл балқығыштығы және басқалар осыған байланысты. **Кристалдарының келбеті.** Аурипигменттің кездесетін кристалдары әдетте призма келбетіне ие (*106-сурет*), көбінесе жақтары қисайған болып келеді. Ең жиі байқалатындары мынадай пішіндері: пинакоидтар $\{100\}$ және $\{010\}$; призмалар $\{110\}$, $\{301\}$, $\{210\}$ және басқалар. **Агрегаттары.** Көбінесе сырықша, тарақша агрегаттар тән, сондай-ақ ұйысқан тәрізді, бүйрек және шар тәрізді радиал-сәуле құрылыстылар кездеседі (*107-сурет*).



106-сурет. Аурипигмент кристалы: $o\{301\}$, $\{210\}$, $m\{110\}$, $x\{\bar{3}11\}$, $v\{321\}$, $\beta\{\bar{1}2\cdot9.4\}$, $v\{331\}$



107-сурет. Доломит бетіндегі аурипигмент пен борнит сферолиттері. Эльбрус кеніші
(Қарашай-Черкесия)

Түсі. Аурипигмент лимон-сары, кейде қошқылтым реңді; майда дисперсиялық FeS_2 қоспалары бар жасырын кристалды массалары жасылтым реңді лас-жасыл бояуға ие. **Сызық түсі** оның түсі сияқты, бірақ ашықтау реңді. Жарық өткізеді, жіктілік парақшалары мөлдір. **Жылтырлығы** бағытына байланысты алмасшадан шала металшаға дейін, шағылыстыру көрсеткіштеріне сәйкес: $Ng=3,0$; $Nm=2,8$ және $Np=2,4$.

Қаттылығы 1-2. Тырналған кезде сықырлайтыны тән. Жұқа парақшаларда майысқақ, дегенмен серпімділігі жоқ. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша аса жетік және $\{100\}$ бойынша жетік емес. **Мен.салмағы** 3,4-3,5. **Басқа қасиеттері.** Электр өткізбейді. Парақшаларын жіктілігі бойынша ажыратқан кезде электрленеді.

Диагноздаушы белгілері. Ашық лимон-сары түсі, төмен қаттылығы, аса жетік жіктілігі және күшті алмасша немесе омырылымында шала металша жылтырлығы бойынша оңай танылады. Парақшаларын майыстырған кезде сықырлайтыны тән. Ұнтақ массаларда сыртқы түрі бойынша оны ұнтақ сомтума күкіртпен шатастыруға болады, сондай-ақ кейбір уранфосфаттарға және уранванадаттарға (отэнит, тюямунит және басқалар) ұқсайды, бірақ олардан оптикалық қасиеттері және радиобелсенділігінің жоқ екендігі бойынша ажыратылады.

HNO_3 қышқылында және патша арағында ериді де күкірт жүзіп шығып бөлінеді. Қалдықсыз KOH сұйығында оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Гидротермалық кенорындарда біршама төмен температурада жаралатын реальгар, антимонит, марказит, пирит, сондай-ақ кварц, кальцит, гипс және басқа минералдармен бірлесе кездеседі. Белгілі *Стимбот* (АҚШ, Невада штаты) минералды бұлағында ыстық судан реальгармен, опалмен, арагонитпен және басқалармен бірге түзіледі.

Ол өте аз мөлшерде жанартау кратерлерінің қабырғасында және кеуек лаваның қуыстарында сомтума күкіртпен, хлоридтармен және басқа минералдармен бірге құрғақ айдалу өнімі ретінде байқалған.

Экзогендік минерал ретінде жұғынды және жер тәрізді жаралымдар түрінде өте аз мөлшерде кейде тас және қоңыр көмір кенорындарында кездеседі. Мұнда оның күкіртсутектің организмдер ыдырауының өнімі ретінде күшәлалы ерітінділерге әрекет етуінен жаралуы ықтимал.

Аурипигмент күшәла рудасы ретінде айтарлықтай мөлшерде реальгармен бірге кездеседі. Ұзындығы жарты метрге дейінгі ірі монокристалл жаралымдары *Мен-Кюле* (Сақа Республикасының шығысы) кенорнында белгілі болған. Аурипигмент кристалдарының баритпен және реальгармен бірге соңғы сатыдағы доломит желілері қуыстарындағы сферолит қабыршақтары және щеткалары (*107-суретте*) *Эльбрус* (Қарашай-Черкесия) қорғасын-мырыш кенорнына тән.

Лухум кенорны (Таулы Рача, Грузия) рудалары ашық-сары аурипигмент, қызыл реальгар және сүттей ақ кварц пен кальцит кристалдары

массасынан тұратын кесектері тамаша бояуларымен ерекшеленеді. Қуыстарда ұзындығы бойынша өлшемдері 0,5-5,0 см болатын жақсы жаралған кристалдар друзасы жиі кездеседі. Сондай-ақ омырылымында радиал-сәуле құрылысты аурипигменттің бүйрек тәрізді тұтас массалары да байқалған. Жасы бойынша палеогеннің қатпарланған мергель мен саз таужыныстарынан тұратын *Жульфин* кенорнының (Жульфа қаласының батысында, Әзірбайжан) аурипигмент рудалары тіпті басқаша түрде болады. Мұнда аурипигмент омырылымында балауыз жылтыр және жасылтым-сары бояулы (майда дисперсиялы темір дисульфиді қоспалары болуынан) жасырын кристалды массалар түрінде байқалған. Кен денелерін қазған кезде CO_2 , H_3As және H_2S газдарының мол бөлініп шығуы байқалған. Кенорын маңында құрамында $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, Na_2SO_4 , CaHAsO_4 , Br, Li және басқалар бар минералды бұлақтар әлі де бар.

Шет елдердегі басқа кенорындардан *Алиар* (Македонияда) кенорнын атаймыз, мұнда аурипигменттің ірі кристалдары кездескен; АҚШ кенорындары – *Меркур* Юта штатында және басқалар.

Практикалық мәні. Қоры бойынша ірі шоғырлары болған жағдайда күшеланың ұштотығын алудың шикізаты болады, сондай-ақ бояу жұмыстарында және басқа өндірістерде пайдаланылады.

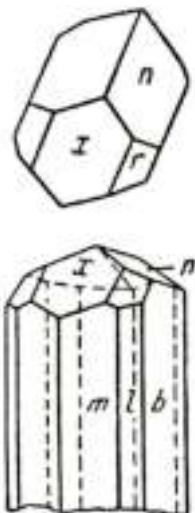
РЕАЛЬГАР – As_4S_4 . **Химиялық құрамы.** As – 70,1 %; S – 29,9 %. Химиялық талдау деректері оның теориялық құрамына толықтай дерлік сәйкес келеді. Басқа элементтердің қоспалары анықталмайды.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі ромб-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/n(C^5_{2h})$. $a_0=9,27$; $b_0=13,50$; $c_0=6,56$; $\beta=106^{\circ}33'$. **Кристалдық құрылымы** біршама күрделі; жекелеген As_4S_4 молекулаларынан тұрады. Күкірт иондары квадрат, ал күшеланың – тетраэдр жасайды. Квадрат пен тетраэдр центрлері сәйкес келеді. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары әдетте призмалық түрге ие (*108-сурет*). Олар тік осі бойынша қысқарады немесе созылады, оған параллель жақтарында майда айғыз байқалады. Ең жиі ұшырасатыны пішіндерінің мынадай комбинациялары: пинакоидтар $\{001\}$, $\{010\}$ және ромбылық призмалар $\{110\}$, $\{120\}$, $\{011\}$ және басқалар. **Агрегаттары.** Сондай-ақ тұтас түйірлі агрегаттар, кейде жұғындылар, қабыршақтар немесе жер тәрізді қопсық массалар түрінде байқалады.

Түсі. Реальгар жирен-қызыл, кейде күңгірт-қызыл. Шаламөлдір. Сызық түсі ашық-жирен. **Жылтырлығы** кристалл жақтарында алмасша, омырылымында шайырша немесе майша. Шағылысу көрсеткіштері Li-жарығында: $N_g=2,61$; $N_m=2,59$; $N_p=2,46$.

Қаттылығы 1,5-2. **Жіктілігі** $\{010\}$ және $\{120\}$ бойынша біршама жетік. **Мен.салмағы** 3,4-3,6. **Басқа қасиеттері.** Жарықтың әсер етуінен уақыт ағымында ашық-жирен түсті ұнтаққа айналады. Электр жарығының әрекетінен оның кристалдары шытынайды да дәл сондай ұнтаққа айналады. Мұнда рентгенметрлік зерттеулерде анықталғандай, бұл құбылыс кристалдық құрылымының ыдырауына ұласады. Электр өткізбейді.

Диагноздаушы белгілері. Реальгарға жирен-қызыл түс, төмен қаттылық, кристалдарының созылым осі бойынша орналасқан жақтарының айғыздалғандығы тән. Сондай-ақ сыртқы белгілері бойынша оңай анықталатын аурипигментпен парагенезисі де тән. Өзіне ұқсас крокоиттен ($\text{Pb}[\text{CrO}_4]$) төмендей қаттылығымен, кристалдарының келбетімен айрықшалаанады. Киноварь реальгардан ашық-қызыл сызық түсімен, жоғары меншікті салмағымен өзгеше болады.



108-сурет. Реальгар кристалы. Лухум кенорны (И.И. Шафрановский бойынша): $m\{110\}$, $l\{120\}$, $b\{010\}$, $n\{011\}$, $x\{\bar{1}01\}$, $r\{\bar{1}11\}$

Патша арағында ерігенде күкірт бөліп шығарады. Киноварьдан айырмашылығы, қыздырылған КОН сұйығында ериді де мұнда ерітіндіге HCl қосқан кезде лимон-сары түйдектелген тұнба пайда болуына әкеледі.

Жаралуы және кенорындары. Табиғатта аурипигментпен дәл бірдей жағдайларда кездесіп, онымен әрдәйім парагенетикалық байланыста болады (*аурипигментті* қараңыз). Жер бетінде ешқашан кездеспейді, өйткені жарықтың әрекетінен бүлінеді де жартылай аурипигментке айналады.

Россияда реальгар білінімдері Таймырда *Шренк* өзені алабында, *Эльбрус* кенішінде (Солтүстік Кавказ) және *Сарасин* кенорнында (Алтай) байқалған. Реальгардың айрықша ірі (1-2 см) кристалдары (*108-суретте*) және әдемі друзалары *Лухум* кенорнында (Кавказдың оңтүстік беткейіндегі Рачин жотасы, Батыс Грузия) аурипигментпен, кейде антимонитпен, пиритпен, марказитпен, мельниковитпен, кварцпен, кальцитпен және басқалармен бірлесе кездескен.

Серігі ретінде барлық кенорындарда дерлік аурипигмент кездеседі.

Практикалық мәні. Реальгар аз таралған минералдар қатарына жатады. Өте сирек болса да аурипигментпен бірге таза күшәла кенорындарын жасайды (Лухум). Мұндай жағдайларда ол As_2O_3 алу үшін (өртеу жолымен) шикізат ретінде практикалық қызығушылық туындатады. Күкіртті күшәла (AsS) табиғиы да, жасандысы да бояу ісінде, пиротехникада, әйнек өндірісінде және басқа салаларда қолдану табады.

8. Антимонит тобы

Бұл топқа кіретін сүрме мен висмуттың үш валентті сульфидтері – антимонит және висмутин – аурипигменттен кристалдық құрылымы және физикалық қасиеттері (беймөлдірлігі, металша жалтырлығы және басқалар) бойынша елеулі айрықшалаанады. Осы жағдай Sb^{3+} және Bi^{3+} катиондары металдық қасиеттерінің артуына байланысты екені көрінеді.

АНТИМОНИТ – Sb_2S_3 . Атауы латынша *антимониум* – сүрме деген сөзден шыққан. Синонимі: стибнит, сүрме жылтыры.

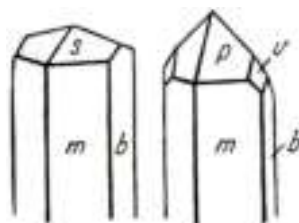
Химиялық құрамы. Sb -71,4 %, S -28,6 %. Қоспалардан кейде As , Ag және Au анықталады. Соңғы екі элемент механикалық енген қосылыстар түрінде болатыны көрінеді. Сомтума алтын антимонит массасында жылтырланған шлифтерде микроскоп астында көп дүркін анықталған.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^3PC$. Кеңістіктік тобы $P6nm(D_{2h}^{16})$. $a_0=11,20$; $b_0=11,28$; $c_0=3,83$. **Кристалдық құрылымы** c осіне параллель созылған Sb мен S иондарының тығыз байланысқан таспаларынан тұрады, олар зигзаг тәрізді $-Sb-S-Sb-S-$ тізбектерінен құралған. Сүрме төңірегінде күкірт аниондарының бесеуі орналасады, сондықтан координациялық көпжақ жартылай октаэдр болып шығады, октаэдрдің алтыншы атомының орнын толық валентті емес сүрменің бөлінбей қалған электрондық жұбы алады. Жартылай октаэдрлер квадрат негіздердің ортақ қырлары арқылы қабаттарға байланысқан және төбелерімен таспаның ортасына қараған, мұнда екі қабат жақындап барып еңіс қырлары арқылы бірігеді де таспалардағы бір қабатты жасайды. Таспалардың сыртқы беті жағынан таспааралық кеңістікке қарай бөлінбеген электрондар жұптары шығады. Сондықтан жекелеген таспалар аралығындағы байланыс таспалар ішіндегі иондар аралығындағыға қарағандай нашарлау. Осылардың барлығы әрине кристалдардың пішіні ғана емес, және де жіктілік, қаттылық, морттық және оңай балқығыштық сияқты қасиеттеріне де ықпал етеді.

Кристалдарының келбеті. Әдетте призма (*109-сурет*), бағана, ине келбетті, тік айғыздары бар. Көбінесе, әсіресе ірі экземплярларында олардың қисаюы және тіпті бұралуы байқалады. Анықталған көптеген жақтары ішінде мынадай комбинациялары өте тән: призма $\{110\}$, пинакоид $\{010\}$ және пирамидалар $\{111\}$, $\{113\}$, $\{121\}$ және басқалар (*110-сурет*). **Агрегаттары.** Сондай-ақ тұтас түйірлі, көбінесе радиал-сәуле, кейде шатасқан-шаш агрегаттар түрінде және кварц массасында сеппе түйірлер түрінде кездеседі. Шойын сияқты тұтас ұсақ түйірлі агрегаттары да белгілі.



109-сурет. Антимонит пен кварц кристалдары. Қадамжай (Қырғызстан)



110-сурет. Антимонит кристалдары: $m\{110\}$, $b\{010\}$, $s\{111\}$, $p\{331\}$, $v\{121\}$

Түсі және сызық түсі қорғасын-сұр. Кристалдарында көбінесе күңгірт көкшіл құлпырым байқалады. Беймөлдір. **Жылтырлығы** металша, жіктілік беттерінде күшті.

Қаттылығы 2-2,5. Морт. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша жетік және $\{110\}$ бойынша жетілмеген. **Мен.салмағы** 4,6. **Басқа қасиеттері.** Электр өткізбейді.

Диагноздаушы белгілері. Агрегаттарында түсі мен механикалық қасиеттері бойынша сульфoантимониттердің көпшілігінде (буланжерит, джемсонит және басқалар) және әсіресе висмутинге ұқсайды. Оның өзіне тән ерекшеліктеріне жататындар: сырықша индивидтерінің созылымы бойынша жетік жіктілігі және сыну беттеріндегі көлденең қосақталған айғыздығы. Майда түйірлі және жабық кристалды массаларда, сондай-ақ ұсақ сеппелерде өзіне ұқсас минералдардың барлығынан КОН сұйығымен реакциясы бойынша қатесіз анықталады. Бұл реактивтің минерал бетіне түсірілген тамшысы оны жылдам ыдыратады да ол алдымен сарғыш тартады, содан кейін жиренге айналады, ал тамшыны сүртіп тастағаннан кейін қызыл дақ қалады.

HNO_3 қышқылында Sb_2O_5 бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Антимонит негізгі массасында *гидротермалық* кенорындарда кездесіп, ең төмен температурада жаралады да кварцпен бірге дербес желілерді және қабат тәрізді жатындары жасайды. Онымен бірге көбінесе киноварь, флюорит, кварц, кальцит, каолинит, барит, кейде пирит және алтын кездеседі. Серігі ретінде әрдайым дерлік киноварь, реальгар және аурипигмент кенорындарында, кейде – қорғасын, мырыш және басқа металдар кенорындарында байқалады.

Мардымсыз мөлшерде ол кейде жанартау атылымдарының өнімдерінде байқалады. Тотығу белдемінде біршама жеңіл ыдырайды да сары, кейде қошқыл түсті сұрменің әр түрлі (валентинит, сервантит, сенармонтит, кермезит және басқа) тотықтарына өтеді.

Россия аумағында ең белгілі кенорындар қатарына жататындар: *Раздольнинское* (Красноярск өлкесінде) – прекембрий тақтатастарындағы күрделі кварц-антимонит желілерінен тұрады, және Индигирка алабындағы (Якутия - Саха Республикасы) *Сарылах* – мұнда антимонит майда түйірлі тығыз агрегаттар (шойын антимонит деп аталатын) түрінде білінген. Полиметалды гидротермалық киноварь-антимонит-ферберитпен минералданған кварц желілері қызығушылық туындатады, бұл типке *Барун-Шивеин* кенорнының (Забайкалье) рудалары жатады.

Антимонит киноварьмен, кварцпен және диккитпен бірге *Никитов* сынап кенорнында (Украина) байқалған. Орта Азияда белгілі ірі кенорындар: *Джижикрут* (Тәжікстан) – алевролиттегі қуатты және қоңды кальцит-антимонит желілері түрінде, *Қадамжай* (Қырғызстан) – «кремнийлі брекчиядағы» қабат тәрізді жатындар түрінде, мұнда антимонитпен (*109-суретте*) кварцтан және кальциттен басқа шағын мөлшерде пирит, марказит, флюорит, барит бірлеседі.

Шетел кенорындары ішіндегі ең белгілісі *Итинокава* (Жапонияның Шикоку аралында) кенорны, мұнда антимониттің айрықша ірі кристалдары кездескен: ұзындығы 0,5 м-ге дейін, ал жуандығы 5 см-дей. Ең ірі кенорындары кварц желілері түрінде және әктастардағы шток сияқты жатындары Қытайда белгілі (Юньнань провинциясы және басқалар), мұнда осы рудалардың әлемдік негізгі өндірісі шоғырланған.

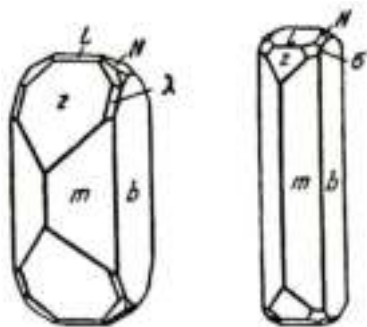
Практикалық мәні. Антимонит рудалары әр түрлі қолданысқа ие сұрменің ең негізгі көзі болып табылады. Ол негізінен антифрикциялық қасиеттерге ие балқымалар (подшипниктер баббиті) жасауға қолданылады. Қорғасынмен және мырышпен қорытпалары типографиялық металл деп аталатынды, қатты бытыраны, сораптар бөлшектерін, крандарды және басқаларды жасау үшін қажет. Сұрме қосылыстары сондай-ақ резина өнеркәсібінде (резинаны вулкандану мақсатында), текстиль өндірісінде (маталарға сіңіру үшін), әйнектер жасауға, медицинада және бірқатар басқа өндіріс түрлерінде қолданылады.

ВИСМУТИН – Bi_2S_3 . Синонимдері: бисмутинит, висмут жылтыры.

Химиялық құрамы. Bi - 81,3 %, S - 18,7 %. Шамалы мөлшерде Pb, Cu, Fe, As, Sb, Te және басқа қоспалар жиі кездеседі. Олардың ішінде Pb, Sb және Te висмутты изоморфты алмастыра алады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $R\bar{6}nm(D_{2h}^{16})$. $a_0=11,13$; $b_0=11,27$; $c_0=3,97$. **Кристалдық құрылымы** антимониттің құрылымына ұқсас. **Кристалдарының келбеті.** Антимонит сияқты ұзыншақ сырықша кристалдар түрінде кездеседі (*111-сурет*), ол көбінесе призмалардың {110}, {120}, {130} жақтарынан және {100}, {010}, {001} пинакоидтарынан жаралады. Жақтар көбінесе тік майда

айғыздармен жабылады. **Агрегаттары.** Тұтас түйірлі массалар, кейде сәулелі агрегаттар түрінде таралған.



111-сурет. Висмутин кристалдары: $m\{110\}$, $b\{010\}$, $z\{301\}$, $L\{101\}$, $N\{201\}$, $d\{211\}$ және басқалар

Түсі – висмутин ақ түсті қорғасын-сұр реңді. Көбінесе сары немесе алақұла құлпырымы байқалады. Беймөлдір. **Сызық түсі** сұр. **Жылтырлығы** металша күшті.

Қаттылығы 2-2,5. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша жетік және $\{100\}$ мен $\{001\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 6,4-6,8, жекелеген жағдайларда 7,1-ге дейін. **Басқа қасиеттері.** Электр өткізбейді.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне ұқсас антимониттен күштірек жылтырлығымен, үлкен салмағымен және КОН сұйығына реакциясымен (*антимонитті* қараңыз) айрықшалаынады. Ол агрегаттарда құрамы бойынша күрделі көптеген сульфоантимониттерге және сульфовисмуттерге ұқсас, бірақ олардан химиялық реакцияларынсыз ажырату оңай болмайды.

Висмутке өте тән реакцияға йодты калиймен балқытқан кезде ашық-қызыл жұғынды түрінде йодты висмут алу жатады (сынама айналасындағы жиек түрінде). HNO_3 қышқылында қалқып шығатын күкірт бөліп оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Висмутин тек қана грейзендермен немесе скарндармен байланысты жоғары температуралық гидротермалық кенорындарда кездеседі. Ілеспе ретінде қалайы, вольфрам, күшәла кенорындарында көбінесе сомтума висмутпен, арсенопиритпен, халькопиритпен, кейде сомтума алтынмен, топазбен, бериллмен, пиритпен, галенитпен және көптеген басқа сульфидтермен бірлесе байқалады. Дербес кенорындарды өте сирек жасайды.

Тотығу белдемінде оңай ыдырайды да негізді карбонаттардың висмутин бойынша псевдоморфозаларын жасайды.

Россияда кварцпен, касситеритпен, арсенопиритпен, сфалеритпен, халькопиритпен, галенитпен және висмутпен бірге *Белуха* мен *Букуканың* қалайы-вольфрамды жоғары температуралық кварц желілерінде, *Шерл Тауының* (Шығыс Забайкалье) қалайылы грейзендерінде белгілі. Орта Азия кенорындары да айтарлықтай қызығушылыққа ие, мысалы *Ұстарасай* (Ташкенттен солтүстік-шығысқа қарай 70 км жерде) – мұнда висмутин сомтума висмутпен бірге әктастардағы бірқатар кварц желілерінде пиритпен, арсенопиритпен, халькопиритпен және басқалармен бірлесе кездеседі.

әлемдегі ең ірі висмут кенорны Боливияда (*Тасна, Чоролк және басқалар*) және Перуде (*Серро-де-Паско*) орналасқан. Олар жас магмалық таужыныстармен генетикалық байланысты.

Практикалық мәні. Висмутин рудасы висмуттың негізгі көзі болып табылады. Висмут жеңіл балқитын қорытпалар алуға, жоғары қоссынымды әйнек, химиялық препараттар жасауға, медицинада және басқа мақсаттарда пайдаланылады.

Мұнда тетрадимитті де сипаттаймыз, бірақ та ол басқа топқа жатады.

ТЕТРАДИМИТ – $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$. Грекше *тетрадимос* – төрт дүркін (жиі төртемдер жасайды). Синонимі: теллурлі висмут.

Химиялық құрамы, %: Bi – 59,3; Te – 36,2; S – 4,5. Өте мардымсыз мөлшерде қоспалар түрінде Se, Au, Cu, Pb болуы мүмкін. Олардың ішінде селен ғана кейде 1 % шамасына жетеді. Тетрадимитпен жиі парагенетикалық байланысты кездесетін алтын кірінділер түрінде болады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_63L_23PC$. Кеңістіктік тобы $R3m(D^5_{3d})$. Көбінесе парақталған немесе қалақша агрегаттарда кездеседі. Тақталанаған немесе ромбоэдр кристалдары әдетте беттері {0118} және {0115} бойынша кіріккен төртемдер болып табылады.

Кристалдық құрылымы нағыз қабатты. Он бес қабатты ең тығыз ромбоэдрлік жайласуы тік периодтық қайталанымында үш бірдей пакеттен тұрады. Олар бес қабаттан тұрып, ал олардың әрқайсысы өзіндік текті атомдардан тұрады. Әр пакеттегі қабаттардың құрамы мен толтыру реті мынадай: TeBiSBiTe.

Түсі болат-сұр, қалайы аққа дейін, кейде сары құлпырымды. **Сызық түсі** сұр. **Жылтырлығы** металша күшті.

Қаттылығы 1,5-2. Жұқа парақшаларда майысқақ. **Жіктілігі** {0001} бойынша аса жетік. **Мен. салмағы** 7,24-7,54. **Басқа қасиеттері.** Шамалы электр өткізгіштікке ие. Термоэлектрлі.

Диагноздаушы белгілері. Көптеген сыртқы белгілері бойынша молибденитке ұқсас; одан күштірек жалтырлығы, үлкен меншікті салмағы, қышқылдармен әрекеті бойынша айрықшалаанады.

Концентрленген H_2SO_4 қышқылында еріп, оны қыздырған кезде Te үшін тән қызғылт түске бояйды. HNO_3 қышқылында оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Тетрадимит – теллуридтер ішінде ең көп таралған минерал, ол гидротермалық алтын рудалы кенорындарда көбінесе ілеспе ретінде анықталады. Онымен парагенезисте әр түрлі сульфидтер: пирротин, халькопирит, пирит, тетраэдрит, висмутин, сондай-ақ алтын және басқалар кездеседі.

Кенорындардың тотығу белдемінде оңай ыдырайды да висмут жосасы деп аталатынды жасайды.

Ол Россияда Тура кеніштері тобындағы (Солтүстік Орал) *Фролов* кенішінде, алтын рудалы *Шилов-Есет* кенорнында (Екатеринбургтен шығысқа қарай 66 км жерде), Батыс және Шығыс Сібірдің бірқатар жерлерінде кездескен. *Дарасун* кенорнында (Шығыс Забайкалье) кварц желілерінде алтынмен, гесситпен және висмутинмен бірге байқалған.

Пиритпен, висмутпен және *цумоитпен* (BiTe) бірге *Тырныауыз* кенорнында (Кабардин-Балкария, Солтүстік Кавказ) анартас-диопсид скарндары сыйыстыратын кальцит желілерінде байқалады.

Солтүстік Батыс Қазақстанда *Құмақ* кенорнының құрамында алтын бар кварц желілерінде білінген. Сондай-ақ АҚШ, Мексика, Британ Колумбиясында және басқа жерлерде байқалған.

Практикалық мәні. Дербес кенорындары кездеспеген. Висмут және алтын рудалы кенорындарда ілеспе ретінде руданы кешенді өңдеген кезде висмут пен теллур алу үшін пайдаланыла алады.

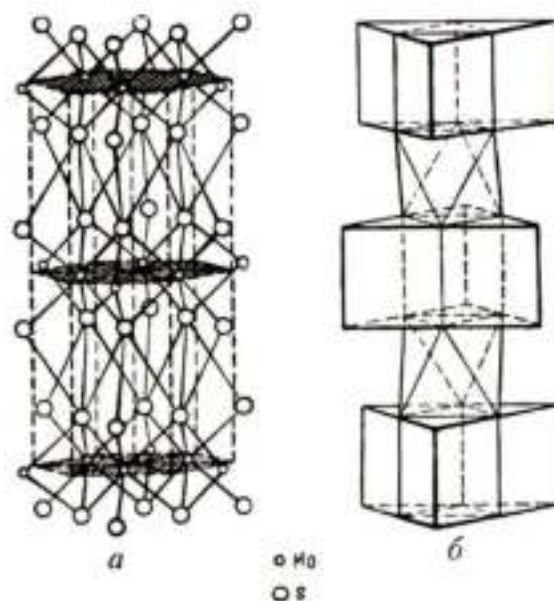
9. Молибденит тобы

Бұл топқа төрт валентті Мо және W иондарының күкіртті қосылыстары жатады. Вольфрам сульфиді *тунгстенит* WS_2 өте сирек минерал болып табылады.

МОЛИБДЕНИТ – MoS_2 . Атауы грекше *молибдос* - қорғасын дегеннен шыққан. Синонимі: молибден жылтыры.

Химиялық құрамы. Мо – 60 %, S – 40 %. Химиялық талдаулар деректері бойынша Мо мөлшері 57,1–60,05 % ауқымында және S 39,7–42,0 % шамасында ауытқиды. Көптеген жағдайларда химиялық таза қосылыс болып табылады, яғни құрамында ренийден басқа изоморфты қоспалар болмайды. Спектрлік талдаулар деректері бойынша ренийдің молибдениттегі мөлшері оның басқа сульфидтердегі мөлшерімен салыстырғанда максимал болып келеді ($5 \cdot 10^{-7}$ -ден $2 \cdot 10^{-4}$ % шамасына дейін).

Сингониясы гексагондық (ең көп таралаған *2H* политипі бойынша); симметрия түрі дигексагон-дипирамидалық L^6L^27PC . Кеңістік тобы $R6_3/mmc(D^4_{6h})$. $a_0=3,156$; $c_0=12,275$. Сиректеу кездесетін *3R* тригондық политипі ромбоэдрлік ұяшыққа ие. Құрылымы нағыз қабаттық, бірақ бірқатар ерекшеліктерімен айрықшалаанады. Мо иондарының қабаттары S иондарының екі қабаты аралығында (0001)-ге параллель орналасады (*112-сурет*). Қабаттардағы иондар күшті байланыспен қосылған, бірақ «үшем» қабаттар аралығындағы ілінісу күші күрт нашарлаған, кристалдарының жетік жіктілігі осыған байланысты. Молибденнің координациялық саны 6-ға тең, бірақ Мо электрондық қабығы құрылысының ерекшелігі бойынша оған октаэдр емес тригондық призма сәйкес келеді. Осы жағдайда Н.В. Белов бойынша Мо иондары орталықтарында октаэдрлерден тұратын бос қабаттары бар тригондық қабаттары кезектескен призмалар түрінде көрнекі көрсетуге болады (*112 б-сурет*).



112-сурет. Молибдениттің кристалдық құрылымы: *a* – иондар центрлерінің орналасуы (молибден иондары бар қабаттар штрихтелден); *б* – дәл осы құрылымның Н.В. Белов тәсілі бойынша бейнеленуі

Кристалдарының келбеті. Кездесетін кристалдары көпшілік жағдайда жетілмеген. Әдетте мынадай пішіндері байқалады: $\{0001\}$, $\{1010\}$, $\{10\bar{1}1\}$. Жақтары $\{00\bar{0}1\}$ штрихтермен көмкерілген (*113-сурет*). Призмалық кристалдары сирек кездеседі. Әдетте парақшаланған немесе қабыршақ агрегаттарда байқалады. Кейде сферолит жаралымдары, ұяшықтары, табакшалары және сұр-қара түсті жер сияқты түрлестері кездеседі.



113-сурет. Молибденит кристалының базалық жағындағы штрихтердің үш жүйесі

Молибдениттің түсі шамалы көкшіл реңді қорғасын-сұр. **Сызық** түсі сұр, көбінесе жасылтым реңді. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 1. Жұқа парақшаларда майысқақ. Сипалағанда қолға майлы білінеді. Қағазда графит сияқты сызық қалдырады. **Жіктілігі** $\{0001\}$ бойынша аса жетік. **Мен. салмағы** 4,7-5. **Басқа қасиеттері.** Электрөткізгіштігі бөлме температурасында шамалы, бірақ температура жоғарылағанда артады.

Диагноздаушы белгілері. Оған жататындар: қорғасын-сұр түсі, нағыз металша жылтырлығы, өте төмен қаттылығы, базисі бойынша жіктілігі. Графиттің ірі қабыршақты түрлестерімен оңай шатыстыруға болады, бірақ

одан қағазға жаққанда жасылтым тартатын ашықтау сызық түсімен, күштілеу жылтырлығымен, ауыр меншікті салмағымен және электрді нашар өткізетіндігімен ажыратылады. Өзіне ұқсас тетрадимитпен салыстырғанда жылтырлығы нашарлау болады. HNO_3 қышқылы өте қиын ыдырап, SO_2 бөліп шығарады және ақ немесе сұр MoO_3 тұнбасы жаралады. Қойытылған H_2SO_4 қышқылы оны тек қайнау температурасында ғана ыдыратады.

Жаралуы және кенорындары. Молибденит кенорындары қышқылды магмалық таужыныстар интрузияларымен, олардың ішінде негізінен гранитпен және гранодиоритпен генетикалық байланыста. Осы таужыныстар арасында ол кейде сирек сеппелер түрінде байқалады.

Пегматит желілерінде кездескенімен, оның мөлшері практикалық мәнге ие болмайды.

Молибдениттің өнеркәсіптік кенорындары *гидротермалық* жаралымдармен байланысты. Әсіресе кварц желілеріндегі немесе кварцталған кенорындары кең таралған. Жалпы алғанда молибдениттің кварцпен парагенезісі басым көпшілік жағдайда байқалады. Кейде молибденит бөлінімдері жай көзге қиын байқалатын өте майда кварц желішіктерінде орналасады. Оның кварцты сұр немесе көкшіл түске бояған өте ұсақ дисперсиялы таралымдары белгілі. Оларды жылтырланған шлифтерде микроскоп астында ғана байқауға болады.

Кварц-молибденит желілерінде көбінесе пириттің сирек түйірлерін айтпағанда, басқа ешқандай сульфитдер кездеспейді десе де болады. Кенорындарының басқа типтерінде ілеспе минералдардан кездесетіндер: бір жағдайларда – майда қабыршақты слюдалар, флюорит, вольфрамит, кейде берилл, турмалин, ал басқаларында – мыс (көбінесе халькопирит), темір (пирит, пирротин), мырыш (сфалерит) сульфидтері және басқалар. Кенорындардың сульфидтерге бай бөлікшелерінде молибденит шоғырларының кездесуі сирек жағдайларға жатады. Кварц желілерінде кейде әркелкі таралған ірі кристалдары табақшалар немесе гексагондық қалақшалар түрінде байқалады.

Тотығу белдемінде молибдениттің орнында көбінесе псевдоморфозалар түрінде повеллит ($\text{Ca}[\text{MoO}_4]$) жаралады, кейде пішіні бойынша молибденит кристалдарына сәйкес келетін өзіндік шаймалану қуыстары пайда болады.

Россияда молибденит *Тырныауз* кенорнының (Кабардин-Балкария) анартас-диопсид скарндарында белгілі. *Жирекен* кенорнының (Шығыс Забайкалье) гидротермалық кварц желілеріндегі негізгі пайдалы компонент молибдениттен тұрады. *Ореkitкан* кенорнының (Забайкалье) штокверк жатындарындағы флюорит-мусковит-калишпат грейзендері арасында пиритпен, пирротинмен, вольфрамитпен, сфалеритпен және басқа минералдармен бірге негізгі руда минералға молибденит те жатады.

Қазақстанда молибдениттің ірі кристалдары *Қараоба* және *Ақшатау* кенорындарының кварц желілерінде орналасқан.

Шетел кенорындарынан өте ірі *Клаймакс* кенорнын (АҚШ, Колорадо) атаймыз, ол туынды кварциттің зор штокверк денесі ретінде үлкен тереңдікке кетеді.

Молибдениттің ірі кенорындары әктас пен гранит жапсарында жаралған шеелитті скарн белдемдерінде де белгілі. Мұнда молибденит көбінесе скарн таужыныстарды қиятын кварцтың көптеген майда желішіктерінде орналасқан.

Практикалық мәні. Молибденит өнеркәсіп үшін өте маңызды металдың жалғыз ғана табиғи көзі. Молибденит өзінің құрамына шашыранды элемент ретінде кіретін ренийдің де маңызды көзі болып табылады.

Бұл металдың әлемдік өндірісінің 90 % шамасына жуығы әр түрлі жоғары сапалы болат сорттарын алуға жұмсалады. Қалған бөлігі электротехникада, бояу өндірісінде, сымсыз телеграфияда, химия өндірістерінде және басқа салаларда пайдаланылады.

10. Пирит тобы

Бұл топта AX_2 типті қосылыстардың үлкен тобын қарастырамыз, мұндағы $A=Fe, Co, Ni$, сондай-ақ Mn, Pt және Ru , ал $X_2=S_2, Se_2, As_2, AsS$ және SbS . Бұлар дисульфидтер, диарсенидтер, сульфоарсенидтер және сульфоантимонидтер деп аталатындар. Олардың барлығы көптеген ортақ қасиеттерге ие.

Бұл үлкен топты минералогиялық ерекшеліктері бойынша төрт топшаға бөлуге болады:

1) *пирит* топшасы (тар мағынада) – мұндағы FeS_2 қосылысы диморфты болады (пирит және марказит);

2) *кобальтин* топшасы – оған Ni және Co (Fe бағынышты мөлшерде) сульфоарсенидтері мен сульфоантимонидтері бірігеді; олар кубтық сингонияда кристалданады; бұл минералдардың кристалдық құрылымы пириттің құрылымына ұқсас болғанымен, бірақ олардың симметриясы төмендеу;

3) *леллингит* топшасы - ромбылық сингонияда кристалданатын Fe, Ni және Co диарсенидтерінен тұрады;

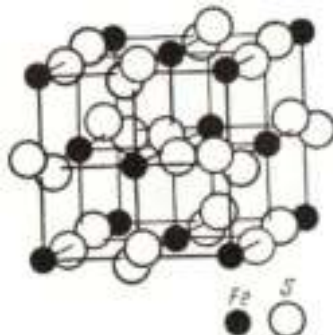
4) *арсенопирит* топшасы – оған моноклиндік және ромбылық сингониясында кристалданатын сульфоарсенидтер мен сульфоантимонидтер (негізінен Fe) кіреді.

Темірдің майда дисперсиялы қара масса түріндегі коллоид және метаколлоид бисульфиді арнайы *мельниковит* деп аталады. Оны біз жеке минерал ретінде қарастырмаймыз, өйткені рентгенметриялық жолмен бір жағдайларда пириттің дебаеграммасы анықталса, ал екіншілерінде – марказит болып шығады.

Мұнда пириттің, сондай-ақ марказиттің өзіндік типтік құрылымдық ерекшеліктері сипатталады.

Пирит типті кристалдық құрылым сұлба түрде *114-* және *115-суреттерде* бейнеленген. Бұл құрылым негізінде $NaCl$ типті құрылымға тән (*92-суретте*) кубтық жақцентрленген тор жатады, мұнда күкірт иондары жұптама орналасады да $[S_2]^{2-}$ анион тобын жасап, өз ара өте жақын келеді. Бұл топтардағы $S-S$ ара қашықтығы $2,05\text{Å}$ болады (қосарланған иондық

радиус $3,5\text{\AA}$ орнына). $[\text{S}_2]^{2-}$ топтары өзінің осьтерімен кіші кубтардың диагоналі бойынша бағдарланған, сондай-ақ олар өзара қиылыспайды. *115-суретте* жұптардағы күкірт атомдары аралығындағы арақашықтық бұл құрылымның NaCl типті құрылымға сәйкестігін көрсету мақсатында біршама кішірейтіліп көрсетілген. $[\text{S}_2]^{2-}$ үшін шынайы ара қатынас оң жағында жеке берілген.

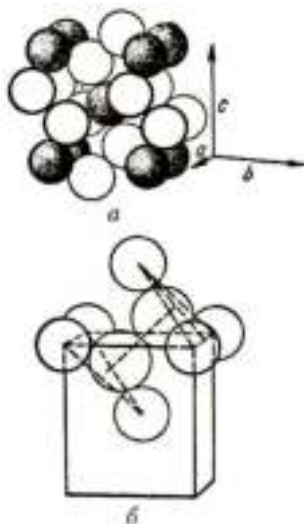


114-сурет. Пириттің кристалдық құрылымы



115-сурет. Пириттің кристалдық құрылымы: кара сфералар – Fe^{2+} иондары; ақшылдар – $[\text{S}_2]^{2-}$ топтары

Ромбылық модификациялы $\text{Fe}[\text{S}_2]$ марказит құрылымында да пириттегідей дәл осы $[\text{S}_2]^{2-}$ топтарын табамыз. Fe иондары ромб ұяшықтардың бұрыштары бойынша (*116 а-сурет*) және ұяшықтың центрлерінде орналасады; олар $[\text{S}_2]^{2-}$ ионы топтарымен қоршалған. Төменде (*116 б-сурет*) $[\text{S}_2]^{2-}$ жұптары c осіне қатысты еңіс орналасқаны және екі шетінде Fe иондары триадаларының центрлеріне тірелеті көрсетілген, яғни дәл пириттегідей.



116-сурет. Марказиттің кристалдық құрылымы: *a* – құрылымның жалпы көрінісі; Fe^{2+} иондары нүктелермен жабылған; *b* - $[S_2]^{2-}$ тобының (ортасында) темір иондарының екі триадасы (инттерінде) арасында бағдарлануы

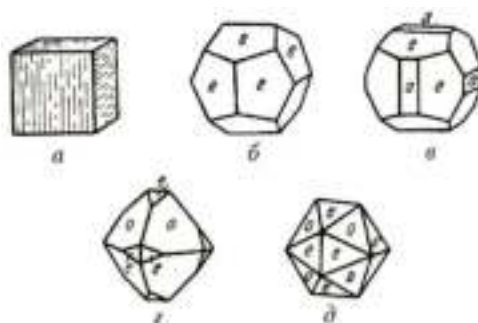
Сонымен, пирит және марказит құрылымдары мысалында біз бір координациялық типтің өзі симметриясы бойынша тіпті әр түрлі кристалдық құрылымдарда іске асырыла алатынын көреміз.

Осы топ минералдарын басқалардан ажырататын физикалық қасиеттерінен ең алдымен мынаны атап өтеміз: барлық сульфидтер және оларға ұқсас қосылыстар минералдары арасында пирит тобы ең үлкен қаттылық 5-6-ға ие болады (сперрилит 6-7), ал лаурит (RuS_2) тіпті 7-8 болады). Жетік жіктіліктің жоқ болуы да өзіне назар аудартады. Олардың барлығы электр өткізеді.

ПИРИТ – $Fe[S_2]$. Грекше *пирос* – от дегеннен. Бұл атау пиритті соққылаған кезде ұшқындар шығаратын және оның күшті жылтырлық қасиеттеріне байланысты екенін көреміз. Синонимі: күкірт колчеданы, темір колчеданы.

Химиялық құрамы. Fe – 46,6 %, S – 53,4 %. Көбінесе өте мардымсыз мөлшерде құрамында мынадай қоспалар болады: Co (кобальтты пирит), Ni, As, Sb, кейде Cu, Au, Ag және басқалар. Соңғы элементтердің болуы өте ұсақ кірінділер түріндегі бөтен минералдардың механикалық кейде майда дисперсиялық күйдегі қоспалары болуына байланысты. Бұл жағдайларда біз шын мәнінде қатты псевдоерітінділерді – кристалзолдерді көреміз.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі дидодекаэдрлік $3L^24L^33PC$. Кеңістіктік тобы $Pa3(T_h)$. $a_0=5,40667$. **Кристалдық құрылымы** жоғарыда айтылған. **Кристалдарының келбеті.** Пирит жақсы жаралған кристалдар түрінде кең таралған. Ол үшін анықталған көптеген пішіндер ішінде ең жиі кездесетіні мыналар: {100}, {210}, кейде {111}, {321}, {110} және басқалар (*117-сурет*). Белгілі бір жақтарының басым болуына кристалдарының кейпі де байланысты болады: кубтық, пентагондодекаэдрлік, кейде октаэдрлік. Кристалдарының өлшемдері кейде көлденеңінде бірнеше сантиметрге жетеді. Жақтарында (100):(210) қырларына параллель айғыздық болуы тән, яғни *a:e* (*117 а-суретте, 117 б, в-суреттерімен* салыстырғанда). Бұл айғыздық пириттің кристалдық құрылымына сәйкес келеді және әрдайым әр бір көрші жаққа перпендикуляр бағдарланады, яғни симметриясының сыртқы элементтері пирит құрылымының ерекшеліктеріне толық сай келеді. Қосақтары (110) бойынша (*118-сурет*), сирек (320) бойынша кездеседі.



117-сурет. Пирит кристалдарының пішіні: a – куб; b – пентагондодекаэдр $e\{210\}$; c – сол пішіннің өзі кубпен $a\{100\}$ комбинацияда; d – октаэдр $o\{111\}$ пентагондодекаэдрдің жақтарымен доғалданған; e – октаэдр (o) мен пентагондодекаэдрдің (e) комбинациясы – минералдық икосаэдр деп аталады (октаэдр мен пентагондодекаэдр комбинациясы)



118-сурет. Пириттің $[111]$ осі бойынша «темір айқышы» типті қосағы

Агрегаттары. Пирит көптеген таужыныстар мен рудаларда сеппе кристалшалар немесе дөңгелек түйірлер түрінде байқалады. Тұтас агрегат құрылысты пирит массалары да кең таралған. Шөгінді таужыныстарда көбінесе пириттің шар тәрізді конкрециялары (тасшемендері), ридал-сәуле құрылысты, сондай-ақ бақалшақтар қуысындағы секрециялары кездеседі. Пириттің басқа сульфидтермен бірлескен сауыс тәрізді немесе бүйрек тәрізді жаралымдары да жиі ұшырасады.

Түсі. Пирит ашық жез-сары немесе сабан-сары түсті, көбінесе сарғыш-қошқыл және ала-құла түсті құлпырымды, майда дисперсиялы күйе тәрізді түрлестері қара түсті болады. **Сызық түсі** күңгірт-сұр немесе қошқыл-қара. **Жылтырлығы** металша күшті. **Қаттылығы** 6-6,5. Біршама морт. **Жіктілігі** $\{100\}$ және $\{111\}$, кейде $\{110\}$ бойынша аса жетімсіз. Омырылымы бейтегіс, кейде ұлуша. **Меншікті салмағы** 4,9-5,2. **Басқа қасиеттері.** Электрді нашар өткізеді. Термоэлектрлі. Кейбір түрлестері детокторлық қасиеттерге ие.

Диагноздаушы белгілері. Түсі, кристалдарының пішіні және жақтарының айғыздығы, жоғары қаттылығы (кең таралған сульфидтерден шыныны жыратын жалғыз минерал) бойынша оңай анықталады. Осы белгілер жиынтығы бойынша ол өзіне түсі бойынша ұқсас марказиттен, халькопириттен, пирротиннен және миллериттен оңай ажыратылады.

Су қосылған HCl қышқылында ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Пирит жер қыртысында ең көп таралған сульфид болып табылады және сан қилы геологиялық жағдайларда жаралады.

1. Өте ұсақ сеппелер түрінде ол көптеген *магмалық* таужыныстарда байқалады. Көпшілік жағдайларда силикаттармен салыстырғанда эпигенетикалық минерал болып табылады және үстіленген гидротермалық білінімдермен байланысты.

2. *Жапсарлық-метасоматоздық* кенорындарда скарндар мен магнетит жатындарында әрдәйім дерлік ұшырасатын сульфидтерге ілеспе минерал болып табылады. Бірқатар жағдайларда құрамында кобальт кездеседі. Оны жаралуы басқа сульфидтер сияқты жапсарлық-метасоматоздық процестердің гидротермалық сатысымен байланысты.

3. Рудасының құрамы бойынша әр түрлі *гидротермалық* кенорындардың барлық типтерінде дерлік ілеспе ретінде кең таралған және сан қилы минералдар парагенезисінде кездеседі. Мұнда ол көбінесе тек руда денелерінде ғана емес, сондай-ақ қапталдас таужыныстарда метасоматоздық жолмен пайда болған жақсы жаралған кристалдар (метакристалдар) сеппелері түрінде байқалады.

4. Шөгінді таужыныстар мен рудаларда да біршама жиі кездеседі. Құмсаз түзілімдерде, сондай-ақ көмір, темір, марганец, боксит және басқа кенорындарда пирит және марказит конкрециялары (тасшемендері) кеңінен белгілі. Бұл таужыныстар мен рудаларда оның жаралуы су алаптарының тереңдеу бөлікшелерінде органикалық қалдықтардың оттегісіз жерде ыдырауына байланысты. Онымен парагенезисте мұндай жағдайларда көбінесе кездесетіндер: марказит, мельниковит (темір дисульфидінің қара ұнтақ тәрізді түрлесі), сидерит ($\text{Fe}[\text{CO}_3]$) және басқалар.

Пирит тотығу белдемінде көптеген басқа сульфидтер сияқты тұрақсыз, темір закисі сульфатына дейін тотығуға ұшырайды да еркін оттегі болған жағдайда темір окисі сульфатына оңай өтеді. Ал содан соң гидролизденіп, ерімейтін темір гидроокисіне (лимонит) және ерітіндіге өтетін еркін күкірт қышқылына ыдырайды. Осындай жолмен табиғатта кеңінен байқалатын лимониттің пирит *псевдоморфозалары* жаралады.

Пириттің өзі болса, органикалық қалдықтар (ағаш және әр түрлі организм қалдықтары) бойынша псевдоморфозалар жасайды, ал эндогендік жаралымдарда пириттің пирротин, магнетит (FeFe_2O_4), гематит (Fe_2O_3) және басқа құрамында темір бар минералдар бойынша псевдоморфозалары кездеседі. Бұл псевдоморфозалар минералдарға H_2S әрекет етуінен жаралғаны көрінеді.

Пирит белгілі бір мөлшерде кездесетін кенорындар сансыз көп. Оны әр түрлі генетикалық типті кенорындарда кездестіруге болады, бірақ дегенмен табылымдардың негізгі массасы эндогендік жаралымдарға жатады.

Россияда пиритке бай колчедан жатындары Оралда кең таралған. Мұнда олар меридиан бойынша жүздеген километрге созылған қышқылды және негізді эффузиялық пен силур-девон шөгінді таужыныстар жолағында орналасқан. Тұтастай сульфидтерден тұратын руда денелері негізінен пирит болып табылады, әдетте олар желі немесе линза тәрізді пішіндерге ие жатындар жасайды. Олардың ішінде ең маңызды және пиритке бай кенорындар: Оренбург облысындағы *Калата* (Невьянск ауданында), *Дегтябрь* (Сысерт ауданында), бірқатар *Қарабаиш* кенорындары (Қыштым ауданында), *Блява* (Медногорск маңында) және басқалар.

Минералогиялық көзқарастан үлкен қызығушылыққа белгілі *Березовск* алтын кенорынындағы (Орал) пирит кристалдарының друзалары ие. Әдетте олар куб пішінді жақтары күшті айғыздалған кристалардан (*11-суретте*), шамалы дәрежеде пентагондодекаэдр және октаэдр кристалдардан тұрады. Кейде пириттің зор кристалдары (салмағы 32 кг-ға дейін) кездеседі. Ірі кристалдары және олардың кірікпелері конкрециялар (тасшемендер) түрінде

көмір қабаттарында кездеседі: мысалы – *Тумун* (Иркутск облысы) және *Грызлов* (Тула облысы) ашық кеніштері.

Закавказье кенорындарынан пирит жатындарына *Чирагидзор* кенорны жатады (Гяндж ауданы, Әзірбайжан). Қазақстанда *Ақшатау*, *Жайрем* және *Кенді Алтай* кенорындарында пирит мол. Гидротермалық ірі Со-пирит кенорындарына жататындар Катангадағы *Миндиги* және *Миндола* (Конго демократиялық Республикасы).

Өте жақсы жаралған кристалдар және олардың кірікпелері әсемдік-коллекциялық сапалы түрде Испаниядағы *Логронь* кенорнынан табылады, олар әктастарда жатады. Пириттің «пирит долларлары» аталатын белгілі конкрециялық дискосферолиттері *Спартаның* (Иллинойс, АҚШ) сазды тақтатастарында орналасқан.

Практикалық мәні. Пирит рудасы күкірт қышқылын алу үшін пайдаланылатын шикізаттың негізгі түрі болып табылады. Осы мақсатта өндірілетін рудадағы күкірттің орташа мөлшері 40-50 % болады. Кенді өңдеу арнайы пештерде өртеу арқылы жүргізіледі. Ал алынған күкіртті газ SO_2 азот окиселдері көмегімен тотықтырылады да су буын жіберу арқылы H_2SO_4 алынады.

Күкірт қышқылын өндіру үшін пайдаланылатын рудадағы күшәла жағымсыз қоспа болып табылады.

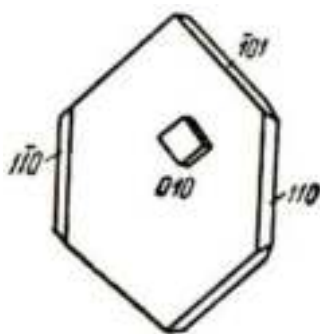
Көбінесе пирит рудасында кездесетін мыс, мырыш, кейде алтын, селен және басқалар қосымша тәсілдермен айырып алынады. Өртеу нәтижесінде алынған темір күйігі тазалығына байланысты бояулар әзірлеу үшін немесе темір рудасы ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Құрамында кобальтты пирит бар руда ондағы кобальттың төмен мөлшеріне қарамай (минералдағы мөлшері 0,5-1 %) әлемдегі кобальт тұтынуының шамамен жартысына жуығының шикізаты болып табылады.

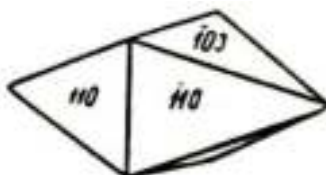
МАРКАЗИТ – $\text{Fe}[\text{S}_2]$. Атауы көне араб сөзінен шыққан, осылай деп пиритті де, марказитті де атаған.

Химиялық құрамы. Fe – 46,6 %, S – 53,4 %. Қоспалары: өте шамалы мөлшерде As, Sb, Te және басқалар болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pn\bar{m}(D_{2h}^{12})$. $a_0=4,4369$; $b_0=5,4149$; $c_0=3,381$. **Кристалдық құрылымы** жоғарыда сипатталған. **Кристалдарының келбеті** тақташаланған (*119-сурет*), кейде қысқа сырықша, жалған дипирамида (*120-сурет*). Қарапайым және еселенген қосақтары аса кең таралған; олар өзіндік найза тәрізді келбетті (*121-сурет*). Кейде тарамдалған кристалдарының тарак пішінді кірікпелері тән (*122-сурет*). Конкрециялар (тасшамендер), сондай-ақ сауыс-, бүйрек-, қабыршақтәрізді және бұрыс пішінді жаралымдар түрінде кездеседі.



119-сурет. Марказиттің тақташа кристалы үстінде пириттің заңдылықты өскіні бар



120-сурет. Марказиттің жалған дипирамида кристалы, екі белдеулі призмамен қырланған



121-сурет. Марказиттің призма кейіпті кристалдары полисинтетикалық қосақтарының найза-тарақ тәрізді кірікпелері



122-сурет. Найза тәрізді марказит қосақтарының радиал кірікпесі (Грицово, Тула обл.)

Түсі – марказит жез-сары түсті сұрғылт немесе жасылтым реңді. **Сызық түсі** күңгірт жасылтым-сұр. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 5-6. **Морт.** **Жіктілігі** жетімсіз {101} бойынша. **Мен. салмағы** 4,6-4,9 (пиритке қарағанда төмендеу). **Басқа қасиеттері.** Электрді нашар өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Марказит кристалдарына найза тәрізді немесе тақташа пішіндер тән, осы пішіндерімен пирит кристалдарынан ажыратылады. Ал конкрециялары мен тығыз массаларда оны пириттен

ажырату оңай болмайды. Шөгінді таужыныстарда байқалған осындай жаралымдар көбінесе дәстүр бойынша сынақтан өткізбей-ақ марказит деп қабылданады, бірақ тексеру мұндай конкрециялардың 80 % шамасы пириттен тұратынын көрсетеді. Жаңа омырылымында пиритте болмайтын жасылтым рең тән. Жылтырланған шлифте пириттен микроскоп астында күшті білінетін оптикалық анизотропиясымен оңай ажыратылады. Сондай-ақ пириттен дифрактограммасы бойынша да айтарлықтай айрықшалаынады.

Жаралуы және кенорындары. Табиғатта пиритке қарағанда біршама сирек таралған. Эндогендік те, экзогендік те минералдық жаралымдарда кездеседі.

Эндогендік жаралымды марказит *гидротермалық*, негізінен желілік кенорындарда байқалады. Әдетте ол минералданудың ең соңғы сатысында жаралады. Көбінесе ол друзалы қуыстарда, негізінен ұсақ кристалдар өскіні түрінде анықталады. Кейде олар тозаң тәрізді жұғындылар түрінде кварц, кальцит, галенит, сфалерит, солғын кендер және басқа минералдар кристалында өседі. Кейде қабыршақ және сферолит пішіндер түрінде болады.

Марказит шөгінді таужыныстарда, негізінен көмірлі құм-саз түзілімдерде негізінен конкрециялар (тасшемендер), бұрыс пішінді түйірлер және органикалық қалдықтар бойынша псевдоморфозалар, сондай-ақ майда дисперсиялы қара күйе зат (мельниковит) түрінде кездеседі. Макроскопиялық белгілері бойынша оны кейде жаңылысып пирит ретінде қабылдайды.

Оттекті тотығу жағдайларында марказит пиритке қарағанда жеңіл ыдырап, темір сульфаттарын және еркін күкірт қышқылын жасайды, ал оттек жеткіліксіз болған жағдайларда – сондай-ақ сомтума күкірт жаралады. Ақыр соңында марказит тотыққанда темір гидроокиселдері (лимонит) пайда болады. Эксперименттік зерттеулер анықтағандай, марказиттің пириттен айырмашлығы, ол қышқылды ерітінділерден төмендеу температурада оңай жаралады. Пиритке керісінше, ол табиғатта тұтас руда түріндегі ірі кенорындар жасамайды.

Марказит пиритпен бірге біршама елеулі мөлшерде кездесетін гидротермалық сульфид кенорындарының мысалы ретінде Оренбург облысындағы *Блява* (Оңтүстік Орал) атауға тұрарлық. Мұнда ол майда кристалды, аралас таралған агрегаттардан тұрады. Марказитпен бірге пириттен басқа сфалерит, вюрцит, халькопирит, кварц және басқалар болады.

Құрамында марказит бар шөгінді таужыныстар Россияның көптеген алқаптарында кең таралған. Олардың қатарына, мысалы, Москва маңы *Қоңыр көмірлі алап* (Тула облысы) көмірлі түзілімдері жатады, олардың құрамында әр түрлі пішінді марказит және пирит конкрециялары (тасшемендері) болады. Марказит конкрециялары пішіндерінің сан қилылығы бойынша Ортаңғы Оралдың шығыс беткейіндегі (Екатеринбургтен шығысқа қарай) *Курья-Каменск* және *Троицк-Байновск* кенорындары саз түзілімдерінің даңқы шыққан. Мұнда шар тәрізді жалбырлардан басқа бүйрек тәрізді жиырылымдар, конкрециялар кең

таралған. Конкрецияларда дарақтар радиал-сәулелі орналасып, жақсы білінген найза тәрізді қосақтарымен аяқталады.

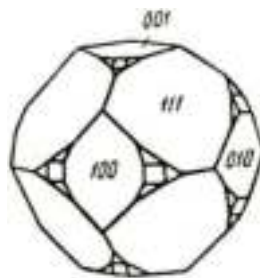
Шетел кенорындары ішінде *Клаусталль* және *Фрайберг* (Германия) кенорындарын атауға болады, оларда керемет жаралған марказит кристалдары және басқалар кездескен.

Практикалық мәні. Кенорындарда марказит массалары үлкен болған жағдайларда, пирит кенорындары сияқты күкірт қышқылын өндіру мақсатында шикізат көзі бола алады.

СПЕРРИЛИТ – $Pt[As_2]$. Атауы осы минералды Садбери кендерінде тапқан химиктің атымен байланысты.

Химиялық құрамы. Pt – 56,5 %, As – 43,5 %. Қоспалары, %: Rh (1,6-ға дейін), Fe (0,4-ке дейін), Cu (0,7-ге дейін), Sb (0,6-ға дейін), Sn (3,6-ға дейін).

Сингониясы кубтық, симметрия түрі дидокаэдрлік $3L^2 4L^3 3PC$. Кеңістіктік тобы $Pa3(T_h^6)$. $a_0=5,950$. **Кристалдық құрылымы** пириттің құрылымына ұқсас. Негізінен тек қана кристалдары байқалады, көбінесе ұсақ болады. **Кристалдарының келбеті** кубтық, октаэдрлік, кейде пентагондодекаэдрлік. Пішіндері комбинациясынан жиі кездесетіні $\{100\}$, $\{111\}$, $\{110\}$, $\{201\}$ және басқалар (*123-сурет*). Қосақтары сирек.



123-сурет. Сперрилит кристалы

Сперрилиттің түсі қалайы ақ. **Сызық түсі** күңгірт-сұр. **Жылтырлығы** металша күшті.

Қаттылығы 6-7 (қаттылығы бойынша сульфидтер мен арсенидтер класында лауриттен кейінгі екінші минерал). **Жіктілігі** куб бойынша байқалады. **Мен. салмағы** 10,5-10,7 (осы класс минералдары үшін ең жоғары). **Басқа қасиеттері.** Электрді нашар өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Ең басты қасиеттеріне жататындар түсі, жоғары қаттылығы, үлкен меншікті салмағы, кристалдар түрінде болуы, қышқыл төзімділігі, платина мен күшәлаға реакциясы.

Қызарғанша қыздырылған платина қалақшасында ұсақ түйіршіктері As_2O_3 бөліп лезде балқиды; қалақшаның өзіне кеуек платина балқып жабысады. Қышқылдарда, тіпті патша арағының өзінде ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Россияда Норильск тобының *Талнах* мыс-никель кенорынында, сондай-ақ Шығыс Сібірдің (Чита облысы) *Зей* және *Тимптон* аудандарындағы бірқатар өзен шашылымдарында белгілі. Көбінесе жақсы дамыған кристалдар жасайды (*123-суретте*).

Мыс-никель сульфид рудаларының Садбери типті кенорындарында негізді интрузиялық таужыныстармен (габбро-норит және габбро-диабаз)

генетикалық байланыста кездеседі. Пиритпен, халькопиритпен, пентландитпен парагенетикалық байланысқан. Платина тобы минералдарынан онымен бірге көбінесе палладийлі платина кездеседі.

Сперрилит Садберидегідей парагенетикалық топтамаларда *Бушвельд* комплексінде (Оңтүстік Африка) негізді магмалық пегматоид жаралымдары арасында кездескен. Дәл осы ауданда ерекше метасоматоздық кенорындарда Бушвельд комплексінің негізді таужыныстары мен әктас жапсарында скарн минералдары бірлестігінде байқалған.

Химиялық төзімділігіне байланысты, сперрилит тотығу белдемінде ыдырамайды және кенорындар қираған кезде шашылымдарға өтіп, көбінесе кристалл жақтарын жақсы сақтайды.

Практикалық мәні. Платинаға бай минерал ретінде өнеркәсіптік қызығушылық туындатады. Оның рудадағы мөлшері өте аз болғанның өзінде, ол руданы комплексті пайдалану кезінде ілеспе ретінде айырып алына алады.

КОБАЛЬТИН – $\text{Co}[\text{AsS}]$. Синонимі: кобальт жылтыры.

Химиялық құрамы, %: Co – 35,4; As – 45,3; S – 19,3. Талдау деректері бойынша Co мөлшері 26-34 % ауқымында, As 42–48 % және S 18–21 % шамасында өзгереді. Сонымен қатар, кейде Ni 2–3 % және Fe – 8, ал кейбір жағдайларда 16 % шамасына дейін (темірлі кобальтин) кездеседі.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі пентагон-тритетраэдрлік $3L^24L^3$. Кеңістіктік тобы $P2_13(T^4)$. $a_0=5,575$. Анықталғандай, кобальтин көпшілігінде $[\text{AsS}]$ гантель сияқты топтарының бейэквивалентті шеттері бұрылғанда реттелетініне байланысты ромбылық симметриясымен сипатталады және миметикалық микроқосақталуына байланысты жалған кубтық симметрияға ие болады.

Кристалдық құрылымы пириттің құрылымына өте ұқсас. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары біршама жиі кездеседі. Келбеті октаэдрлік, кубтық және пентагон-додекаэдрлік (*117-суретте*). Осыған байланысты ең көп таралған пішіндеріне жататындар: $\{111\}$, $\{100\}$, $\{210\}$, $\{110\}$ және басқалар. Сондай-ақ әдетте пиритке тән комбинациялар да кездеседі, әсіресе $\{111\}$ және $\{210\}$, олар *124-суретте* бейнеленген. Қосақтары (110) және (111) бойынша сирек. Кобальтин сондай-ақ бұрыс пішінді түйірлер мен тұтас массалар түрінде де кездеседі.

Түсі. Кобальтин ақ немесе болат-сұр түсті қызғылт реңді. Темірге бай түрлестері күңгірт-сұр немесе сұрғылт-қара түсті. **Сызық түсі** сұрғылт-қара. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 5–6. Морт. **Жіктілігі** куб бойынша орташа. **Мен. салмағы** 6–6,5. Электрді нашар өткізеді.



124-сурет. Кобальтин кристалы: пентагондодокаэдр мен октаэдрдің комбинациясы

Диагноздаушы белгілері. Мұқият байқау жүргізгенде кобальтинді өзіне тән қызғылт реңі, жоғары қаттылығы және көбінесе пішіндерінің $\{100\}$, $\{111\}$ мен $\{210\}$ бойынша типтік комбинациялары бойынша ажырату қиын болмайды. Өзіне түсі бойынша ұқсас линнеиттен жоғарылау қаттылығымен айрықшаланады. Морыған үлгілеріне сондай-ақ қызғылт түске қанық боялған эритринмен ($\text{Co}[\text{AsO}_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) парагенезисі тән.

Ұнтағы көк түске боялады (кобальтқа реакциясы). Азот қышқылында S және As_2O_3 (қызғылт ерітінді) бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Негізінен гидротермалық процестердің типтік минералы ретінде жапсарлық-метасоматоздық және желілік кенорындарда кездеседі. Әдетте кобальт пен темірдің күшәлалы-күкіртті минералдарымен, сондай-ақ халькопиритпен, сфалеритпен, кварцпен, скарн минералдарымен, темірлі хлоритпен, турмалинмен, апатитпен және басқалармен бірлеседі.

Морыған кезде кобальтин бойынша және де кобальттың басқа күшәлалы қосылыстарынан жер сияқты немесе кристалл эритрин оңай жаралады. Эритриннің қызғылт түсі кобальттың сульфид-күшәлалы кенорындарының тотығу белдемдерінде көзге бірден түседі.

Россияда кобальтин *Покровское* (Ортаңғы Орал) скарн-темір рудалы кенорнында магнетитпен, халькопиритпен және пиритпен бірге, сондай-ақ *Хову-Аксы* кенорнында (Тыва Республикасы, Россия) кобальт пен никельдің арсенидтерімен бірге кездесетінімен белгілі.

Кобальтин елеулі мөлшерде жапсарлық-метасоматоздық жаралымды темір рудалы *Дашкесан* кенорнында (Гяндж ауданы, Әзірбайжан) кездескен. Мұнда ол магнетитті жатынның аспалы қапталында гидротермалық өзгерген актинолит-анартас скарндары арасында байқалған. Онымен халькопирит, пирит, сфалерит, молибденит, магнетит, анартас, кальцит, апатит, кварц және басқалар парагенетикалық байланысқан.

Канадада елеулі мөлшерде Онтарионың *Кобальт* округі кенорындарында саффлоритпен, скуттерудитпен, хлоантитпен, никелинмен, герсдорфитпен, сомтума күміспен, аргентитпен, доломитпен, кальцитпен және басқа минералдармен бірлесе, және де *Скуттеруд* (Норвегия) пен *Тунаберг* (Швеция) кенорындарында кездеседі.

Практикалық мәні. Кобальтин өндірістік рудалардан кобальт алудың негізгі көздерінің бірі. Өйткені кобальттың бағасы өте жоғары, сондықтан сульфид-күшәлалы рудалар өндірістік мәнге олардағы кобальт мөлшері 0,1-0,2 % болғанның өзінде тиімді болмақ.

Кобальттың қолданылуы оның құнды қасиеттеріне негізделген: 1) оның әр түрлі қосылыстары төзімді көк және жасыл бояулар беріп, олар шыныны және керамикалық бұйымдарды бояу үшін қолданылады – бұл өте ерте замандарда белгілі болған; 2) кобальт легирлеуші элемент ретінде қаттылығы жоғары және жоғары температурада төзімді, сонымен қатар айрықша магнитті қасиеттерге ие арнайы болат даярлау үшін қажет; 3) басқа металдармен (Cr, Mo, W және басқа) бірқатар техникалық маңызды қорытпалар береді және басқа салаларда.

ГЕРСДОРФИТ – Ni[AsS]. Синонимі: никель жылтыры. Кобальтқа және темірге бай түрлестері бар.

Химиялық құрамы6, %: Ni – 35,4; As – 45,3; S – 19,3. Ni мөлшері әдетте 26–40 %, As – 37–56 % және S – 6–19 % шамасында өзгереді. Қоспалардан көбінесе Co, Fe, Sb және басқалар болады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі пентагон-тритетраэдрлік $3L^24L^3$. Кеңістіктік тобы $P2_13(T^4)$. $a_0=5,719$. **Кристалдық құрылымы** пириттің құрылымына ұқсас. **Кристалдарының келбеті** октаэдрлік немесе кубтық. Ең жиі байқалатын пішіндері: {100}, {111}, {110}, {210}, {311}. Қосақтары (111) бойынша сирек. Көбінесе түйірлі агрегаттарда кездеседі.

Түсі. Герсдорфит күміс-ақтан болат-сұрға дейін. **Сызық түсі** сұрғылт кара. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 5,5. Морт. **Жіктілігі** кейде {111} бойынша байқалады. **Мен. салмағы** 5,6–6,2. Электрді жақсы өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Макроскоптық түрде оны бірқатар күшәлалы минералдардан: скуттерудиттен ($CoAs_{2-3}$), никельскуттерудиттен ($NiAs_{2-3}$), ульманиттен ($Ni[SbS]$), арсенопириттен ($Fe[AsS]$) және басқалардан ажырату қиын. Сондықтан микроскоптық зерттеулерге және Ni, As, S химиялық реакцияларына жүгінуге тура келеді, ал изоморфтық Fe, Co, Sb қоспалары болған жағдайда – ең болмағанда ең басты элементтердің мөлшерін сандық анықтаулар жүргізіледі.

HNO_3 қышқылында S және As_2O_3 бөліп ыдырайды. Ерітіндінің түсі жасыл болып, құрамында Ni бар екенін көрсетеді.

Жаралуы және кенорындары. Герсдорфит негізінен *гидротермалық* кенорындарда кездесетін минералдар қатарына жатады. Онымен парагенезистік байланыстағы никель арсенидтері мен сульфидтері: никелин, миллерит, скуттерудит, раммельсбергит, ульманит және басқалар. Басқа минералдардан онымен бірлестікте әр түрлі сульфидтер, сондай-ақ карбонаттар (кальцит, анкерит, доломит) және кварц кездесуі мүмкін.

Тотығу белдемінде никельдің басқа арсенидтері сияқты, герсдорфиттен ашық-жасыл аннабергит ($Ni_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$) жаралады.

Россия аумағында герсдорфит өте аз кенорындарда және өте мардымсыз мөлшерде анықталған. Оның Оралдағы *Березовск* алтын рудалы кенорында ірі кристалды доломитке ұсақ түйірлер түрінде, содан кейін *Берикуль* күміс-алтын рудалы кенорында (Кемерово облысы, Батыс Сібір) раммельсбергитпен, никелинмен және басқалармен бірлестікте табылғаны

көрсетілген. *Астафьев* (Оңтүстік Орал) кварц кенорнында кварцтың құрамында ірі кристалл кірінділер түрінде белгілі.

Шет елдерде ең көп мөлшерде *Гарц* (Германия), *Кенді таулар* (Саксония, Германия) және басқа жерлердегі кенорындарда анықталған.

Практикалық мәні. Герсдорфиттің мәні біршама төмен, өйткені ол әдетте никель мен кобальттың сульфид-күшәлалы рудаларында ілеспе ретінде ғана кездеседі.

ЛЕЛЛИНГИТ – $\text{Fe}[\text{As}_2]$. Атауы Каринтиядағы (Австрия) Лёллинг қаласы бойынша берілген. Оны алғаш рет Моос сипаттаған.

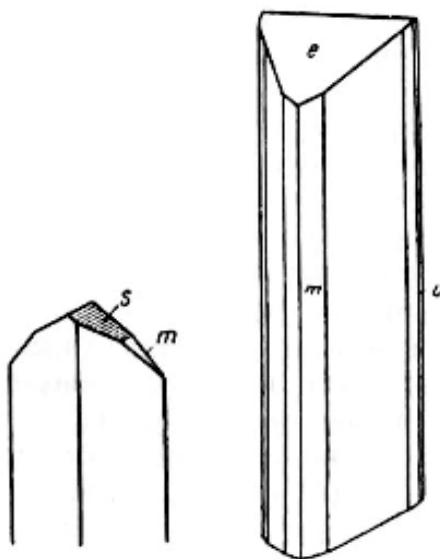
Химиялық құрамы. Fe – 27,2 %, As – 72,8 %. Fe:As қатынасы біршама ауытқып тұрады. Мардымсыз мөлшерде әдетте S (6 %-ке дейін) және Sb (5 %-ке дейін) анықталады. Кобальтке (глаукопирит) байыған түрлестері кездеседі, олар леллингит–саффлорит ($\text{FeAs}_2\text{--CoAs}_2$) қатты ерітіндісінің ұдайы қатары болатынын көрсетеді. Кобальтпен бірге әдетте шамалы мөлшерде никель де болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pn\bar{m}(D_{2h}^{12})$. $a_0=5,227$; $b_0=5,959$; $c_0=2,844$. **Кристалдық құрылымы** марказиттің құрылымына ұқсас, бірақ та Fe төңірегіндегі As координациясының типі бойынша марказиттен де, арсенопириттен де біршама ерекшеленеді. Темірді кобальт алмастырған кезде құрылымы сақталады. (Co+Ni):Fe қатынасы артқан сайын c осі бойынша ұяшықтың өлшемі біртіндеп арта бастайды, ал ұяшықтың басқа екі қабырғасының ұзындығы шамамен бұрынғыдай қала береді.

Кристалдарының келбеті көпшілік жағдайларда призмалық (*125-сурет*). Сондай-ақ тұтас массаларда да кездеседі.

Түсі – леллингит күмістей ақтан болаттай сұрға дейін. **Сызық түсі** сұрғылт-қара. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 5–5,5. Морт. **Жіктілігі** кейде {010} және {110} бойынша айқын. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** 7–7,4 (арсенопириттен біршама жоғары). **Басқа қасиеттері.** Электрді жақсы өткізеді.



Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша арсенопиритке өте ұқсас, сондықтан оны көбінесе арсенопирит деп қалады. Бұл минералдардың елеулі айырмашылығы тек меншікті салмағында ғана болады. Кейбір айырмашылықтары сондай-ақ микроскоп астында жылтырланған шлифтерде анықталады.

HNO_3 қышқылында As_2O_3 бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Табиғатта арсенопиритке қарағанда әдетте шамалы мөлшерде кездеседі. *Гидротермалық* желілік және метасоматоздық кенорындарда көбінесе арсенопиритпен, темір және мыс сульфидтерімен, Со арсенидтерімен, сондай-ақ кальцитпен, сидеритпен, кварцпен және басқалармен бірлестікте байқалады. Кейде гранит пегматиттерде байқалады.

Тотығу белдемінде ыдырайды да скородит ($\text{Fe}^{3+}[\text{AsO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) жаралады.

Россияда леллингит табылымдары Оралдың бірқатар жерлерінде байқалған (*Тура* кеніштері, *Кочкар* алтын рудалы кенорны). Қалайы рудалы *Сохондин* кенорнында (Чита облысы, Кыр ауданы) бұл минерал тұтас шоғырлар және қалыңдығы 3 см-ге дейін желішіктер түрінде кездескен. Бір айтатыны, ол арсенопириттен кейін жаралып, оның кристалдарының бетін жауып қалады. *Тигриное* кенорнында (Приморье) арсенопиритпен, касситеритпен, вольфрамитпен, топазбен және флюоритпен бірге кварц желілерінде болады. Оның гранит пегматиттеріндегі табылымдары белгілі.

Көптеген шетел кенорындарында: Каринтияда (Австрия), Гарц пен Саксонияда (Германия), Норвегияда, Канадада және басқаларда хаттамаланған.

Практикалық мәні. Күшәлаға өте бай темір арсениді ретінде күшәла рудасы бола алады.

АРСЕНОПИРИТ – $\text{Fe}[\text{AsS}]$. Синонимдері: күшәла колчеданы, миспикель. Түрлесі: данаит – кобальтты арсенопирит; кобальтқа бай түрлестері глаукодот деп аталады.

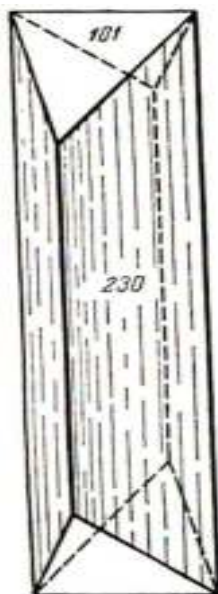
Химиялық құрамы, %: Fe – 34,3; As – 46,0; S – 19,7. Химиялық талдау құрамының бұл шамалардан жиі ауытқитынын көрсетеді, әсіресе As және S үшін. Көптеген кенорындар үшін әсіресе ерекшелігі – арсенопириттің алтынды болуы. Алтын көбінесе микроскоп астында кірінділер түрінде анықталады, бірақ көпшілігінде ол майда дисперсиялы фаза түрінде болады, яғни арсенопирит бұл жағдайда шын мәнінде кристалзоль болып табылады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $B2_1/d(C^5_{2h})$. $a_0=9,58$; $b_0=5,69$; $c_0=6,42$; $\beta=90^0$. **Кристалдық құрылымы.** Арсенопирит кристалдарының морфологиялық ерекшеліктері бойынша марказит қатарына жатады. Бірақ рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, бұл минералдың шынайы құрылымы моноклиндік және тек қосақтануынан – жалған ромбылық. Fe әр ионы бұрмаланған октаэдр ішінде үш S ионымен қоршалған, мұндағы октаэдрде үш төбесін S, ал қалған үшеуін As алып жатады. As және S иондары бұрмаланған тетраэдрдің төбелері

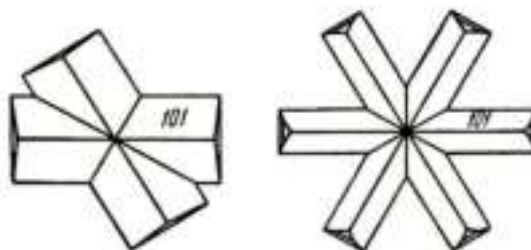
бойынша орналасады: As иондары үш Fe ионымен және бір S ионымен қоршалса, ал S иондары үш Fe ионымен және бір As ионымен қоршалған.

Кристалдарының келбеті. Тамаша жаралған кристалдарда өте жиі кездеседі. Кристалдары әдетте призмалық, қысқа бағаналардан сырықшаларға және ине тәрізді келбетке ие (126-сурет). Сондай-ақ бірінші және екінші текті призмалардың біркелкі дамуынан жаралған жалған дипирамида кристалдары да аса кең таралған. Мынадай пішіндері өте жиі байқалады: $\{101\}$, $\{230\}$, $\{210\}$, $\{140\}$ және басқалар. Оған тәні – c осі бойынша жақтарының айғыздалғандығы. Кристалдары друзалы қуыстарда кең дамыған, бірақ кенорындардың қапталдас таужыныстарында метасоматоздық жолмен дамыған метакристалдары да өте жиі кездеседі. Көбінесе айқыш тәрізді келбетті қосақтары, сондай-ақ жұлдызша үшемдері де байқалады (127-сурет). **Агрегаттары.** Тұтас массаларда түйірлі және сырықша агрегаттар жасайды.

Түсі. Арсенопирит қалайы ақтан (кристалдарының жақтарында) болат-сұрға дейін (омырылымда). Сары түсті құлпырымы жиі. **Сызық түсі** сұрғылт-қара, кейде қошқыл ренді. **Жылтырлығы** металша.



126-сурет. Арсенопирит кристалы



127-сурет. Арсенопирит қосағы және үшемі

Диагноздаушы белгілері. Оған тәні – кристалл жақтарының қалайы ақ түсі, біршама жоғары қаттылығы және құрамында басты құрамдас бөліктері ретінде темір, күшәла және күкірт болуы. Балғамен соққанда сарымсақ иісі

шығады. Кристалдарының пішіні де аса тән. Леллингиттен ($\text{Fe}[\text{As}_2]$) меншікті салмағының төмендігімен айрықшалаынады. Түйірлі массаларда никель мен кобальттың күшәлалы қосылыстарынан (смальтиннен, хлоантиттен және басқалардан) тек сапалық химиялық сынақтар көмегімен және жылтырланған шлифтерде микроскоп астында микрохимиялық реакцияларды қолданып қана анықтауға болады.

HNO_3 қышқылында S және As_2O_3 бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Арсенопирит *гидротермалық* жаралымды минералдар қатарына жатады және эндогендік кенорындарда күшәланың ең көп таралған көзі болып табылады.

Нағыз гидротермалық, желілік және метасоматоздық жаралымды кенорындарда ол негізінен минералжаралудың температурасы жоғарылау сатысында бөлінеді. Оның дербес кенорындары да баршылық, бұл кенорындарда арсенопирит негізгі руда минерал болып табылады. Ілеспе ретінде әр түрлі металдар: қалайы, вольфрам, висмут, мыс, қорғасын, мырыш және басқалар кенорындарында кездеседі. Бейруда минералдардан онымен бірлестікте көбінесе кварц, турмалин, далашпаттар, слюдалар, карбонаттар, кейде берилл, топаз және басқалар болады.

Мору белдемінде тотығу процесінде арсенопирит біршама жылдам ыдырайды. Мұнда скородит ($\text{Fe}^{3+}[\text{AsO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) жаралып, ол әдетте сарғыш және лас-жасыл реңді ашық түске боялған түрде қопсық және жер тәрізді массаларда кездеседі (темір гидроокиселдері қоспасында ол қоңыр немесе қошқыл түске ие болады).

Россия аумағында арсенопирит басты рудажасаушы минерал болатын және өнеркәсіптік мәнге ие ондаған кенорындар белгілі. Олардың ішінде кейбіреулерін атап өтеміз. Оңтүстік Оралда ол елеулі мөлшерде алтын рудалы желілік кенорындарда кездеседі: *Кочкар* (Челябинск облысы) және *Жімігара* кенорнында (Солтүстік-Батыс Қазақстан). Бұл кенорындардағы арсенопирит құрамында алтын бар. Шығыс Сібірде елеулі мөлшерде минералогиялық жағынан аса қызықты алтын рудалы *Дарасун* кенорнында кездеседі. Мұнда алтынды арсенопирит кварцпен, пиритпен, сфалеритпен, халькопиритпен, бурнонитпен және басқа минералдармен бірлестікте көбінесе сырықша келбетті керемет друза кристалдар түрінде кездеседі. Келесі кенорын – *Запокровское* – ол доломиттенген әктас және жартылай скарн арасындағы күрделі, бұрыс пішінді желі болып табылады. Бұл кенорындағы арсенопириттің тамаша жаралған кристалдары изометрлі немесе жалпайған келбетті болып келеді. Арсенопириттің изометрліге жақын жақсы жаралған кристалдары пирротинмен, галенитпен және сфалеритпен друза жасап, *Дальнегорск* кенорнының (Приморье) пироксенді скарндары арасында орташа температуралық гидротермалық желілерінде байқалады.

Орта Азияда әктастарда жаралған желілік те, метасоматоздық та бірқатар ірі кенорындар белгілі: *Үч-Имчак* (Талас Алатауы, Қырғызстан) – пирротинмен, пиритпен, висмутинмен бірлестікте; *Такелі* (Ташкенттің оңтүстігінде, Өзбекстан) – оның рудасының минералдық құрамы күрделі; бірқатар Қазақстан кенорындары.

Басқа шетел кенорындарынан тек өте ірі *Болиден* (Швеция) кенорнын ғана атап кетеміз, мұнда арсенопирит механикалық байыту кезінде толық айырып алынбайтын алтынға бай.

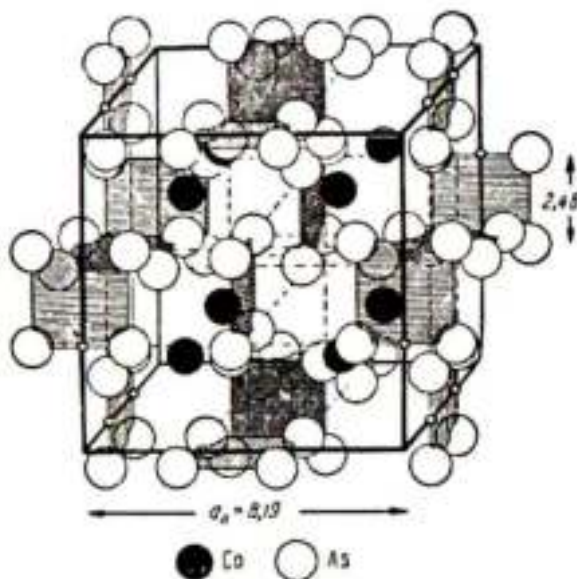
Практикалық мәні. Арсенопирит рудасы негізінен күшәланың әр түрлі қосылыстарын алу үшін негізгі шикізат болады. Бұл қосылыстар ауыл шаруашылығында зиянкестермен күресу үшін пайдаланылады, сондай-ақ бояу, тері илеу және химияық өнеркәсіптің басқа салаларында қолданылады. Бұл рудалардағы күшәланың минимал өнеркәсіптік мөлшері 5-6 % деп қабылданады. Полиметалл рудаларын комплексті пайдаланған кезде күшәла ілеспе түрде алынуы мүмкін, әсіресе руданы балқытатын пештерден шыққан газдардан.

11. Скуттерудит тобы

Мұнда изоморфтық қоспалар жасайтын AX_3 немесе AX_{3-2} құрамды Ni және Co арсенидтері жатады, олардың құрамында елеулі мөлшерде Fe де болады. Бұл минералдар кубтық сингонияда кристалданады.

Рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, бұл минералдар өзінің кристалдық құрылымы бойынша осының алдындағы топтан, олардың құрамы көбінесе диарсенидтер түріне бейнелене алғанына қарамай, айтарлықтай айрықшалаынады.

Скуттерудит кристалдық құрылымының өзіндік ерекшелігіне күшәла атомдары төрт еселенген As_4 тобын жасайды да *квадраттың* төбелері бойынша орналасатыны жатады (*128-сурет*). Бұл жазық топтар қырлар мен жақтардың орталарына орналасады, сондай-ақ куб ұяшығының жақтарына параллель бағдарланады, ал катиондар мұнда элементар куб торының октанттар центрлерін алып жатады. Әр Co ионы алты As ионымен қоршалған. Скуттерудиттің кристалхимиялық формуласын былай жазған дұрыс: $Co_4[As_4]_3$.



128-сурет. Скуттерудиттің кристалдық құрылымы. As_4 квадрат топтары штрихтелген

Қазіргі кезде *никельскуттерудитке* жатқызылатын смальтин мен хлоантит құрамындағы күшеланың мөлшері аз болғанына қарамай, дәл осындай кристалдық құрылымға ие болатыны анықталған. Тек олардың элементар ұяшықтары ғана скуттерудитпен салыстырғанда біршама үлкен болады екен.

Сондықтан осы минералдардың барлығының физикалық және химиялық қасиеттері керемет ұқсас болатыны да таңқаларлық емес. Баяндауды қайталай бермес үшін біз төменде осы топ минералдарының жалпы сипаттауын береміз.

СКУТТЕРУДИТ – $\text{Co}_4[\text{As}_4]_3$. Атауы Скуттеруд (Норвегия) мекені бойынша берілген, минерал алғаш осы жерде табылған. Смальтин (шмальтин) деп аталатын түрлесіне күшела мөлшері тапшы және никель қоспасы бар дарақтары жатады – $(\text{Co},\text{Ni})\text{As}_{3-x}$, мұндағы $x=0-0,5$; оларға құрамы бойынша белдемділік тән.

НИКЕЛЬСКУТТЕРУДИТ (әлі де біршама кең таралған синонимі – хлоантит) – $\text{Ni}_4[\text{As}_4]_{3-x}$, мұндағы $x=0-1$. *Хлоантес* грекше – жасылдайтын, жасылданатын. Мұнда қышқылдардағы ерітінділердің никель қосылыстырымен жасыл түске боялатыны ескерілген сияқты немесе бұлай атауға бұл минералдың жасыл түсті тотығу өнімдері (аннабергит) негіз болған, қызғылт түске боялатын туынды минералдар (эритрин) беретін кобальт арсенидтеріне керісінше.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Жекелеген компоненттерінің мөлшері кең ауқымда ауытқиды (6-кесте).

6-кесте. Скуттерудит тобы минералдарының химиялық құрамы, сал. %

Элемент	Скуттерудит	Смальтин	Никельскуттерудит
As	76,4 – 72,9	71,6 – 63,4	73,5 – 70,1
S	0 – 1,7	0 – 1,4	0 – 0,6
Co	20,5 – 10,8	24,1 – 13,8	3,6 – 6,3
Ni	0 – 9,4	1 - 15	21,2 – 14,5
Fe	0 – 5,8	1,2 – 7,7	2,8 – 5,2

Химиялық талдаулар сонымен қатар құрамында Cu, Bi, Pb және Ag бар екенін көрсетеді. Олардың болуы механикалық қоспаларға байланысты болуы ықтимал.

Сингониясы кубтық, симметрия түрі дидодекаэдрлік $3L^24L^33PC$. Кеңістіктік тобы $Im\bar{3}(T_h^5)$. Ұяшықтың өлшемі Ni мөлшерінің, сондай-ақ Fe мөлшерінің артуына байланысты өседі. $a_0=8,189$ (скуттерудит үшін), $8,24$ (смальтин үшін), $8,28$ (никельскуттерудит үшін). **Кристалдарының келбеті** кубтық, кубоктаэдрлік немесе октаэдрлік. Кристалл беттеріне жақтарының жабынқыштық, құрама-блоктық мүсіндері тән, кейде қисайған қырлар жасайды. Дендрит (бұтақ) тәрізді өскіндер, сондай-ақ тұтас түйірлі агрегаттар түрінде кездеседі.

Түсі қалайы ақ, кейде сұр немесе кемпірқосақ түсті құлпырымы болады. **Сызық түсі** сұрғылт-қара. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 5,5-6. Морт. **Жіктілігі** {100} және {111} бойынша байқалады. Омырылымы көбінесе ұлуша. **Мен. салмағы** 6,4-6,8. Электр өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Бұл минералдарды сыртқы белгілері бойынша анықтау үлкен қиындықтар туындатады, әсіресе олар басқа, соларға ұқсас никель, кобальт және темір арсенидтерімен тығыз кірікпелерде болғанда. Олар тұтас массаларда сыртқы түрі бойынша арсенопиритке, леллингитке, герсдорфитке, ульманитке, саффлоритке және раммельсбергитке ұқсас. Сенімді анықтауға тек оларды жылтырланған шлифтерде микроскоп астында зерделеу арқылы, химиялық талдаулар көмегімен, сондай-ақ рентгенметриялық зерттеулер жүргізіп қол жеткізуге болады.

Кобальтқа бай түрлестері HNO_3 қышқылында ыдырап, қыздырған кезде ерітіндіні қызғылт түске бояйды, ал никельді түрлестері – сарғыш-жасыл түске.

Жаралуы және кенорындары. Бұл минералдардың барлығы кобальт пен никельдің басқа арсенидтерімен парагенезисте тек қана гидротермалық кенорындарда кездеседі (Шнееберг типті және басқа).

Скуттерудит пен шмальтин моруған кезде қызғылт түсті жұғынды түрінде эритрин ($\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) жаралады, ал никельскуттерудит пен хлоантиттен ашық-жасыл түсті аннабергит ($\text{Ni}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) түзіледі.

Скуттерудит кобальттың басқа минералдарымен бірге *Төменгі Сеймчан* кенорнында (Колыма өлкесі) кездескен. *Ховуаксы* кенорнында (Тыва) скуттерудит аса мол таралған, ол доломит желілерінде жекелеген кристалдар мен сеппелер жасайды. Сонымен қатар раммельсбергитпен, никелинмен және басқа арсенидтермен және сульфоарсенидтермен тығыз бірлестікте бүйрек тәрізді – сферолит құрылысты ырғақты-белдемді полиминералды агрегаттар жасауға қатысады.

Күшәлалы-кобальтты *Ақ-Жылға* кенорнында (Оңтүстік Қырғызстан, Алай жотасы) глаукодатпен, кобальтинмен, арсенопиритпен, пирротинмен және басқа минералдармен бірлестікте кварц желілеріндегі кәдімгі минерал болып табылады. Алыс шетел кенорындары арасында *Скуттерудты* (Норвегия) атауға болады, скуттерудит осында алғаш рет рудаланған гнейстерде кобальтинмен және титанитпен бірлестікте анықталған; содан кейін *Кобальт* кенорны (Канада, Онтарио), мұнда скуттерудиттен және никельскуттерудиттен басқа сондай-ақ хлоантит пен смальтин кобальт, никель мен күмістің басқа минералдарымен бірлестікте кездескен; Кенді таулар кенорындары *Яхимов* (Чехия), *Шнееберг*, *Аннаберг* (Германия, Саксония), *Бу-Азер* (Марокко) және басқалар.

Практикалық мәні. Бұл минералдар никель мен кобальттың басқа арсенидтерімен және сульфоарсенидтерімен бірге кейде елеулі мөлшерде кездеседі. Мұндай жағдайларда өнеркәсіптік қызығушылық туындататыны даусыз.

КЛАСС 2. Сульфотұздар

Бұл класқа күрделі күкіртті қосылыстар жатады, олар химиялық конституциясы бойынша тұздарға ұқсайды. Оларды сульфотұздар деп атайды. Оксотұздар сияқты, оларда сульфонегіздер мен сульфоангидридтер немесе катиондар мен комплексті аниондар ажыратылады.

Мұнда кіретін минералдар санқилы болуына қарамай, олардың құрамына қатысатын компоненттер саны көп емес.

Сульфоангидридтер рөлін сульфотұздардың басым көпшіліктерінде As_2S_3 , Sb_2S_3 және Bi_2S_3 атқарады. Осыған сәйкес біз қосылыстардың аттарын тиісінше: *сульфоарсенидтер*, *сульфоантимониттер* және *сульфовисмутиттер* деп аламыз.

Аса көрнекілігі, сульфотұздардың барлық осы үш типінің негізіне сол бір металдар ғана кіреді, көпшілік бөлігінде Cu, Ag және Pb, яғни табиғатта ең көп таралымға мыс, күміс және қорғасын сульфотұздары ие. Tl, Hg және Fe дербес сульфотұздары өте сирек кездеседі, ал изоморфты қоспалар түрінде елеулі мөлшерде тек Zn және Mn қана байқалады.

Өте шағын мөлшерде сондай-ақ мыстың сульфованадаттары, сульфоарсенидтері және сульфоантимонаттары анықталады, яғни құрамында сульфоангидридтер рөлін V_2S_5 , As_2S_5 , Sb_2S_5 (бес валентті иондар) атқаратын сульфотұздар.

Сульфотұздардың барлық әртүрлілігі негізінен мынаған байланысты болады - қосылыстардың сапалық тұрғыдан бірдей типтерінде сульфонегіздер мен сульфоангидридтердің әр түрлі қатынасы анықталады. Мәселен, күміс сульфоантимониттері үшін мынадай қосылыстар белгілі: $12Ag_2S \cdot Sb_2S_3$, $9Ag_2S \cdot Sb_2S_3$, $5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$, $3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$, $AgS \cdot Sb_2S_3$ және $Ag_2S \cdot 6Sb_2S_3$ немесе тиісінше: $Ag_{24}Sb_2S_{15}$, Ag_9SbS_6 , Ag_5SbS_4 , Ag_3SbS_3 , $AgSbS_2$ және $Ag_2Sb_{12}S_{19}$. Бұлардың барлығы кристалдарда кездесетін және түрлі кристалдық құрылымға ие нағыз белгілі қосылыстар.

Сульфотұздар химизмінің негізгі көрсеткіштері олардың құрамына қатысатын шаламеталл атомдық салмағына байланысты өзгерістерге ұшырайды. Егер сульфоарсенидтер әдетте біршама тұрақты құрамға ие болса, онда сульфоантимониттерге, әсіресе сульфовисмутиттерге құрамының тұрақсыздығы тән болады да күкірттің бір бөлігі селенмен, ал қорғасынның – висмутпен алмасады және керісінше, бұл мұндай қосылыстардың елеулі бейстехиометрлілігіне әкеледі.

Сульфотұздардың кристалдық құрылымы оттекті тұздар сияқты, окиселдермен салыстырғанда қарапайым күкіртті қосылыстардан мынасымен айрықшалануы тиіс – сульфотұздарда құрылымдық бірліктер ретінде тек қана нығыз анион топтары қатысуы керек, мысалы $[SbS_4]^{5-}$, $[SbS_3]^{3-}$ және т.б. Сульфотұздардың ең қарапайым кубтық және тригондық кристалдық құрылымдарында шын мәнінде мынадай анион топтары анықталған: олар толық оқшауланбаған, ал көпшілік жағдайларда ең тығыз аниондық жайласуға кірген және белгілі бір дәрежеде бұрмаланған немесе сиретілген. Сульфидтер үшін кәдімгі дұрыс координациядан ауытқуды атқаратындар

сульфоаниондардың көп таралған пішіні – доғал тригондық пирамидалар немесе «қолшатырлар» (сульфиттердегі комплексті $[\text{SO}_3]^{2-}$ аниондары сияқты) $[\text{AsS}_3]^{3-}$, $[\text{SbS}_3]^{3-}$ және $[\text{BiS}_3]^{3-}$, мұндағы As, Sb және Bi үш валентті. Мұндай топтар, мысалы, пруститтің ($\text{Ag}_3[\text{AsS}_3]$), пираргириттің ($\text{Ag}_3[\text{SbS}_3]$), тетраэдриттің ($\text{Cu}_3[\text{SbS}_3]$) және басқалардың құрылымында бар. Мұндай қолшатырша сульфоаниондар айқын полүстілікке ие болады да төрт төбесінің бірінде шаламеталл орналасады. Сипатталып отырған бейтолықвалентті As^{3+} , Sb^{3+} және Bi^{3+} шаламеталды сульфоаниондарда күкірттің жазықшұбыршыты координациялық топтамасы, ол $[\text{CO}_3]^{2-}$ карбонат-ионда болатын сияқты неге іске асырылмайды деген сұрақ айқын жауап алуы үшін шаламеталдардың электрондық конфигурациясын қарастыру қажет.

As^{3+} , Sb^{3+} және Bi^{3+} сульфидтері молекулаларындағы атомдардың ковалентті полүстік байланысы S^{2-} атомдық негіздеріне бағытталған үш теріс зарядталған байланыстырушы электрондық жұптардың өзара максимал алыстатуын қажет етеді. Байланыстырушы жұптардан химиялық байланысқа қатыспайтын бөліске түспеген электрондық жұп та кері тебіледі. Бұл электрондық жұп шаламеталл катиондарының әрқайсысына қатысты, өйткені олар толықвалентті емес (As^{5+} пен As^{3+} салыстырсақ, олар екі электронымен айрықшалаанады). Бөліске түспеген жұп елеулі көлемді алып жатады да ол координациялық тетраэдрде жетіспейтін төртінші төбесін жасайды. Бұл тетраэдр шаламеталл атомы төңірегінде тек қана үш төбесін беретін үш S^{2-} анионы қатысуымен жаралады. Бөліске түспеген жұпты назарға алмай-ақ біз шаламеталдың координациясын пирамидалық немесе «қолшатырша» ретінде сипаттаймыз.

Бөліске түспеген электрон жұптарын орналастыру көбінесе сульфотұздардың бастапқы сульфонегіздер құрылымынан мұралайтын ең тығыз жайласуларында S^{2-} аниондарын бос жіберу арқылы іске асырылады. Бірден айта кететіні, шаламеталдар атомдарымен ілініскен бөліске түспеген жұптар өзара нашар ванверваальстық байланыстар жасауға қабілетті. Осылайша аурипигмент, антимонит және висмутин сияқты шаламеталдар сульфидтерінде жеке молекулалардың бірігуіне жағдай жасайды. Сондықтан бөліске түспеген электрон жұптары қатаң оқшауланған байланыстырушы жұпты молекулалар қатқабатынан итеріліп шығарылады да аурипигмент, антимонит және висмутин құрылымдарында молекулалар аралығындағы бос жерлерде біршама конденсациялануға бейім болады. Бөліске түспеген электрон жұптары жоқ болған кезде (яғни периодтық жүйенің тобы элементтерінің толықвалентті иондары жағдайында) жоғары симметриялы тетраэдрлік аниондар тобы $[\text{VS}_4]^{3-}$, $[\text{AsS}_4]^{3-}$, $[\text{SbS}_4]^{3-}$ қалыптасады, мұндағы V, As және Sb бес валентті.

Оттекті комплексті аниондардан айырмашылығы, комплексті сульфоаниондар көбінесе шағын нығыздығымен сипатталады, бұл As^{3+} , Sb^{3+} , Bi^{3+} , V^{5+} , As^{5+} және басқа катиондардың нашарлау үйектеуші қабілетімен байланысты екенін көрсетеді. Шаламеталдардың жекелеген координациялық топтамалары (әсіресе Sb және Bi) күкіртпен әрдайым оқшауланған түрде

болып қалмайды, бірақ әр түрлі пішінді және құрылысты күрделі құрылымдар – полианиодтар жасап конденсациялануы мүмкін. Мәселен, көптеген висмутты және сүрмелі сульфотұздардың құрылымдары құрамында комплексті аниондар болады. Бұл аниондар бір немесе екі бағытта созылған антимонит пен висмутиннің құрылымынан кесіп алынған фрагменттер түрінде сияқты. Құрылымдардың катион бөліктері де көбінесе сульфонегіздер ретінде орын алатын қарапайым сульфидтер құрылымдарының фрагментіне сай келеді. Анион және катион фрагменттері өзара біршама берік байланыстармен нығыз блоктарға бірігеді. Сульфотұздардың құрылымдық топтамасы аниондық және катиондық мотивтер топологиясы бойынша координациялық, қабатты және таспалы-тізбекті сульфотұздарды ажырататын құрылымға өте алады.

Әр түрлі сульфотұздардың құрылымдық типтері бәсекелес тенденциялар аралығында орнайтын біршама күрделі компромисс нәтижесінде қалыптасады. Бұл тенденциялар ақырғы мотивке сульфонегіздер мен сульфоангидридтердің бастапқы құрылымдарына тән және олардың бірінің сандық жағынан басым болуына байланысты орын ауыстыруына әкеледі. Нәтижесінде орнықты құрылымдық блоктар қалыптасады. Бұл блоктар сыртынан анион радикалдарының қабаттарына «киінген» сульфонегіздер құрылымының фрагменттерінен тұрады, ал радикалдар құрылысы бойынша сульфоангидридтер құрылымына жақын.

Мұнда сульфотұздарға сульфоангидридтердің молекулалық құрылымдарынан бөліске түспеген электрон жұптары да өтеді. Бұл жұптар көбінесе көлемді қажет ететін таспалар немесе қабаттар түрінде конденсациялануға ұмтылады. Ал электрбейтарап блоктар аралығындағы байланыс біршама нашарлай түседі. Сондықтан құрылымдық блоктардың мұндай сульфотұздардағы өзара орналасу мотивтері паркет өрнегін еске түсіреді. Бұл жағдай біршама дәрежеде академик А.И. Китайгородскийдің органикалық кристалдардағы «бірінің көтерілген жерлері басқалары аралығындағы бос жерлерге енеді» деген ережесіне сай келеді.

Сульфотұздардың физикалық қасиеттері металдар сульфидтерінің қасиеттерінен кейбір ерекшеліктерімен айрықшаланады. Олар қарапайым күкіртті қосылыстармен салыстырғанда, жалпы массасында төмен қаттылығымен (әсіресе төмен сингониялы сульфотұздар, оларға минералдардың көпшілігі жатады), қышқылдарда айтарлықтай жеңіл ыдырағыштығымен, біршама төмен шағылыстырғыштық қабілетімен айрықшаланады. Бұл қасиеттерінің барлығы әрине осы қосылыстар конституциясының ерекшеліктерімен байланысты. Мәселен, металдар сульфидінен – байланыстың металдылық дәрежесін арттыратын жоғары орташа атомдық номерлі металдардан, сульфотұздарға – ковалентті сульфоангидридтер қатысатын қосылыстарға өткенде, орташа атомдық номері төмендейді және металша қасиеттері (беймөлдірлік және жоғары шағылыстырғыштық қабілеті, майырылғыштық және өткізгіштік) аздау дәрежеде білінуі мүмкін. Мәселен, кейбір күшәлалы және сүрмелі Ag сульфотұздары алмасша жылтырлыққа ие және қызыл түске боялған жарық

өткізеді. Қаттылығы болса, нашар байланыстар үлесінің артуы әрі құрылымның бөліске түспеген жұптармен қопсуы себепті төмендейді, ал жұптардың белгілі бір бағыттар бойымен конденсациялануы айқын жіктіліктің білінуіне әкеледі.

Сульфотұздарды жіктелімдеген кезде ең ұтымды болатыны, оларды сульфонегіздерге қатысатын металдар бойынша үлкен топтарға бөлу. Ал содан кейін осындай топтардың ішінде жүйелеуді сульфоангидридтердің құрамы бойынша жүргізуге болады. Осындай тұрғыдан сульфотұздардың жіктелімі келесі түрге әкелінеді.

А. *Мыс сульфотұздары*, яғни $n\text{Cu}_2\text{S}\cdot X_2\text{S}_3$ типті қосылыстар, мұндағы $X=\text{As}^{3+}$, Sb^{3+} және Bi^{3+} және $3\text{Cu}_2\text{S}\cdot X_2\text{S}_5$, мұндағы $X=\text{V}^{5+}$, As^{5+} және Sb^{5+} . Осылайша, мұнда мыс сульфоарсениттері, сульфоантимониттері және сульфовисмутиттері, сондай-ақ мыс сульфованадаттары, сульфоарсениттері және сульфоантимониттері кіреді.

Б. *Күміс сульфотұздары*: $n\text{Ag}_2\text{S}\cdot X_2\text{S}_3$, мұндағы $X=\text{As}^{3+}$, Sb^{3+} және Bi^{3+} – күміс сульфоарсениттері, сульфоантимониттері және сульфовисмутиттері.

В. *Қорғасын сульфотұздары*: $n\text{PbS}\cdot X_2\text{S}_3$, мұндағы $X=\text{As}^{3+}$, Sb^{3+} және Bi^{3+} – қорғасын сульфоарсениттері, сульфоантимониттері және сульфовисмутиттері.

Сонымен қатар, әрине, көптеген поликатионды сульфотұздар бар, мысалы қосарланған. Оларды мұнда жоғарыда келтірілген бөлімдердің біріне басты деп саналған металдарының бірі бойынша шартты түрде жатқызып қарастыруға тура келеді.

1. Тетраэдрит тобы (солғын кендер)

Бұл топқа жатқызылатын минералдар солғын кендер деп аталатындардың үлкен изоморфты тобынан тұрады. Олардың жуықтатылған жалпы химиялық формуласы A_3XS_3 немесе $3A_2S\cdot X_2S_3$, мұндағы $A=\text{Cu}^+$, шағын дәрежеде Ag^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Hg^{2+} , ал $X=\text{As}^{3+}$ және Sb^{3+} , кейде Te^{5+} (*голдфилдитте*) және сирек Bi^{3+} (өте мардымсыз мөлшерде). Күкірт кейде айтарлықтай мөлшерде селенмен алмаса алады (*хакит пен жиродитте*).

Рентгенметриялық деректерге сәйкес, дәлірек формуласы мынадай болуы тиіс: $A_{10}^{+}A_{2}^{2+}X_4S_{13}$. Мұнымен солғын кендерді дәл химиялық талдаулар кезінде анықталатын күкірттің біршама артықтығы толық сәйкес келеді. Ақыр соңында, металл катиондарға қарайтын 12 позицияның екеуі екі валентті катиондармен толтырылуы тиіс екенін айтамыз. Осы екі позицияда сульфоаниондағы изоморфизмге тәуелсіз изовалентті изоморфты алмасу жүреді ($T^{4+}>X^{3+}$ алмасуын санамағанда, ол катиондық топта электрбейтараптылықты қолдау үшін сыбайлас изоморфизмді қажет етеді). Бұл позицияларда екі валентті элементтердің бірінің басымдығы тиісінше минералдық түрді бөлудің қажеттілігіне әкеледі, ал ол сульфоаниондағы шаламеталл изоморфизмімен бірлестікте елеулі әртүрлілікке әкеледі.

Мыс бір немесе екі валенттілікке ие болатындықтан, катиондар позицияларының барлығын осы элементтің бірі алып жатуы мүмкін; көпшілік жағдайларда осылай болып шығады да. Мұндай қосылыстарда сульфоангидридтердің қайсысы басым болатындығына байланысты, келесі екі ең көп таралған минералдық түр ажыратылады: *теннантит* ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) және *тетраэдрит* ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$). Табиғатта ең көп таралғандарға құрамы $\text{Cu}_{12}(\text{As, Sb})_4\text{S}_{13}$ аралас солғын кендер деп аталатындар жатады.

Солғын кендердің кристалдық құрылымы біршама күрделі, бірақ жалпы түрде кубтық ең тығыз жайласу негізінде катиондары бір бағдарлы тетраэдрлік қуыстар жартысында орналасуымен шығарыла алады. Бұл жағдай құрылымның жалпы мотивін және кристалдар келбетін сфалериттегі осындайларға жақындатады.

Солғын кендер кубтық ұяшығының параметрі шамамен сфалерит ұяшығы параметрінен екі есе үлкен. Солғын кен элементар ұяшығының құрамы рентгенография мен тығыздығын өлшеу көрсеткендей, оның екі формуласына сай келеді $\text{A}^+_{10}\text{A}^{2+}_2\text{X}_4\text{S}_{13}$. Сфалерит ZnS құрылымы (*94 а-суретте*) қыры бойынша екі есе үлкен кубтық ұяшығын таңдап алғаннан кейін, атомдарды сегіз есе көп болады: 32Zn^{2+} катионы және 32S^{2-} анионы. Zn^{2+} металл катиондардың үшінші бөлігін шаламеталл X^{3+} катиондарымен, ал қалған катиондарды A^+ бірваленттімен алмастырып $\text{A}^+_{24}\text{X}^{3+}_8\text{S}^{2-}_{32}$ құрамын аламыз. Енді шаламеталдардың қолшатырлық үшем координациясы $[\text{X}^{3+}\text{S}^{2-}_3]$ қамтамасыз ету үшін сфалериттегі $\pm n$ үшін типтік төртөмнің орнына (тетраэдрлікті, *94 в-суретте*) сегіз S^{2-} анионын алып тастаймыз. Ең тығыз жайласуда жаралған ақауларды төртеуден топтастырамыз, екі жеке бос тетраэдрлердің төбелерінде, олар толған тетраэдрлер бағдарлануына қатысты қарама-қарсы болады (мұндай тетраэдрлер *94 а-суретте* сфалерит ұяшығының бос октанттарына сай келеді). Алып тасталған S^{2-} аниондарының орнын бөліске түспеген шаламеталл X^{3+} әкелген электрон жұптары алады, олар бүлінген жайласуды біршама тұрақтандырады.

Бұл кезеңде шаламеталдардың координациясы тек қана үшке дейін төмендетіліп қоймайды, сондай-ақ S^{2-} орнына бөліске түспеген жұптардан тұратын әзірше бос екі тетраэдрге жанасатын барлық A^+ иондарының жартысы толыққанды қоршаудан айырылады, олардың S^{2-} бойынша координациясы небәрі екіге тең. A^+ катиондарының қалған жартысы бұрынғысынша төртөм координацияға ие болады (сфалериттегідей). Солғын кен элементар ұяшығының жалпы құрамы енді $\text{A}^+_{24}\text{X}^{3+}_8\text{S}^{2-}_{24}$ немесе $\text{A}^+_{24}[\text{X}^{3+}\text{S}^{2-}_3]^{3-}_8$ ретінде өрнектеле алады.

Ақаулы ең тығыз жайласуды толық тұрақтандыру үшін кері бағдарланған екі бос тетраэдрдің әрқайсысының центріне бір-бірден қосымша S^{2-} анионын енгіземіз, тетраэдрлер төңірегінде күкіртті алмастырған бөліске түспеген жұптар шоғырланған. Бұл A^+ атомдарының жартысының координациясын екіден үшке дейін арттырады. Бірақ 2S^{2-} аниондарын енгізгеннен кейін, электрбейтараптықты сақтау үшін катион бөлігінің зарядын төрт бірлікке арттыру қажет, ол үшін үшкоординациялықтар саны төрт A^+ катионын A^{2+} катионына

алмастырылады. Енді ұяшықтың құрамы $A^{+}_{20}A^{2-}_{4}[X^{3+}S^{2-}_{3}]^{3-}_{8}S_2$ болады немесе басқашасы - $A^{+}_{20}A^{2+}_{4}X^{3+}_{4}S^{2-}_{26}$. Бұл солғын кендердің топты сипаттаудың басында келтірілген екі еселенген дәл формуласы екені оңай көрінеді. Сонымен, солғын кен құрылымын сфалериттің немесе халькопириттің құрылымы сияқты координациялық деп есептеуге болады, оның кристалдарының изометрлі кейпінен жіктілігінің болмауына дейінгі көптеген қасиеттері осымен анықталады.

Осы топқа жататын барлық минералдық түрлердің физикалық қасиеттерінде көптеген ортақтықтар бар, сондықтан біз төменде топтың тек екі ғана негізгі өкілінің бірлескен сипаттамасын береміз.

ТЕННАНТИТ – $Cu^{+}_{10}Cu^{2+}_{2}As_4S_{13}$. Атауы химик Теннанттың фамилиясы бойынша.

ТЕТРАЭДРИТ – $Cu^{+}_{10}Cu^{2+}_{2}Sb_4S_{13}$. Атауы кездесетін кристалдарының пішіні бойынша берілген, бұл жалпы құрамы әр түрлі солғын кендерге тән.

Химиялық құрамы. Әр түрлі солғын кендер құрамында жекелеген элементтер мөлшері бойынша мынадай ауытқулар байқалады (%):

Cu – 22–53;	Hg – 0–17;	As – 0–20;
Ag – 0–18;	Ni – 0–3,5;	Sb – 0–29,2;
Zn – 0–9;	Co – 0–4,2;	Bi – 0–4,5 (13,07) ;
Fe – 0–13;	Mn – 0–1,5;	S – 20,6–29,1.

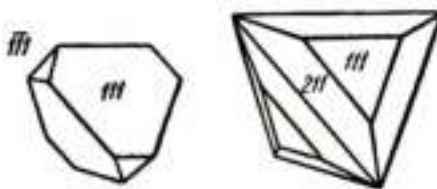
Бір валентті мыс атомдарын күміспен алмастырған кезде тетраэдрит негізінде фрайбергит – $(Ag^{+},Cu)_{12}Sb_4S_{13}$ алуға болады; ал $Zn^{2+} \rightarrow Cu^{2+}$ $Hg^{2+} \rightarrow Cu^{2+}$ изоморфизмінде тиісінше *зандбергерит* немесе *швацит* алынады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексотетраэдрлік $3L^2_4L36P$. Кеңістіктік тобы $I\bar{4}3m(T^3_d)$. $a_0=10,196$ (теннантит үшін) және $10,400$ (тетраэдрит үшін). Изоморфтық теннантит-тетраэдрит сериясында элементар ұяшығының өлшемі күшеланы сүрме және мысты күміс алмастыру барысында арта береді. **Кристалдық құрылымы** топты сипаттағанда жоғарыда келтірілген.

Бос қуыстарда кездесетін **кристалдарының келбеті** тетраэдрлік (*129-сурет*), пішіндерінің комбинациясы: $\{1\bar{1}1\}$, $\{111\}$, $\{110\}$, $\{112\}$, $\{100\}$ және басқалар. Әдетте тұтас массаларда немесе түйірлері бұрыс пішінді сеппелер түрінде кездеседі. $\{111\}$ бойынша қосақтары жиі, ал $\{100\}$ бойынша – сирек.

Түсі болат-сұрдан темір-қараға дейін (Fe-ге бай түрлестері). Сынапқа бай солғын кен – *швацит* үшін көкшіл реңді құлпырым тән. **Сызық түсі** минералдың түсіндей, кейде қоңырқай және тіпті шие-қызыл реңдіге дейін (теннантит үшін). Беймөлдір. **Жылтырлығы** металша, шала металшаға дейін күңгірт.

Қаттылығы 3–4. Морттыққа ие. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ. **Меншікті салмағы** 4,4–5,4. Күшәлалы түрлестерінің меншікті салмағы сүрмелілерімен салыстырғанда аз болады. **Басқа қасиеттері.** Шамалы электр өткізгіштікке ие.



129-сурет. Тетраэдрит кристалдары

Диагноздаушы белгілері. Өзіндік ерекшеліктеріне мыналар жатады: омырылымында солғын реңді және морттығы айқын білінеді (пышақпен сызғанда ұнтағы «тозаңға айналады» және халькозин мен аргентитте байқалатындай жылтырақ із қалдырмайды, кейбір белгілері бойынша солғын кендердегідей сияқты). Түсі және морттығы бойынша қаттылығы төмендеу және жылтырлығы біршама күшті болатын бурнонитке $\text{CuPb}[\text{SbS}_3]$ де ұқсас.

HNO_3 қышқылында S және Sb_2O_3 бөліп ыдырайды. Реагенттерге қатынасы құрамына байланысты өзгереді.

Жаралуы және кенорындары. Солғын кендер, әсіресе тетраэдрит, мыстың әр түрлі типті гидротермалық кенорындары арасында біршама кең таралған минералдар қатарына жатады. Бағыныңқы мөлшерде олар құрамы бойынша сан қилы рудаларда кездеседі. Парагенетикалық тұрғыдан көбінесе халькопиритпен, кейде сфалеритпен, галенитпен, пиритпен, арсенопиритпен, бурнонитпен және басқа минералдармен байланысты.

Кенорындар мұрыған кезде оңай ыдырайды да өзгерудің әр түрлі өнімдері: ковеллин, малахит, азурит; ал күшәла есебінен скородит ($\text{Fe}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), сүрме есебінен оның окиселдері мен гидроокиселдері жаралады.

Солғын кендер Россия аумағында кең таралған. Олар барлық мыс және қорғасын-мырыш кенорындарында кездеседі, бірақ ірі шоғырларды сирек жасайды. Солғын кендердің молдығы бойынша ең көп қызығушылыққа *Благодатные рудники* деп аталатын кенорындар ие (Екатеринбургтың солтүстік-шығысына қарай). Бұл кенорындардың солғын кендерімен алтынның өте жоғары құнарланғандығы байланысты. Олардың құрамында сүрме және күшәла болады. Олар негізінен пиритпен, халькопиритпен және кейде галенитпен бірлеседі. Тетраэдриттің жақсы жаралған кристалдары *Березовское* алтын рудалы кенорында друзалы қуыстарда кездеседі. Теннантиттің кристалдары ортаңғы Оралдың көптеген колчедан жатындарындағы друзалы қуыстарда кездеседі. Солғын кендер *Джидда* кенорны (Бурятия) жоғары температуралық вольфрамды кварц желілерінің елеулі бөлігін құрайды. Фрайбергит *Лермонтов* кенорнының (Приморье) рудаларында байқалған.

Тетраэдрит сондай-ақ *Ногольный кряж* (Украина) және *Жезқазған* (Қазақстан) сульфид желілерінде белгілі.

Практикалық мәні. Солғын кендердің ірі дербес кенорындары кездеспейді. Олар өнеркәсіптік кенорындарда құрамында мыс бар басқа күкіртті қосылыстармен бірге мыс көзі болып табылады. Құрамында теннантит бар мыс рудаларын балқытқан кезде бөлініп шығатын газдарда

зиянды қоспа күшәла As_2O_3 түрінде ұшпаланып шығады. Әрине рудаларда қоспалар түрінде кездесетін арсенопирит, энаргит және құрамында күшәла бар басқа қосылыстармен де дәл осылай болады. Ірі өндірістерде бұл «газ күшәла» өнімдерді залалсыздандыру мақсатында бөлініп шығатын ұшпалардан айырып алынады да осындай жолмен осы шикізат түрінің елеулі мөлшері ілеспе түрде алынады.

2. Энаргит тобы

Бұл топ Cu_3XS_4 ($2Cu_3XS_4=3Cu^+_2S+X_2S_5$) типті қосылыстардан тұрады, мұндағы $X=V, As$ және Sb , олар бесваленттілер. Бұл топқа бірнеше минералдық түр кіреді. Олар сфалерит пен халькопиритке туыстас құрылымдық типтерге жатады. Олардың ішінде кубтық *сульванит* $Cu_3[VS_4]$ және изоморфтық қатар жасайтын тетрагондық *люционит* $Cu_3[AsS_4]$ пен *фаматинит* $Cu_3[SbS_4]$ бар. Біз жоғарытемпературалық люционитпен диморфты *энаргитты* ғана қарастырамыз.

ЭНАРГИТ – $Cu^+_3[As^{5+}S^{2-}_4]$. *Энаргис* грекше айқын (мұнда минералдың айқын білінген жіктілігі назарға алынған болу керек) деген ұғымды білдіреді.

Химиялық құрамы, %: Cu – 48,3; As – 19,1; S – 32,6. Қоспалары: Sb (6,5 %-ке дейін), Fe (5,7 %-ке дейін), өте мардымсыз мөлшерде Pb , Zn және Ag (мүмкін олар бөтен минералдар кірінділеріне байланысты болар).

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромбылық-дипирамидалық L^22P . Кеңістіктік тобы $Pnm2_1 (C^7_{2v})$. $a_0=6,46$; $b_0=7,43$; $c_0=6,18$. **Кристалдық құрылымы** вюрциттің құрылымына ұқсас. Одан металл және шаламеталл атомдары S^{2-} ең тығыз жайласуының тетраэдрлік қуыстары бойынша реттеліп орналасуымен ажыратылады және ол координациялық жалған гексагондық ретінде қарастырылады. Металл және шаламеталл катиондарының бірдей тетраэдрлік координациясы энаргитті және оның тобындағы басқа қосылыстарды тек сульфотұздар деп қана емес, қосарланған сульфидтер (металл мен шаламеталдың) деп те санау керек. Өйткені мұнда шаламеталл атомы комплексті анион топтамасын қалыптастыруға қатыспайды, тек металмен бірдей кристалхимиялық рөл атқарады.

Кездесетін кристалдары көпшілігінде тік штрихты бағанасы, кейде тақталы келбетке ие; олар мынадай пішіндер комбинациясынан жаралған: $\{110\}$, $\{001\}$, $\{100\}$, $\{010\}$ және басқа. Әдетте түйірлі тұтас массаларда және сеппелер түрінде кездеседі.

Түсі қорғасын-сұрдан темір-қараға дейін. **Сызық түсі** сұрғылт-қара. Беймөлдір. **Жылтырлығы** шаламеталша, күшті.

Қаттылығы 3,5. Морт. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша жетік, $\{010\}$ бойынша да біршама айқын. **Меншікті салмағы** 4,4–4,5. **Басқа қасиеттері**. Электрді нашар өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша көбінесе қара сфалеритке ұқсас, бірақ одан тек бір бағытта ғана жетік жіктілігі және күштілеу жылтырлығы бойынша ажыратылады.

Жаралуы және кенорындары. Кейде айтарлықтай массаларда мыстың *гидротермалық* кенорындарында солғын кендермен, халькопиритпен, галенитпен, пиритпен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі.

Көбінесе теннантиттің энергит бойынша псевдоморфозасы анықталады, ол жасыл энаргит деген атпен белгілі. Бұл минералдардың химиялық формулаларын салыстырғанда, эндогендік жағдайларда жүретін осы процесте тек қана A_2S_5 -тің A_2S_3 -ке айналуы орын алатынын оңай көруге болады.

Кенорындардың тотығу белдемінде оңай ыдырап, одан малахит, азурит, оливенит (мыс арсенаты) және басқа туынды минералдар жаралады.

Россия кенорындарында энаргит негізінен колчедан формациясы кенорындары рудасында (Ортаңғы Орал), сондай-ақ *Ханчеранг* (Чита обл.) қалайы рудалы кенорнының гидротермалық желілерінде мардымсыз қоспалар түрінде кездеседі. Невское полиметалл кенорнында (Магадан обл.) қорғасын және күміс сульфоселенидтерімен және сульфотұздарымен парагенезисте байқалған.

Шетел кенорындары ішінде энаргит ірі өнеркәсіптік шоғырлар түрінде кездескендерінен мыналарды атаймыз: *Бьютт*, (Монтана, АҚШ), *Чукикамата* (Чили), *Цумеб* (Намибия) және басқалар.

Практикалық мәні. Үлкен мөлшерде кездескен жағдайларда мыс пен күшәла рудасы болып табылады.

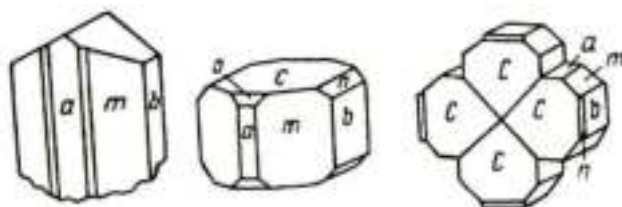
3. Бурнонит тобы

Мұнда мыс пен қорғасынның $CuPbXS_3$ типті қосарланған сульфотұздары бурнонит және айкинит жатады.

БУРНОНИТ – $CuPbSbS_3$. Синонимі: бертонит.

Химиялық құрамы, %: Cu – 13; Pb – 42,5; Sb – 24,7%; S – 19,8. Қоспалары: Fe (5 %-ке дейін), Ag (3 %-ке дейін), Zn және Mn – ізі ғана.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромбылық-дипирамидалық $3L_23PC$. Кеңістіктік тобы $Pnm2_1(C^7_{2v})$. $a_0=8,19$; $b_0=8,67$; $c_0=7,74$. Жақсы жаралған кристалдары тек қана бос қуыстарда байқалады және $\{001\}$, $\{010\}$, $\{100\}$, $\{011\}$, $\{110\}$ және басқа пішіндерінің жақтары жақсы дамыған жалған тетрагондық немесе қалың тақталы келбетке ие (*130-сурет*). Көбінесе қайталанатын айқыш тәрізді немесе дөңгелек тәрізді еселенген қосақтар жасайды (минералогия бойынша көне орыс әдебиетінде бурнонит дөңгелектенген руда деп аталған). Әдетте бұрыс пішінді түйірлерде немесе тұтас массаларда кездеседі. **Кристалдық құрылымы** антимонит құрылымына ұқсас: Cu аниондық жайласудың тетраэдрлерінде шоғырланған, антимониттің Sb атомдарының орнын Pb мен Sb кезектесіп алып жатады.



130-сурет. Бурнонит кристалдары және қосағы: $a\{100\}$, $n\{011\}$, $m\{110\}$, $b\{010\}$, $c\{001\}$, $o\{101\}$

Түсі – бурнонит болат-сұрдан қорғасын-сұрға дейін, көбінесе өзгермелі қоңырқай құлпырымды (кристалл жақтарында). **Сызық түсі** сұр. Беймөлдір. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 2,5–3. Морт. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша жетілмеген. **Меншікті салмағы** 5,7–5,9. **Басқа қасиеттері.** Электр өткізбейді.

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша солғын кендерге біршама ұқсас, бірақ күштілеу жылтырлыққа ие.

HNO_3 қышқылында S және Sb_2O_3 бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Қорғасын-сүрме рудалардың *гидротермалық* кенорындарында кездеседі. Әдетте тетраэдритпен және галенитпен тығыз бірлеседі, кейде олардың шекарасында жиектер түрінде бөлінеді.

Кенорындардың тотығу белдемінде жеңіл ыдырайды; оның есебінен малахит, церуссит (PbCO_3) және сүрме окиселдері жаралуы мүмкін.

Россияда бурнонит елеулі мөлшерде *Дарасун* алтын рудалы кенорында (Шығыс Забайкалье) солғын кеннен, галениттен және басқалардан тұратын рудаларда кездеседі. Сондай-ақ галенитпен және буланжеритпен бірге Верхояньедегі *Нежданинск* кенорны рудаларында белгілі.

Нагольный кряж (Украина) кварц желілерінде галенитпен, солғын кендермен, буланжеритпен, джемсонитпен және басқалармен бірлестікте білінген.

Шетел кенорындары арасында айтарлықтай массаларда *Пришбрам* (Чехия), *Клаусталь* және *Андреасберг* (Гарц, Германия) кенорындарында және АҚШ, Мексика, Перу, Чили және басқа елдердің көптеген кенорындарында кездескен.

Практикалық мәні. Үлкен шоғырлар жасаған жағдайларда мыс пен қорғасын кені ретінде қызығушылыққа ие болады.

АЙКИНИТ – CuPbBiS_3 . Алғаш рет Оралда XIX ғасыр басында ашылған. Синонимі: патринит.

Химиялық құрамы, %: Cu – 11; Pb – 36; Bi – 36,2; S – 16,8. Қоспалары: Те және Au (соңғысы кірінді түрінде ғана).

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромбылық-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pnma(D_{2h}^{16})$. $a_0=11,364$; $b_0=11,832$; $c_0=8,05$. Көбінесе ине және сырықша тәрізді кристалдарда кварцқа кірінді түрінде, кейде тұтас массаларда байқалады. Жақтарында көбінесе тік штрихтелу (айғыздалу) көрінеді.

Түсі. Айкинит қорғасын-сұрдан болат-сұрға дейін, көбінесе қошқылдау немесе қоңыр құлпырымды. **Сызық түсі** сұрғылт-қара, жылтырақ. Беймөлдір. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 2–2,5. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша жетілмеген. **Меншікті салмағы** 6,1–6,7.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарына ине немесе сырықша пішін тән, бірақ Bi, Pb және Cu барын білдіретін реакцияларсыз оны тану қиын.

HNO₃ қышқылында PbSO₄ және күкірт бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Сирек минерал. *Гидротермалық* текті кварц желілерінде пиритпен, халькопиритпен, солғын кендермен, галенитпен, арсенопиритпен, сомтума алтынмен, кейде шеелитпен, вольфрамитпен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі.

Березовское алтын рудалы кенорынның (Екатеринбургтен солтүстік-шығысқа қарай) кварцтың мөлдір және шала мөлдір кристалдарында кездесетін айкиниттің сырықша және ине тәрізді кристалдары өте әйгілі. Онымен парагенезисте көбінесе галенит, солғын кендер, пирит, халькопирит және жиі сомтума алтын байқалады. *Джида* (Бурятия) кварц желілерінде вольфрамитпен, пиритпен, сфалеритпен, родохрозитпен және триплитпен бірлестігі белгілі.

Тотығу белдемінде төзімсіз. Ыдырау нәтижесінде айкинит бойынша жер тәрізді сары немесе жасылтым-сары массалар жаралып, олар висмут және қорғасын жосасы деген атпен белгілі.

Практикалық мәні. Оның өзі тек минералогиялық қызығушылыққа ғана ие. Березовское кенорнында оның желілерде кездесуі алтын болуының жақсы белгісі ретінде қабылданады.

4. Прустит тобы

Бұл топқа Ag₃XS₃ типті күміс сульфоарсениттері мен сульфоантимониттері жатады, мұнда X=As және Sb.

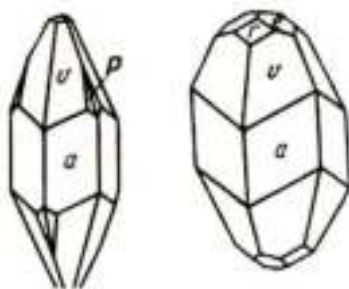
Олардың ішінде табиғатта кеңдеу таралғаны изокұрылымдық прустит және пираргирит. Осы екі минералдың химиялық формуласы ұқсас және бір симметрия түрінде кристалданғандығымен, бірақ химиялық талдаулар деректері бойынша олар ұдайы изоморфтық қоспалар қатарын жасамайды. Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, тек жоғары температурада ғана бұл қосылыстардың екеуі де бір-бірімен шексіз араласады.

Мұнда тек күмістің сирек сульфотұздары – стефанит пен полибазит қана сипатталады.

ПРУСТИТ – Ag₃AsS₃. Атауы күшәла және сүрме «қызыл күміс рудалары» бөлек жаралғандығын алғаш анықтаған химик Пруститтің фамилиясы бойынша.

Химиялық құрамы, %: Ag – 65,4; As – 15,2; S – 19,4. Қолда бар деректер бойынша, Ag мөлшері 63,4–67,6 %, As – 12,3–20,2 % және S – 13,1–20,2 % ауқымында ауытқиды.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-пирамидалық L^33P . Кеңістіктік тобы $R3c(C_{3v}^6)$. $a_0=10,77$; $c_0=8,67$. **Кристалдық құрылымы** AsS_3 тобы ромбоэдрлік ұяшық пен центрдің әр бұрышын алып жататындығымен сипатталады. Әрбір мұндай топ төбесі As болатын төмен пирамидадан тұрады. Пирамида төбелерінің барлығы үшем ось бойымен бағытталған. Ал пирамидалар бір-бірімен тікелей байланысты болмағанымен, бір-бірімен күміс катиондарымен жалғасқан тік бағаналар жасайды. Күміс катиондары өз кезегінде S^{2-} аниондарымен біреу ара кезектесіп, тік спираль тізбектер жасайды. Осыған байланысты күміс S^{2-}_4 -тетраэдрі центрінен қырларының бірінің бағытына қарай ығысуы себепті 2+2 координациясына ие. Жалпы алғанда құрылымды аралдық тізбекшеге жақын ретінде сипаттауға болады. **Кристалдарының келбеті.** Көбінесе жалған ромбоэдрлік жақтары үшкір жалған скаленоэдр келбеті кристалдарда кездеседі (131-сурет). Ең басты пішіндері: гексагондық призма $\{11\bar{2}0\}$, дитригондық пирамидалар $\{21\bar{3}1\}$, $\{11\bar{2}4\}$ және басқалар. Призма қырларына қиғаш штрихтелу тән. Көбінесе сеппе түйірлер, кейде тұтас массалар түрінде байқалады. **Түсі** – прустит ашық-қызыл түсті (киноварьдың түсіне ұқсас). **Сызық түсі** ашық-қызыл, ысқылап уатқанда жасылданады. Беймөлдір. **Жылтырлығы** күшті алмасша. Li -жарығы үшін: $Nm=3,088$, $Np=2,792$.



131-сурет. Прустит кристалы: $a\{1020\}$, $v\{2131\}$, $r\{1011\}$, $e\{0112\}$, $p\{1562\}$, $u\{1014\}$

Қаттылығы 2-2,5. Морт. **Жіктілігі** $\{1011\}$ бойынша айқын. Омырылымы ұлуша. **Меншікті салмағы** 5,57-5,64. **Басқа қасиеттері.** Электр өткізбейді.

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша пираргириттен ажыратылуы өте қиын. Әдетте пираргиритке қарағанда біршама ашықтау түсті. Кристалдарының жақтары пираргирит кристалдарынан аздау. Олардың арасындағы басты айырмашылық құрамында As және Sb болуында ғана.

Басқа минералдардан түсі мен жылтырлығы бойынша пруститке ұқсас келетіндер: миаргирит ($AgSbS_2$), киноварь, куприт (Cu_2O) және цинкит (ZnO). Егер миаргирит кристалл емес түрде кездесе оны пруститтен мөлдірлігінің төмендігінен, ал пираргириттен тек химиялық талдау нәтижесінде ғана анықталатын $S:Sb$ ара қатынасы бойынша ғана анықталады. Киноварь дәнекерлеуші түтікше алдындағы сипаты бойынша жеңіл ажыратылады (толық ұшып кетеді). Купритке октаэдр кристалдары, қошқыл-қызыл сызық түсі, сондай-ақ сомтума мыспен және басқа мыс

минералдарымен парагенезисі тән. Цинкит жирен-сары сызық түсімен және жоғарылау қаттылығымен (4-4,5) айрықшалаынады.

HNO_3 қышқылында S және As_2O_3 (пираргирит үшін Sb_2O_3) бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Қорғасын-мырыш-күміс рудаларының гидротермалық желілерінде таралған (ізгі кварц-кальцит формациясы деп аталатында). Гидротермалық процестердің соңғы сатыларында, кейде пираргиритпен бірге жаралатын минералдар арасында кездеседі. Бұл минералдармен парагенезисте галенит, кейде сомтума күміс, сондай-ақ құрамы бойынша әр түрлі қорғасын, күміс және мыс сульфоарсениттері және сульфоантимониттері өте жиі кездеседі. Кейбір кенорындарда олар никель мен кобальт арсенидтерімен бірлеседі.

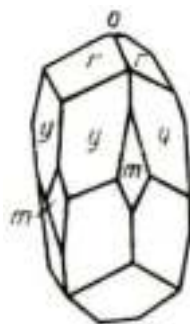
Тотығу белдемінде прустит пен пираргирит ыдырап, кейде сомтума күміс және аргентит жасайды. Әдетте күміс орнықсыз Ag_2SO_4 түрінде жылыстауға қабілетті, әсіресе еркін күкірт қышқылы және темір окисінің сульфаты болған кезде. Бірқатар жағдайларда кенорындар тотығу белдемі төменгі горизонттарының күміске баюы анықталады.

Россияның қорғасын-мырыш кенорындары арасында прустит, дәл пираргирит сияқты біршама сирек байқалады, негізінен жылтырланған шлифтерде анықталатын микроскопиялық бөлінімдерде. Олар *Батыс Верхояньенің* (Саха Республикасы – Якутия) бірқатар қорғасын-мырыш-күміс кенорындарында – *Безымянск, Жоғарғы Эндыбал, Березинск* және басқаларда кездесуі өте жиі.

Шетел кенорындары арасында оларға өте бай саналатындары Мексикада (*Цакатекас, Гуанахуато* және басқалар), Чилиде, Перуде, Боливияда және басқа елдерде.

Практикалық мәні. Прустит пен пираргирит құрамында күміс бар минералдар ішінде ең көп таралғандары және сондықтан күміс көздері ретінде мәнге ие. Қорғасын-мырыш рудаларынан алынатын галенит концентраттарын балқытқан кезде күміс ілеспе ретінде алынады.

ПИРАРГИРИТ – Ag_3SbS_3 . Атауы грекше *пирос* – от және *аргирос* – күміс деген сөздерінен шыққан. Синонимдері: күңгірт-қызыл күміс рудасы, күміс алдамышы (*132-сурет*).



132-сурет. Пираргирит кристалы: $o\{0001\}$, $r\{10\bar{1}1\}$, $m\{10\bar{1}0\}$, $y\{32\bar{5}1\}$

Бұл минералдың физикалық қасиеттері көпшілігінде жоғарыда сипатталған пруститке ұқсас. Олардың айрықшалану ерекшеліктерін атайық.

Түсі шағылысқан жарықта күңгірт-қызылдан темір-қараға дейін; кристалдарының бұрыштарында және сынықтарында пираргирит мөлдір. **Сызық түсі** күңгірт шие-қызыл. **Меншікті салмағы** 5,77-5,86 (пруститтен жоғарылау). Басқа диагноздаушы белгілері жоғарыда (пруститте) көрсетілген).

Табиғатта прустит жаралған жағдайларда кездеседі, бірақ негізінен құрамында сүрме бар минералдармен бірге.

СТЕФАНИТ – Ag_5SbS_4 немесе $5\text{AgS}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$. Ag мөлшері 68,5 %. **Сингониясы** ромбылық; симметрия түрі ромбылық-пирамидалық L^2PC . $a_0=7,72$; $b_0=12,34$; $c_0=8,50$. Кеңістіктік тобы $Cmc2_1(C^{12}_{215})$. Қысқа призма кристалдарда және тұтас массаларда кездеседі.

Түсі сұрғылт-қара. **Сызық түсі** қара. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 2-2,5. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша орташа. **Меншікті салмағы** 6,2-6,3.

Сұйытылған HNO_3 қышқылда S және Sb_2S_3 бөліп ыдырайды.

Күмістің басқа минералдарымен бірге әдетте өте мардымсыз мөлшерде гидротермалық текті желілерде кездеседі. Саксония және Гарц (Германия) кенорындарында, Мексиканың және басқа елдер кенорындарында сипатталған.

ПОЛИБАЗИТ – $(\text{Ag,Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$ немесе $8(\text{Ag,Cu})_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$. Химиялық құрамы: Ag 62,1-74,9 %, Cu 3-10 %. Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . $a_0=26,17$; $b_0=15,11$; $c_0=23,89$, $\beta=90^\circ$. Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. Жалған тригондық немесе жалған гексагондық келбетті қалақша немесе қысқа призма кристалдарда байқалады.

Түсі сұрғылт-қара. **Сызық түсі** қара қызғылт реңді. **Жылтырлығы** металша. **Қаттылығы** 2-3. **Жіктілігі** {001} бойынша. **Меншікті салмағы** 6,27-6,33.

Фосфор қышқылы тұзымен балқытқан кезде жасылтым-көк перл (мыс) береді.

Күмістің басқа сульфотұздарымен бірге бірқатар аудандарда төмен температуралық гидротермалық желілерде кездеседі: *Яхимов* және *Пршибрам* (Чехия), *Банска-Штьявница* (Словакия), *Цакатекас*, *Гуанахуато* және *Дуранго* (Мексика) және басқа жерлерде.

5. Қорғасын сульфотұздары

Мұнда кіретін қосылыстар негізінен қорғасын сульфоарсениттерінен, сульфоантимониттерінен және сульфовисмутиттерінен тұрады. Бұл қосылыстардың барлығы өздерін мыс пен күмістің сульфотұздарынан оқшау ұстайды, тек кейде олармен қосарланған қосылыстар жасайды.

Біздің қарастыратынымыз тек екі минерал ғана – буланжерит және джемсонит.

БУЛАНЖЕРИТ – $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ немесе $5\text{PbS}\cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$.

Химиялық құрамы, %: Pb – 55,4; Sb – 25,7; S – 18,9. Минералдағы Pb мөлшері 54–58 % ауқымында ауытқиды; оның бір бөлігі галениттің

механикалық қоспасымен байланысты. Кейде мыстың мөлшері 1 %-ке дейін жетеді.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L_2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/a(C^5_{2h})$. Кристалдары өте сирек. Әдетте майда түйірлі немесе оратылған-талшықты агрегаттарда кездеседі.

Түсі – буланжерит қорғасын-сұрдан темір-қараға дейін. **Сызық түсі** сұрғылт-қара қоңырқай реңді. Беймөлдір. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 2,5-3. Морт. **Жіктілігі** $\{100\}$ бойынша орташа. **Меншікті салмағы** 6,23.

Диагноздаушы белгілері. Әдетте майда талшықты агрегаттары және сызық түсінің қоңырқай реңі тән болады. Химиялық талдау және рентгендік зерттеулер деректерінсіз бірқатар басқа, сиректеу кездесетін қорғасын сульфоантимониттерінен сенімді ажырату мүмкін емес.

HNO_3 және ыстық HCl қышқылдарында ериді.

Жаралуы және кенорындары. Қорғасын-мырыш рудаларының *гидротермалық* кенорындарында қорғасын мен мыс, галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит және басқалар сульфоантимониттерінің сүйемелдеуінде кездеседі.

Шығыс Забайкальеде Нерчинск ауданының бірқатар кенорындарында байқалған: *Алгачинск* (елеулі мөлшерде), *Кличкинск*, *Дарасун* және басқа. *Полюс маңы Оралдың* альпілік хрустальді желілерінде кварцқа ине тәрізді кірінділері түрінде байқалған. *Нагольный кряжде* (Украина) сфалеритпен, галенитпен, бурнонитпен, солғын кенмен және басқа минералдармен бірлестікте кездескен.

Тотығу белдемінде жеңіл ыдырап, церуссит $Pb[CO_3]$ және сүрме гидроокисьтерін жасайды.

Практикалық мәні. Шоғырлары айтарлықтай болған жағдайларда қорғасын рудасы ретінде қызығушылыққа ие.

ДЖЕМСОНИТ – $Pb_4FeSb_6S_{14}$ немесе $4PbS \cdot FeS \cdot 3Sb_2S_3$. Құрамында темір болмайтын түрлесі плюмозит деп аталады.

Химиялық құрамы формуласына дәл сай келе бермейді. Құрамында Pb 40-50 %, Fe 10 %-ке дейін, Sb 30 % шамасында, S 20 % шамасында болады. Қоспалар түрінде көбінесе мыс, мырыш және күміс кездеседі.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L_2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/a(C^5_{2h})$. Көбінесе призма, ине және қыл тәрізді кристалдар түрінде, кейде кварц, сфалерит және басқалар кристалдарына кірікпе түрінде, кейінірек кристалданатын минералдардың друзалы қуыстарында кездеседі.

Түсі – джемсонит қорғасын-сұр түсті. Сызық түсі сұрғылт-қара. Жақтарында кейде көкшіл-сұр құлпырым байқалады. **Жылтырлығы** металша.

Қаттылығы 2-3. Морт. Омырылымы бейтегіс. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша орташа. **Меншікті салмағы** 5,5-6.

Диагноздаушы белгілері. Жай көзбен қорғасынның ине пішінде кездесетін басқа сульфоантимониттерінен ажырату мүмкін емес. Параллель-сырықша агрегаттары жағдайында дарақтары дамыған бағытқа

перпендикуляр базалық жіктілігіне байланысты танылады. Дәл диагноздау үшін химиялық талдау және рентгендік зерттеулер қажет.

HNO_3 қышқылында оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Россияда Саввинское кенорнында (Забайкалье) *гидротермалық* қорғасын-мырыш рудаларында кварцпен, галенитпен, кейде сфалеритпен және басқа минералдармен бірлестікте друзалы қуыстарда кездеседі. Сондай-ақ *Дарасун* (Забайкалье) алтын рудалы кенорнында сипатталған.

Джемсонит Украинада *Нагольный кряж* полиметалды желілерінде кальцитпен бірлестікте және басқа жерлерде белгілі. Шетел кенорындары ішінде елеулі мөлшерде *Цимапанда* (Мексика) кездескен.

ІІІ БӨЛІМ

ГАЛОИД ҚОСЫЛЫСТАРЫ (ГАЛОГЕНИДТЕР ЖӘНЕ ГАЛОГЕНТҰЗДАР)

Жалпы ескертпелер. Қосылыстардың осы типінен бастап, біздің ісіміз өздерінің қасиеттері бойынша осыған дейін қарастырылғандардан күрт айрықшаланатын минералдармен болады. Басым массасында олар енді нағыз иондық немесе коваленттік полюстік байланысты қосылыстар болады. Олардың ең жарқын өкілдеріне металдардың галоид қосылыстары жатады.

Химиялық көзқарастан мұнда кіретін минералдар HF, HCl, HBr және HI қышқылдары тұздарынан тұрады. Осыған сәйкес бұл минералдар арасында *фторидтер, хлоридтер, бромидтер және иодидтер* ажыратылады. Галогентұздар комплексті тұздар болып табылады, олардың ішінде мұнда фторалюминаттар қарастырылады. Олардан басқа сулық тұздар және құрамында қосымша оттеқұстамды аниондар $[OH]^{-1}$, O^{2-} , кейде $[SO_4]^{2-}$ және $[JO_3]^{1-}$ бар күрделілеу қосылыстар болады. Олар нағыз оттеқ қосылыстарына өтпелі оксигалоид қосылыстар деп аталатындар.

133-суретте көрсетілгендей, галогенидтерді жасайтын басты элементтер біз бұрын қарастырылған минералдарда байқағанымызға керісінше, Менделеев кестесінің сол жақ бөлігінде – I және II топтарда орналасқан. Ауыр металдардың галоид қосылыстары керісінше, табиғи жаралымдар минералогиясында тіпті өте мардымсыз рөл атқарады және айрықша жағдайларда пайда болады.

	H ¹																				
He ²	Li ³	Be ⁴	B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹														
Ne ¹⁰	Na¹¹	Mg¹²	Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷														
Ar ¹⁸	K¹⁹	Ca²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵				
Kr ³⁶	Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Nb ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³				
Xe ⁵⁴	Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	TR ⁵⁷⁻⁷¹	Hf ⁷²	Ta ⁷³	W ⁷⁴	Re ⁷⁵	Os ⁷⁶	Ir ⁷⁷	Pt ⁷⁸	Au ⁷⁹	Hg ⁸⁰	Tl ⁸¹	Pb ⁸²	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵				
Rn ⁸⁶	Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²															

133-сурет. Галоидтармен қосылыстары тән элементтер (жуан қаріптермен берілген)

Галоид қосылыстардың кристалхимиялық ерекшеліктері. Анықталғандай, жеңіл металдар галогенидтері нағыз *гетерополюстік* (иондық) байланысты құрылымдарымен сипатталады, ал катиондары күшті полюстенуге ие болатын ауыр металдар қосылыстарына келсек, оларда *гомополюстік* (коваленттік) немесе иондары аралығында оларға өтпелі байланыстар пайда болады. Минералдардың физикалық қасиеттері де осыған сәйкес болады.

Нағыз иондық байланысты галогенидтер құрамына зарядтары аз және иондық радиустары үлкен жеңіл металдар катиондары қатысатындықтан және де осыған байланысты белсенді полюстенуге қабілеті аса нашар

болатындықтан, әрине бұл минералдар мынадай қасиеттерге ие болады: мөлдірлік, түссіздік (байқалатын бояулары әдетте аллохромалық болып табылады), аз меншікті салмағы, сондай-ақ көптеген галогенидтердің суда өте жеңіл ерігіштігі сияқты қасиеті, шағылысудың төмен көрсеткіштері және де минералдардың шыныша нашар жылтырлығы.

Сыртқы қабықшалары 18 электронды ауыр металдар (Cu, Ag және басқалар) катиондарына қатысты айтсақ, олар қоршаған аниондары біршама күрт білінетін полюстенуге және ковалентті байланысты кристалдық құрылымдар жасауға бейім болатындықтан, мұнда біз енді қасиеттері бойынша айтарлықтай айрықшаланатын галогенидтерді байқаймыз. Жоғары меншікті салмақтары, бірқатар қосылыстарында нашарлау болса да бірақ идиохромалық бояуды, шағылыстыру көрсеткіштері өте жоғары, алмасша жылтырлық, бұл минералдардың күрт төмен ерігіштігі және басқалар.

Енді галогенидтердегі басты F^{1-} , Cl^{1-} , Br^{1-} және I^{1-} аниондарына байланысты қасиеттерін сипаттауға көшеміз.

Ең алдымен айта кететін F^{1-} ионы өзінің өлшемі бойынша басқа аниондардан елеулі айрықшалаанады, мұны олардың радиустарын салыстыру арқылы анық көреміз (ангстрем):

F^{1-}	Cl^{1-}	Br^{1-}	I^{1-}
1,33	1,81	1,96	2,19

Бұл жағдай қосылыстар жасау үшін белгілі бір катиондарды таңдауда (координациялық сандарына және кристалдық құрылымының типіне сай), олардың орнықтылығына және де осыған байланысты физикалық пен химиялық қасиеттеріне аса елеулі ықпал етеді. Фтордың басты массасы жер қыртысында Са-мен кейде Al-, Si-мен (галогентұздарда) байланысты болатыны кездейсоқ емес, ал хлор және таралғандығы бойынша оған күрт бағынышты бром мен йод негізінен мыналармен байланысты: Na, K, (Rb), (Cs) және Mg (сулық тұздарда). Ауыр металдар (Au, Ag Hg және басқалар) хлоридтеріне, бромидтеріне және иодидтеріне, керісінше олардың фторидтері табиғи жағдайларда тіпті де кездеспейді. Жеңіл металдар хлоридтері сулы ортада төтенше оңай ериді, ал олардың фторидтері көпшілігінде суға қатысты төзімді. Осы типті қосылыстар ерігіштігінің айырмасы қаншалықты зор екенін 7-кестеде келтірілген деректерден көруге болады.

7-кесте. Галоид қосылыстардың суда $18^{\circ}C$ кезінде ерігіштігі (1 литр қанық ерітіндіде, моль)

Анион	Катион							
	Li	Na	K	Mg	Ca	Sr	Ba	Pb ²⁺
F	0,11	1,06	12,4	0,02	0,03	0,001	0,03	0,003
Cl	13,1	5,42	3,9	5,1	5,4	3,0	1,7	0,05
Br	12,6	6,9	4,6	4,6	5,2	3,4	2,9	0,02
I	8,5	8,1	6,0	4,1	4,8	3,9	3,8	0,02

Фторидтердің балқу және қайнау температурасы осы бірдей металдар хлоридтерімен салыстырғанда өлшеусіз жоғары. Мысалы, SnF_4 қайнау температурасы 705°C болса, ал SnCl_4 – 114°C , алюминий фториді AlF_3 1000°C -тан жоғары температурада қайнайтын болса, ал оның хлориді AlCl_3 – бар болғаны 81°C температурада ғана және т.б.

Галогендердің табиғаттағы өзін-өзі ұстау ерекшеліктері туралы. F, Cl, Br және I галогендерінің геохимиялық сипаттары өте қызық, бұл олардың әр түрлі геологиялық процестердегі ерекшеліктерінде көрініс табады.

Магмалық процестер кезінде бұл элементтердің қандай да бір айтарлықтай мөлшерде шоғырлануына жағдай жасалмайды. Фтор мен хлор бірқатар минералдарға, негізінен силикаттарға және фосфаттарға тек қана қосымша аниондар ретінде кіреді (көпшілігінде пегматиттерде және жапсарлық метасоматоздық жаралымдарда). Бұл элементтердің басты массасы негізінен металдармен бірге ұшпа қосылыстар түрінде гидротермалық ерітінділерге өтеді. Хлор мен фтор шынында да магмадан бөлінетін ұшпалардың құрамдас бөлігі болып табылатыны туралы жанартау атқыламалары газ тәрізді өнімдеріндегі HCl және HF бөлімдері куәландырады, олар кейде аса мол мөлшерде болады. Мысалы, Аляскадағы «Он мың түтін» деген атпен белгілі аңғарда 1919 жылғы есептеулер бойынша H_2O буымен бірге 1,25 млн т газ тәрізді HCl және 0,2 млн HF бөлінген.

Галогенидтерден көптеген гидротермалық жаралымдарда кең таралғаны CaF_2 (флюорит), кейде фторалюминаттар, бірақ металдар хлориды кездеспейді. Кейбір минералдарда (кварцта, галенитте) ерітінділер тамшыларында кірінділер түрінде NaCl (галит) өте сирек табылымдары ғана байқалады.

Бірақ экзогендік жағдайларда Na хлориды, шамалы мөлшерде K, Mg және басқа металдар хлориды көбінесе кебірсіген тұзды алаптарда сульфаттармен бірге орасан зор массалар жасайды, кейде олардың құрамында бораттар және басқа суда еритін қосылыстар болады. Хлормен бірге бромның және йодтың да тиісті концентрациясы байқалады. Қазіргі кезде жер қыртысындағы барлық хлордың (және бромның да) 70-75 % шамасы, сондай-ақ йодтың 90 %-тен астамы мұхит суында шоғырланған. Бұған керісінше, фторидтер тұзды тұнбаларда қандай да бір елеулі мөлшерде байқалмайды. Еріген хлоридтердің алып жинауышы (коллекторы) мұхит және теңіз алаптары болып табылатыны белгілі. Бірақ теңіз суындағы фтор мөлшері өте мардымсыз: 1 м^3 суда $0,8 \text{ г}$ шамасында ғана. Және де анықталғандай, бұл элементті организмдер сіңіреді де ол жоғары жануарлар түрінің қанқасы құрамына, әсіресе негізінен дерлік фторлы кальцийден тұратын тіс эмалінің құрамына кіреді.

Фтордың экзогендік жағдайларда жылыстауы үшін және бір ерекшелік тән. Таужыныстар мен руда кенорындарының мору процесінде жалпы алғанда хлормен қатар фтордың да көп мөлшері босап шығады. Бірақ оның кальцитпен химиялық жағынан жақындығы сондайлық, ол айтарлықтай шамада қиын еритін CaF_2 қосылыстарын жасап, ерітінділерден тұнады да

континент шөгінділері құрамында тұтылады. Фтордың теңіз суындағы өте мардымсыз мөлшері осымен түсіндіріледі.

Галогенидтердің жіктелімі туралы. Сонымен, галогенидтердің касиеттері туралы және минералжаралу процестері кезіндегі галогендердің геохимиялық рөлі жөнінде айтылғандардың барлығы осы бөлімге жататын минералдардың барлығын екі класқа бөлуге тура келетінін көрсетеді.

- Класс 1. Фторидтер және комплексті фтор қышқылы тұздары.
- Класс 2. Хлоридтер, бромидтер және иодидтер.

КЛАСС 1. Фторидтер

Фторидтер минералдар ретінде табиғатта біршама шектеулі таралымға ие, дегенмен фтормен қосылыстарға қатысушы элементтер саны 15-ке жетеді және де оларға фтор гидроксилмен қатар қосымша анион рөлін атқаратын минералдарды қоспағанда. Олардың ішінде басты мәнді CaF_2 түріндегі дербес қосылыстағы Са фториді алады. Be, Al және Si біршама төмендеу рөл атқарады. Басқа элементтер өте сирек кездесетін фторидтер құрамына кіреді.

Осыған дейін анықталған кеңдеу таралған фторидтер негізінен гидротермалық жаралымдарда кездеседі, ал сиректеу таралғандары – жанартаулар атқылағанда шығатын өнімдерде болады. Минералдар парагенезисі бойынша алсақ, олар біршама жоғарылау температура жағдайында жаралады. Тек CaF_2 сейілген өте ұсақ кристалшалар жаңа жаралымдары түрінде көбінесе руда кенорындарының тотығу белдемдерінде және кейбір шөгінді таужыныстарда кездеседі.

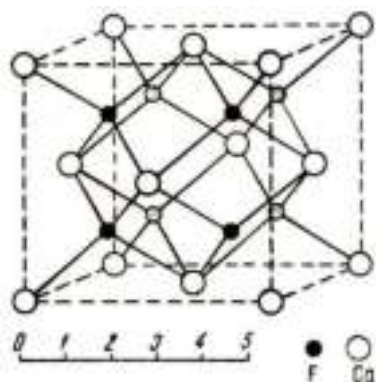
Мұнда жататын табиғи қосылыстар арасында мына минералдарды: флюорит пен криолитті қарастырамыз.

ФЛЮОРИТ - CaF_2 . Атауы F элементінің латынша аты – *fluorum* сөзінен шыққан. Синонимі: балқытқыш шпат. Бұл минерал басқа да фторға бай минералдар сияқты рудалардың балқуын жылдамдататын жақсы флюс болып табылады.

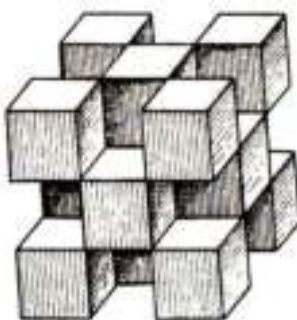
Минералогияда шпаттар деп металша жылтырамайтын, бірақ екі немесе одан да көп бағыт бойынша жетік жіктілікке ие кристалл заттарды атайды.

Химиялық құрамы: Са 51,2 %, F 48,8 %. Кейде құрамында изоморфты қоспа түрінде Cl (негізінен сары түрлестері) болады. Кейбір жағдайларда иісі бар битумды заттар байқалады. Басқа қоспалардан FeO_3 , сирек жерлер, кейде уран (бірнеше %-ке дейін), фтор және гелий болатынын көреміз.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=5,450$. **Кристалдық құрылымы** AX_2 типті көптеген қосылыстарға тән болады (*134-сурет*). Ол екі координациялық санмен сипатталады: Са үшін - 8, ал F үшін – 4. F^{1-} иондары бұрыштары бойынша, ал Ca^{2+} иондары шағын кубтар центрінде біреуден кейін орналасады (*135-сурет*). Ең тығыз кубтық жайласу позицияларында Ca^{2+} катиондарын жай орналасады деп есептегенде, ал F^{1-} аниондары барлық тетраэдрлік кеңістікті толтырады; шындығында флюорит құрылымы әрине тығыз жайласпаған болады.

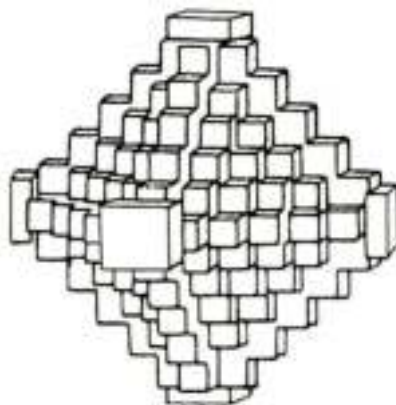


134-сурет. Флюориттің кристалдық құрылымы



135-сурет. Флюориттің кристалдық құрылымы (Н.В. Белов бойынша). Әр кубшенің төбелерінде F, ал центрлерінде Ca орналасқан

Кристалдарының келбеті. Бос қуыстарда жақсы жаралған куб, кейде октаэдр және додекаэдр кристалдар түрінде кездеседі. Кейде $\{100\}$, $\{111\}$ және $\{110\}$ пішіндерінен басқа $\{210\}$, $\{421\}$ және басқалар болады. Кубтың жақтары әдетте жылтыр, ал октаэдр жақтары күңгірт. Кейде куб жақтары нақышты құрылысқа және паркет тәрізді өрнекке ие; мұндай кристалдарының қаңқаға қарсы дамуы октаэдр келбетті $\{100\}$ жақтар пішінінің пайда болуына әкелуі мүмкін (136-сурет). Қосақтары (111) бойынша жиі. **Агрегаттары.** Көбінесе сеппелер және тұтас түйірлер, кейде жер тәрізді массалар (ратовкит) түрінде байқалады.



136-сурет. Флюорит октаэдрінде куб сияқты дарақшалардың автоэпитаксиалық өсуі октаэдр келбетті төбелі-қырлы қаңқалы кристалл өсуіне әкелген

Түсі. Түссіз және су-мөлдір флюорит сирек кездеседі. Ол көбінесе әр түрлі түске боялады: сары, жасыл, көк, күлгін, кейде күлгін-қара. Бір қызығы, бояуы қыздырған кезде жоғалады да рентген сәулесімен сәулелендіргенде қайта оралады. Түссіз кристалдарында күлгін бояуды металл кальций буының әрекетімен және электр ұшқындарымен беруге болады. Бұл құбылыс мынадай ойға әкеледі: бірқатар жағдайларда минерал түсі кристалдық құрылымында бояудың ақаулық центрлері болуына байланысты, олардың әрқайсысы еркін электронмен алмасқан F^{1-} анионы орнындағы бос орын (вакансия) болып табылады. **Жылтырлығы** шыныша. $N=1,434$.

Қаттылығы 4. Морт. Ұзақ уақыт бойы бір жақты қысымнан пластикалық деформациясы байқалады. **Жіктілігі** октаэдр бойынша жетік, ал ромбылық додекаэдр бойынша ондай емес. Бірақ ең аз ілінісу жазық торлар үшін бір-біріне ең үлкен қашықтықта болуы тиіс деген түсінік бойынша, ромбылық додекаэдр арқылы болар деп күту шынында ондай болып шықпайды. Ол мынамен түсіндіріледі: жазық торлар (111) арасында кальций иондарының әр торы бірдей зарядталған фтор иондарының екі параллель торымен қабаттасқан, дәл солардың аралығындағы ең аз ілінісу осыған байланысты. **Меншікті салмағы** 3,18 (таза емес түрлестерінде 3-3,2 ауқымында ауытқиды). **Басқа қасиеттері.** Флюоресценция (термин дәл осы минерал атауынан шыққан) жиі білінеді. Катод сәулелерінде флюорит кәдімгі күлгін, өзіндік көкшіл-жасыл реңді түске боялады. Сәулеленіп боялу қыздырған кезде де білінеді (термолюминесценция).

Диагноздаушы белгілері. Біршама дағдыланудан кейін кристалдарының пішіні, октаэдрлік жіктілігі нашар сәл күңгірттеу шыныша жылтырлығы және қаттылығы бойынша жеткілікті оңай анықталады.

Тек күшті H_2SO_4 қышқылында HF бөліп ыдырайды. HNO_3 және HCl біршама нашарлау әсер етеді.

Жаралуы және кенорындары. Өзінің басты массаларында гидротермалық процестер кезінде жаралады, көбінесе желілерде металл рудасы минералдардың серігі болып табылады. Гидротермалық жаралымды сан қилы минералдар бірлестігінде кездесе алады.

Ол сондай-ақ шөгінді текті кейбір таужыныстарда да байқалады, бірақ F мөлшері жоғары болатын елеулі шоғырлар жасамайды. Суда еруі қиын қосылыс ретінде CaF_2 тұзды ерітінділерден алғашқылардың бірі болып тұнады, кейде аморфты түрде. Сондықтан сирек кездесетін флюорит шоғырларының алғаш тұнған химиялық шөгінділерде, яғни гипс, ангидрит, кальцит, доломит түзілімдерінде орналасатындығы таң қаларлық емес. Кейде жаңажаралымдар түрінде ол руда кенорындарының тотығу белдемінде байқалады, мысалы бүйрек тәрізді гетит бетінде кристалшалар түрінде.

Флюорит ілеспе ретінде түсті және сирек металдардың көптеген кенорындарында кездеседі. Құрамында флюорит басты рөл атқаратын Россия кенорындары ішінде атайтынымыз *Калангуй* (Забайкалье) – құмтас пен тақтатаста қуатты брекчия желісі түрінде, флюориттің әр түрлі реңді (ақ, сары және қызғылт-жасыл) центрлі-зоналы және сырықша агрегаттарынан тұрады. Шөгінді жаралымды жер тәрізді флюорит (ратовкит)

Верея қаласы маңындағы *Ратовка* жылғасы (Москва облысы) жағаларындағы доломиттенген әктаста, *Осуга* өзенінің оң жағасында (Калинин облысы) және басқа жерлерде кездескен. Оптикалық флюорит *Амдерма* ауданында (Ямал-Ненец округі) табылған.

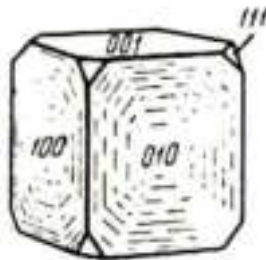
Қазақстанда *Керемет-тас* және Тәжікстанда *Куликолон* мен *Могов* оптикалық флюорит кенорындары белгілі.

Практикалық мәні. Флюориттің елеулі бөлігі (70 % шамасында) металлургияда оңай балқитын қождар алу мақсатында пайдаланылады. Химиялық өнеркәсіпте флюориттен бірқатар фторлы қосылыстар алынады, олардың ішінде балқытқыш қышқылы (судағы HF ерітіндісі) шыныны ерітіп өрнектеу үшін, натрий асатотығынан сутек асатотығын және басқаларды алу үшін, ал жасанды жолмен алынатын криолит ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$) – алюмототықтан электролизбен металл алюминий алу үшін және басқа мақсаттарда қолданылады. Мөлдір түссіз кристалл түрлестері оптикада микроскоптар объективінде сфералық және хроматалық aberрацияны жоятын линзалар даярлауға пайдаланылады.

КРИОЛИТ – $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$. Грекше *криос* – мұз, *литос* – тас деген сөздерінен. Бұл атау оның жылтырлығы және шағылыстыру көрсеткіші бойынша шынында да мұзға өте жақын ұқсастығына байланысты берілгені көрінеді.

Химиялық құрамы, %: Al–12,8; Na–32,8; F–54,4. Кейде қоспа түрінде Fe болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2/m(C^2_{2h})$. $a_0=5,39$; $b_0=5,59$; $c_0=7,76$; $\beta=90^\circ 11'$. Жалған кубтық; температура 500°C шамасында кубтыққа айналады. Криолит құрылымында $[\text{AlF}_6]^{3+}$ октаэдрлік топтамасы элементар параллелепипедтің төбелері мен центрлерінде орналасқан, ал Na^+ катиондары F бойынша сондай-ақ координациялық саны 6 болғанымен тік қырларының орталықтарында және шамамен тік жақтары ортаңғы сызықтары бойымен c осі бойына бір және төрттен үш периодты қайталанғыштық биіктіктерінде орналасқан. Құрылымы координациялыққа жақын. **Кристалдарының келбеті** куб тәрізді (*137-сурет*), $\{001\}$ және $\{010\}$ жақтары дамыған. Қосақтары (110) бойынша өте жиі. Әдетте ірі бөлінбейтін түйірлерден тұратын тұтас массаларда кездеседі.



137-сурет. Криолит кристалы

Түсі. Түссіз, бірақ көбінесе сұрғылт-ақ, сарғыш немесе қызғылт, кейде кара түске боялады. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,34$.

Қаттылығы 2-3. Морт. **Жіктілігі** жоқ, бірақ көбінесе кірігу жазықтықтары бойымен дербестік білінеді. **Меншікті салмағы** 2,95–3,01. **Басқа қасиеттері.** Біршама қыздырғанда сары түсті сәулелену байқалады.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының пішіні және шыныша нашар жылтырлық тән. Бұл минералды дәл анықтау тек дәнекерлеуші түтікше көмегімен және оптикалық константаларын өлшеу жолымен ғана мүмкін болады.

Күшті H_2SO_4 қышқылында толық ериді.

Жаралуы. Пегматиттерде кездесіп, фторға құнарлы қалдық ерітінділерден жаралады. Ірі өнеркәсіптік кенорны Батыс Гренландияда белгілі – *Ивигтут*, ол грейзенге айналған гранит арасындағы үлкен шток түрінде, тереңге қарай тік кетеді. Мұнда криолит басқа фторалюминаттармен, доломитпен, сирек сульфидтермен, касситеритпен және басқалармен бірге ірі тұтас массалар жасайды. *Ильмен* тауларында (Оңтүстік Орал) топаз кеніштерінің бірінде хиолиттің ($Na_5[Al_3F_{14}]$), амазониттің және басқа минералдардың сүйемелдеуімен кездескен. Забайкальеде басқа фторалюминаттар арасында *Катугин* кенорнының сирекметалды желілерінде кездескен. Вознесенск кенорнында (Приморье) грейзендерде кварцпен, топазбен, фенакитпен және басқалармен бірге байқалған.

Практикалық мәні. Криолит әдетте жасанды жолмен алынады да алюминий металлургиясында сүттей ақ шыны, темір ыдыстар үшін эмаль даярлауға және басқа мақсаттарда пайдаланылады.

КЛАСС 2. Хлоридтер, бромидтер және иодидтер

Хлоридтер фторидтерге керісінше, табиғатта біршама кең таралған. Хлормен қосындылары мына 16 элемент үшін белгілі: Н (жанартау атқыламаларының газ тәрізді өнімдерінде HCl түрінде), N (HN_4 құрамында), Na, Mg, Al, K, Ca (Rb), (Cs), Fe (Ni), Cu, Ag, Hg, Pb және Bi.

Ең маңыздыларына Na және Mg хлоридтері жатады, олар экзогендік жағдайларда басқа ерігіш тұздармен бірге көбінесе шөгінді жаралымды қалың тұздар жатындарын жасайды. Ауыр металдармен (Cu, Ag және Pb) қосылыстары екінші дәрежелі мәнге ие. Қалған элементтер табиғатта сирек кездесетін минералдар жасайды.

Айта кететіні, калий мен натрий экзогендік жағдайларда әр түрлі геохимиялық рөл атқарады. Дегенмен литосферадағы олардың кларкі (яғни орташа мөлшері) шамамен бірдей (*3-кестеде*) және бұл элементтер таужыныстар мұрағат кезде шамамен бірдей мөлшерде босап шығады да ерітінділерге өтеді. Бірақ, хлорлы тұздар концентрациясы орын алатын теңіз алаптарында $NaCl$ мөлшері 3,5 % болса, ал KCl мөлшері небәрі 0,6–0,7 % шамасында әрең жетеді. Топырақ пен континент түзілімдерін химиялық талдаулар көрсеткендей, натрий өзінің негізгі массасында жер беті және өзендер суымен көл және теңіз алаптарына жететін болса, ал калий ерітінділердің жылыстау жолы бойынша айтарлықтай шамада мору

қыртысының жоғарғы бөліктерінде адсорбцияланады (топырақта, саз таужыныстарда) да өсімдіктерге сіңеді. Белгілі болғандай, өсімдіктер күлі әрдайым осы элементке бай болады. Осы айтылғандардан тұзды алаптар кебірсіген кезде жаралатын кристалдану өнімдерінде неге натрий қосылыстары калий қосылыстарынан күрт басым мәнге ие болатыны да түсінікті болып шығады.

Бромидтер тек Ag үшін ғана белгілі және құрғақ ыстық климат жағдайларында құрамында күміс бар сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде өте сирек анықталады. Өзінің басты массасында бром шашыранды күйде жеңіл металдардың кең таралған хлоридтеріне изоморфты қоспа түрінде болады. Әсіресе бишофитте ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), онымен бірге тұйық көл және теңіз алаптарында, негізінен қалдық тұздықтарда жинақталады.

Бром теңіз суы құрамында 0,0008 % мөлшерінде болады. Кейде ол айтарлықтай мөлшерде тұзды көздерде анықталады.

Иодидтер де сирек, бірақ олардан біз минерал түрлерінің көп санын байқаймыз. Олар Ag, Cu және Hg үшін, яғни иондары күшті білінген полюстенуге (үйектелуге) ие металдар үшін анықталған. Олар да бромидтер болатын жағдайларда кездеседі.

Na, K және Mg хлоридтеріндегі йод мөлшері біршама кең ауқымда ауытқыса да, бірақ жалпы алғанда әлі де мардымсыз шамада болады. Біршама елеулі шамадағы оның мөлшері теңіз балдырларының тіршілік өнімдерінде (олардың күлінен йод алынады), содан соң мұнай суында және батпақ жанартаулар лақтырындыларында анықталады. Йод тұздарының өте жоғары ерігіштігі, олардың тек қана құрғақ шөл климатты аудандарында жинақтала алатынына әкеледі. Сондықтан осындай аудандарда кейде йодтың үлкен қоры анықталатыны кездейсоқтық емес. Мысалы, Чили селитрасының ($NaNO_3$) Атакама шөліндегі өте ірі кенорны осындай. Мұнда йод бірақ та иодаттар түрінде болады және оның мөлшері 0,05 % шамасына жетеді.

Сонымен, мұнда қарастырылатын галогенидтер арасында ең көп сандық мәнге хлоридтер ие болады.

Осы класс минералдары арасында екі топты – галит және кераргирит топтарын қарастырамыз.

1. Галит тобы

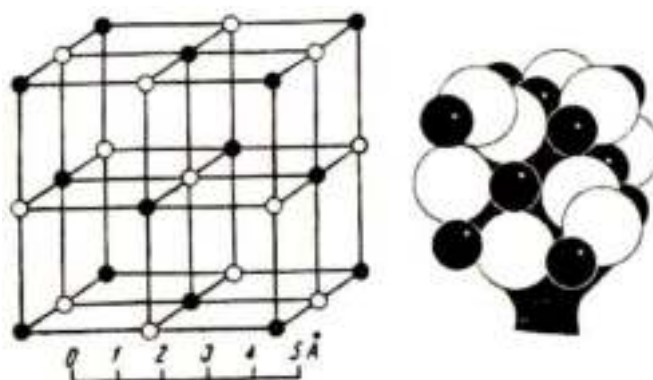
Мұнда бір валентті металдар Na және K хлоридтері жатады. Сондай-ақ мұнда сулы K және Mg қос хлоридін сипаттаймыз.

ГАЛИТ – NaCl. Грекше *галос* – теңіз, тұз деген сөзінен. Синонимдері: тас тұз (таужыныстар арасында жататын тығыз ірі кристалды массаларда) және өзі тұнатын тұз (болбыр кристалл агрегаттарда тұзды алаптар түбінде).

Химиялық құрамы: Na – 39,4 %, Cl – 60,6 %. Қоспалары көпшілігінде механикалық: тұздық тамшылары, газдар көпіршігі, саз немесе органикалық заттар кірінділері, гипс, KCl, MgCl және басқалар.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексооктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=5,6287$. **Кристалдық құрылымы** Cl^{1-}

аниондарының ең тығыз кубтық жайласуымен, олардың аралығында Na^{1+} аниондары барлық октаэдрлік қуыстарды толтыруымен сипатталады. Ол *138-суретте* бейнеленген. Na^{1+} және Cl^{1-} иондары шағын кубтар бұрыштарында кезектесе орналасады. Екі ион үшін де координациялық сан 6-ға тең, яғни хлордың әрбір теріс зарядты ионы натрийдің алты оң зарядты ионымен қоршалған және керісінше. Кристалдарының келбеті әдетте кубтық. $\{111\}$ және $\{110\}$ жақтары өте сирек кездеседі (құрамы бойынша күрделі ерітінділерден кристалданған кезде). Қосақтары (111) бойынша сирек. Өз бетінше тұнатын тұз кристалдары үшін (100) жақтарында воронка тәрізді баспалдақтанған тереңдеу тән (*20-суретте*).



138-сурет. NaCl кристалдық құрылымы. Оң жағында – құрылым моделі. Қара дөңгелекшелер – натрий иондары, ақ дөңгелекшелер – хлор иондары (немесе керісінше)

Агрегаттары. Тұзтұнба тұзды алаптар түбінде болбыр немесе тығыз кристалды-түйірлі қабыршақ немесе «қалақша» түрінде, сондай-ақ кристалдар друзасында, кейде өте ірі кристалдар түрінде байқалады.

Бір қызық жағдай, еріткіш – H_2O жылдам буланған кезде, тұздықтардың ең бетінде тынық ауа райында көптеген жүзгін кристалл «қайықшалар» пайда болады (*139-сурет*), олар жоғары қараған негізінде өсе береді. Олардың түсі ақ болады, оның микроскоптық ауа көпіршіктерін ұстап қалуына байланысты екені көрінеді. Толқындатқан кезде олар суға толады да түбіне батады және өзінің өсуін енді қалыпты мөлдір кристалдар жасап жалғастырады. Бірақ көбінесе оларда шырша тәрізді немесе конверт сияқты сүттей ақ түсті ішкі бөлікшелері сақталады.



139-сурет. NaCl кристалл «қайықшасы»

Метаморфизм процесінде жинақтаушы кристалдану нәтижесінде пайда болған тас тұз орасан зор ірі кристалды массалар жасайды, бұл туралы

жіктілік жазықтықтарының өлшемдері бойынша пайымдауға болады. Оған тәні, кристалдану кезінде көбінесе өте мөлдір галит массалары жаралады (мұнда сұйық және газ кірінділері кристалл түйірлерінің шетіне қарай «ығыстырылады»).

Түсі. Таза галит массалары мөлдір және түссіз немесе ақ түсті болады.

Бірақ қандай да бір бояушы пигменттер әр түске бояйды: сұр (әдетте саз бөлшектері), сары (темір гидроксидтері), қызыл (сусыз немесе аз сулы темір окисі), қошқыл және қара (органикалық заттар, олар қыздырған кезде жоғалады) және басқа. Тас тұз үшін кейде оған өте тән қанық көк бояу таңдақтар немесе жолақтар түрінде, әсіресе күшті деформацияға ұшыраған бөлікшелерінде байқалады. Жасанды осындай бояу тас тұзды рентген сәулесімен немесе оны металл натрий буын сіңірген кезде, әсіресе үлгіні алдымен бір жақты қысымға алғанда, пайда болады. Ал 200⁰С-қа дейін қыздырғанда бояу жоғалады да тұз аппақ болады. Мұны Na¹⁺ еркін электрондарды (радиобелсенді сәулелердің β-бөлшектерін) иемдену салдарынан бояу пайда болады және сондықтан электрлік бейтарап атомдарға айналады деп пайымдайды. Көк тұз калий ұстамды хлоридтер болатын бөлікшелерде кездесетін факт мүмкін қандай да бір дәрежеде β-бөлшектер (электрондар) шығаруға қабілетті К және әдетте онымен байланысты Rb шын мәнінде осы көк бояуды береді деп санауға болады.

Жылтырлығы. Галит шыныша, ал шамалы морыған түрлестері майша жылтырайды. $N=1,544$ (сильвиннен айтарлықтай жоғары).

Қаттылығы 2,5. Морт. Ұзақ бір жақты қысымға алған кезде, пластикалық деформацияға қабілеті байқалады. **Жіктілігі** куб бойынша жетік (29-суретте), ол минералдың кристалдық құрылымдық ерекшеліктеріне толық сай келеді. **Меншікті салмағы** 2,1-2,2. **Басқа қасиеттері.** Нашар электр өткізгіштікке, өте жоғары жылу өткізгіштікке ие. Суда оңай ериді: бөлме температурасында 35 %-ке дейін (температура ондаған градусқа көтерілген кезде де ерігіштік өзгереді). Дәмі тұзды. Гигроскопты, бірақ калий және магний хлоридтеріне қарағанда айтарлықтай аз дәрежеде).

Диагноздаушы белгілері. Төмен қаттылығы, аса жетік жіктілігі, суда ерігіштігі және тұзды дәмі бойынша оңай анықталады.

Азот қышқылымен қышқылданған AgNO₃ ерітіндісінен ақ сүзбе сияқты AgCl тұнбасы бөлінеді.

Жаралуы және кенорындары. Галиттің басты массасы суда еритін басқа да тұздар сияқты, *экзогендік* процестер кезінде теңіз алабынан құм кедергілерімен (барлармен) бөлініп кеткен саяз сулы лагуналар мен шығанақтарда немесе кебірсіген тұйық тұзды көлдерде, ыстық құрғақ климат жағдайларында жаралады. Жаз кезінде мұндай саяз сулы шығанақтарда су қызған кезде және булану беті үлкен болғанда еріген тұздар концентрациясы теңіз алабымен салыстырғанда ылғи арта береді. Осындай жағдайда деңгейдің төмендеуі ұдайы жаңа теңіз суының келіп тұруын қамтамасыз етеді, яғни еріген тұздардың қосымша мөлшерін әкеледі. Егер бұл алап

теңізбен қатынаспаса және оған тұщы су ағып келмесе, онда қанығу сәті келгенде жаз уақытында буланған кезде тұздың тұнуы орын алады.

Әр түрлі континенттік тұзды көлдердегі судың құрамы аса сан қилы. Ол, бір жағынан көлді қоректендіретін судың құрамына, яғни қоршаған таужыныстардың құрамына, ал екінші жағынан – көлдің кебу сатысына және онымен байланысты тұздықта қалатын компоненттердің салыстырмалы концентрациясына тәуелді болады.

Көптеген мұндай көлдерде басқа тұздармен қатар NaCl да шөгеді.

Өткен геологиялық замандарда жаралған қазба тұзды шөгінділерде галит тұздың тұтас массалары түрінде кездеседі. Тұз жатындары шөгінді таужыныстар арасында орналасып, таужаралу қозғалыстары кезінде пластикалық деформацияларға қабілетінің үлкендігі арқасында өзінің пішінін жылдам өзгертеді – көбінесе пішіні мен құрылысы күрделі қалың күмбездер жасайды, олар кейде үстінде жатқан шөгінді таужыныстарды жарып өтеді. Мұндай жағдайда жұқа қабатты тұз түзілімдері көбінесе күрделі микрокатпарлы деформацияларға ұшырайды.

Шөлдерде тұз таңдақтары болып табылатын сортаң деп аталатындар кең дамיתыны белгілі, олардың құрамында ылғи NaCl болады. Олар жаңбырдан кейін жоғалып кетеді де құрғақшылықта қайта пайда болады.

Ақыр соңында, галит булану өнімдері түрінде басқа хлоридтермен бірге жанартау кратері қабырғаларында және лава тасқындарының жарықшақтарында түзіледі. Мұндай шоғырлардың өлшемі әдетте өте сирек болатын ауытқуларды санамағанда, шамалы болады. Галит құрамында мұндай жағдайларда әрдәйім дерлік KCl жеткілікті көп болатыны тән, ол эксперименттер көрсеткендей, жоғары температура кезінде галиттің құрамына қатты ерітінді түрінде кіреді.

Галиттің өте ірі қоры тас тұз кенорындарында шоғырланған. Олар әр түрлі геологиялық замандарда жаралған, бірақ ең елеулі кенорындары пермь дәуірі шөгінділерінде орналасқан. Бұл дәуір ұзақ континенттік ыстық климатымен сипатталады (Еуропа, Оңтүстік Азия, Америка және басқа аумақтарда).

Россия кенорындарынан ең маңыздыларын атаймыз: *Илецкая Защита* (Оренбургтың оңтүстігінде), мұнда өте үлкен тас тұз штогі тек шамалы ғана тасындылармен көмкерілген, ал тас тұз қабаттары ангидритпен бірге қатты мыжылған; *Соликамск* (Верхнекамск) – калий және магний тұздарының әлемдегі ең ірі кенорны, мұнда сонымен қатар қуатты тас тұз, гипс және басқалар қатқабаты жатады.

Қазіргі тұзтұнба кенорындардан назар аударатыны - белгілі *Басқұншақ* көлі (Волганың төменгі ағысындағы Владимир бекетінің шығысында). Көл ойпаңы көмілген тұз күмбез гипс қатқабаты астына көмілген солтүстік беткей маңында орналасқан. Кристалл тұз түзілімдерінің жоғарғы жағы тұздықпен (рапа) жабылған.

Шетел кенорындары ішінде тек кейбіреулерін ғана еске саламыз. Ежелден белгілі тас тұз кенорындары қатарына Польшадағы *Величка* (Краков қаласынан оңтүстік-шығысқа қарай) кенорны, ол XI ғасырдан бері игеріліп

келеді; тас тұздың орасан зор штогі Суэц қаласы маңында (Мысыр) орналасқан; өте ірі тас тұз жатындары Солтүстік Индияда (Пенджаб, Гималай таулары бойында) белгілі және басқалар.

Практикалық мәні. Галиттің қолданылуы аса сан қилы. Ол ең маңызды тамақ өнімі және консервілеудің құрамдасы болатындығымен қатар, химия өнеркәсібінде тұз қышқылын, хлор, сода, жеміргіш натр және бірқатар тұздар алу үшін кең пайдаланылады. Сонымен қатар, галит антифрикциялық балқымалар жасауға пайдаланылатын (натрий-кальций баббиті) металл натрий алу үшін; текстиль өнеркәсібінде маталарды ағартуға пайдаланылатын натрийдің аса тотығын алу үшін; күрделі органикалық қосылыстар өндірісі кезінде катализатор агенті ретінде; қара және түсті металлургияда тотықсыздандырушы және күкіртті айдап шығарушы; ізгі газдарды (гелий, неон, аргон және басқа) тазартқан кезде ылғал және оттектен жұтқышы ретінде; электротехникада үлкен жарық күші бар натрий буына толтырған ұшқынды шамдар даярлаған кезде, сондай-ақ натрий «талшықтарынан» тұратын, мыс қаптамасымен жабылған электрөткізгіштерді жасауда және басқаларда қолданылады.

СИЛЬВИН – KCl. **Химиялық құрамы:** K – 52,5 %, Cl – 47,5 %. Құрамында көбінесе сұйықтар мен газдардың кірінділері, негізінен азот, аз мөлшерде көмір қышқылы, сутек, метан және, ең қызығы, гелий болады. Механикалық қоспалардан көбінесе NaCl және Fe₂O₃ анықталады. Изоморфты қоспалар түрінде әрдайым дерлік KBr (0,1 % шамасына дейін) және өте мардымсыз мөлшерде RbCl және CsCl болады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=6,278$. **Кристалдық құрылымы** дәл галиттікіндей: жақцентрлік куб (138-суретте). Элементар ұяшығының шамасы галиттікінен айтарлықтай үлкен. **Кристалдарының келбеті** кубтық. Көбінесе бұрыштарында октаэдр жақтарымен доғалданған кубтар байқалады. Қосақтары (111) бойынша жиі. **Агрегаттары.** Әдетте тұтас түйірлі массалар, кейде қабатты бітімді түрде кездеседі.

Түсі. Таза түрлестері суша мөлдір және түссіз. Көбінесе сильвинге сүттей ақ түс тән, ол өте ұсақ газ көпіршіктеріне байланысты. Ашық-қызыл және қызғылт сильвин сондай-ақ кристал зольдер болып табылады; оларда ірі дисперсиялық фаза түрінде еріген кезде тұнбада қалатын өте ұсақ гематит (Fe₂O₃) қабыршақтары болады. Жылтырлығы шыныша. $N=1,490$ (галиттікінен аз).

Қаттылығы 1,5-2. Тырналаған кезде біршама пластикалылық байқатады, ұзақ уақыт бір жақты қысымға алған кездегі сияқты. **Жіктілігі** {100} бойынша жетік. **Меншікті салмағы** 1,97–1,99 (галиттен төмендеу). **Басқа қасиеттері.** Дәмі ащы-тұзды, күйдіреді. Жылуөткізгіштігі жоғары. Суда жеңіл ериді. Гигроскопты. Мөлдір түрлестері қысқа толқынды сәулені жақсы өткізеді, оны спектроскоп призмаларында қолдану осыған негізделген.

Диагноздаушы белгілері. Галитке ұқсас, онымен жиі түйірлі кірікпелер жасайды. Одан дәмі және көк шыны арқылы көрінетін жалынды күлгін түске бояйтындығы бойынша ажыратылады. Пластикалылығы тырнаған кезде

жылтыр із қалдыратындығымен білінеді. Микроскоп астында шағылыстыру көрсеткіші бойынша анықталады.

Азот қышқылды ерітінді AgNO_3 сүзбе сияқты ақ түсті AgCl тұнбасын береді.

Жаралуы және кенорындары. Сильвин дәл галит сияқты кебірсіген тұзды көлдерде жаралады, бірақ онымен салыстырғанда сиректеу кездеседі – тас тұз кенорындарының барлығында жарала бермейді. Жер беті ерітінділерінің жылыстау жолында елеулі бөлігі топыраққа жұтылады. Тұздықтардан ол ең соңғыларының бірі болып тұнады және сондықтан әдетте тұзды жаралымдардың үстіңгі жақтарында кездеседі. Кейде ол осындай жағдайларда жаралатын карналиттің ыдырау өнімдері болып табылады.

Сильвин булану (сублимация) өнімі ретінде жанартау кратерлерінің қабырғасында және қатайған лаваның жарықшақтарында кездеседі.

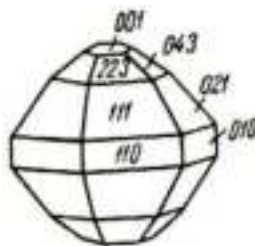
Әлемдегі ең ірі *Соликамск* сильвин кенорны Пермь қаласынан солтүстікке қарай 35 км жерде орналасқан. Ол 1925 жылы ашылған. Сильвиниттің (галит-сильвин таужынысының) қалың төменгі горизонты 150–300 м тереңдікте тас тұз қатқабаты үстінде жатады және карналиттің галитпен қоспасы белдемімен жабылады. Сильвиниттегі KCl мөлшері 10–35 % ауқымында. Жоғарғы сильвинит горизонты карналит белдемінің ыдырау өнімі (MgCl_2 айдап шығарылған) болып табылады және ірі түйірлі ала-кұла түсті массадан тұрады. Мұнда сүттей ақ түсті сильвин түссіз, көгілдір, көк және сұрғылт тас тұзбен бірлеседі.

Соликамскіні ашқанға дейін Батыс және Солтүстік Германияның *Штассфурт* және басқа кенорындары өте белгілі болған. Мұнда тұз жатындары сол пермь түзілімдерінде галоид, күкіртқышқыл және бор қосылыстарынан тұратын біршама күрделі құрамды. Жастау - неогендік сильвинит *Эльзаста* (Франция) өндіріледі.

Практикалық мәні. Калий тұздары өзінің басым көпшілік массасында егіс даласын тыңайтуға кетеді. Олардың тек шамалы бөлігі ғана (5 % шамасында) химия өнеркәсібінде KOH , K_2CO_3 , KNO_3 , KClO_3 , KMnO_4 , KCN , KBr , KJ және басқа қосылыстар даярлауға пайдаланылады. Бұл қосылыстар түрлі салада қолданылады: медицинада, парфюмерияда, пиротехникада, фотографияда, жүн тазалауда, қағаз, шыны (хрусталь және богема шынысын даярлаған кезде), лак-бояу және басқа өндірістерде.

КАРНАЛЛИТ – $\text{MgKCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. **Химиялық құрамы**, %: Mg – 8,7; K – 14,1; Cl – 38,3; H_2O – 38,9. Өте мардымсыз мөлшерде Br (0,2 %-ке дейін), сондай-ақ Rb және Cs (проценттің жүздік бөліктері), кейде Li және Te изоморфтық қоспалары анықталады. Механикалық қоспалардан әдетте NaCl , KCl , CaSO_4 , Fe_2O_3 , сазды заттар, тұздық тамшылары, көбінесе газдың мол кірінділері (азоттың сутекпен және металмен қоспасы) болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $P6mm(D^4_{2h})$. $a_0=9,54$; $b_0=16,02$; $c_0=22,52$. Кристалдары өте сирек: жалған гексагондық келбетті болады (*140-сурет*). Әдетте тұтас түйірлі массаларда кездеседі.



140-сурет. Карналлит кристалы

Түсі. Таза түрлестері түссіз. Әдетте қызғылт немесе қызыл түске майда шашылған темір окисінің кірінділері бояйды. Қошқыл немесе сары түсі темір гидроокиселдерінің қоспаларына байланысты. **Жылтырлығы** жаңа омырылымда шыныша, ауада жылдам күңгірт тартады да майша жылтырға айналады. $N_g=1,494$; $N_m=1,475$ және $N_p=1,466$.

Қаттылығы 2–3. Морт. **Жіктілігі** жоқ. **Меншікті салмағы** 1,6. **Басқа қасиеттері.** Өте гигроскопты. Ауада оңай жұмсарады, және де қою тұздық жасап KCl және $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ қосылыстарына ыдырайды. Дәмі күйдіргі, ащы-тұзды. Күшті флюоресцияланады. Суда ерігенде ерекше тырсыл шығарады, күшті аяз кезіндегі аяқ астындағы қар қыршылына ұқсас. Бұл құбылыс оның құрамында басқа тұздарға қарағанда үлкен қысымдағы газ көпіршіктерінің кірінділері болуына байланысты болады.

Диагноздаушы белгілері. Тас тұзбен және сильвинмен парагенезисте кездеседі. Ауада жылдам ылғалданады. Ауада жұмсарып жайылып кететін бишофиттен ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) және тахгидриттен ($2MgCl_2 \cdot CaCl_2 \cdot 12H_2O$) тек микрохимиялық реакциялары бойынша (құрамында K бар) және көк шыны арқылы жақсы көрінетін жалынның күлгін түске боялатындығы бойынша ажыратылады. Пышақтың ұшымен тескен кезде өзіндік тырсыл шығарады, ол газ көпіршіктері кірінділерінің кенет ұлғаюына байланысты.

Шынының бетінде қыздырған кезде, карналлит түйірлері көптеген басқа суға бай кристалгидраттар сияқты, өзінің кристалданатын суында ериді де ыдырайды. Біртіндеп кептірген кезде ұсақ KCl кубиктері жаралады.

Жаралуы және кенорындары. Магний мен калийге байыған тұзды көлдер рапасынан соңғылардың бірі болып жаралады. Сондықтан көмілген шөгінді текті тұз жатындарының жоғарғы горизонттарында кездесіп, сильвинит түзілімдерінен жоғары жатқан горизонттар жасайды. Кейде құрғақ үңгімелердің қабырғасында қуыстар беті бойынша ағып келетін тұздықтар бөлінеді.

Россияда зор мөлшерде *Соликамск* кенорнында кездеседі, ол жоғарыда (*сильвинде*) сипатталған. Үлкен массаларда сондай-ақ *Штассфурт* кенорнында (Германия), *Калушта* (Батыс Украина) және басқа жерлерде белгілі.

Практикалық мәні. Сильвинит және калийдің басқа тұздары сияқты топырақты тыңайтқыштардың шикізаты болады.

Құрғатылған карналитті жабық ванналарда (шараларда) электролиздеген кезде қалқып шығатын металл магний алынады; калийлі қалдықтары тыңайтқыштарға өңделеді.

Металл магний тазартылғаннан кейін алюминиймен бірге жеңіл берік қорытпалар (дюралюминий, магналий және басқа) жасауға пайдаланылады. Бұл қорытпалар авиация өнеркәсібінде, сондай-ақ металл титан алған кезде тотықсыздандырушы ретінде қолданылады. Одан басқа, ол белгілік шамдарда, жарығы күшті жарқыл (фотографияда) және басқа мақсаттарда қолданылады.

Карналит тұздықтарынан химиялық жолмен алынатын бром медицинада (бромды калий), фотографияда және басқа салаларда қолданылады.

2. Хлораргирит тобы

Бұл топқа Ag, Cu, Hg және Pb қалыпты хлоридтері, бромидтері және иодидтері жатады. Олар руда кенорындарының тотығу белдемдерінде ыстық құрғақ климат жағдайларында кездеседі. Біз тек хлораргиритті ғана қарастырамыз.

ХЛОРАРГИРИТ – AgCl. Грекше *хлор* және *аргирос* – күміс дегенінен шыққан. Синонимдері: кераргирит (грекше *керас* – мүйіз дегеннен), мүйіз күміс алдамыш (минерал омырылымының сыртқы түрі мүйіз затқа ұқсайды).

Химиялық құрамы: Ag – 75,3 %, Cl – 24,7 %. Қоспалар түрінде кейде Hg және Br болады (бромды түрлесі *эмболит* деп аталады).

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік. Кеңістіктік тобы $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=5,547$. **Кристалдық құрылымы** NaCl типіне жатады. Кристалдар түрінде сирек кездеседі. Олар кубтық келбетке ие. Қосақтары (111) бойынша. Әдетте қабыршақтар, кристалл жұғындар, сауыс мүйіз тәрізді немесе шайыр тәрізді массалар түрінде байқалады.

Түсі. Жаңа үлгілерде түссіз немесе шамалы сарғыш, көкшіл-жасылтым немесе қошқыл реңге боялған. Жарыққа күнгірттенеді де алдымен күлгін-сұр, ал уақыт өте келе тіпті қара түске (майда дисперсиялы Ag бөлінуі салдарынан екені көрінеді) ие болады. **Жылтырлығы** кристалдары үшін алмасша, ал жасырын кристалды тығыз массалары үшін балауызша. $N=2,07$.

Қаттылығы 1,5-2. Пышақ кеседі. Майырылғыш. **Жіктілігі** жоқ. **Меншікті салмағы** 5,55. **Басқа қасиеттері.** Суда ерімейді.

Диагноздаушы белгілері. Төмен қаттылық, жоғары тығыздық, шағылысудың жоғары көрсеткіші, суда ерімейтіні және химиялық реакциялары тән.

Қышқылдарда жақсы ерімейді (тек HCl қышқылында шамалы ғана). Бір оған тәні, тек аммиакпен ғана ерітінді жасайды.

Жаралуы және кенорындары. Күміс-қорғасын рудалы кенорындарының тотығу белдемдерінде кездеседі. Ол күміс минералдарының сіңетін құрамында хлор бар жер беті суымен реакциясы

кезінде жаралады. Айтарлықтай массаларда құрғақ ыстық климатты жерлерде байқалады. Сомтума күміс бойынша псевдоморфозалы белгілі.

Россияда кераргириттің өте үлкен мөлшері Оңтүстік Оралдың бірқатар кенорындарының тотығу зоналарында (Баймаковск ауданындағы *Михайлов* кеніші) және Алтайда (*Змеиногоorsk* кеніші) кездеседі. *Нагольный кряжда* (Украина) ХХ ғасыр басында эмболит жатындары құрамында күміс бар кварц-сульфид желілерінің жер беті маңы бөлігінде байқалған. Кераргириттің және күмістің басқа галоидтық қосылыстарының өте үлкен шоғырлары Атакама шөлінің (Чили) кенорындарында, Боливияда, Мексикада және Австралияда байқалған.

суының 1 литрінде орташа алғанда 25–30 см³ газ болады, ал газ құрамындағы оттегі 30 %, азот 60 % және көмір қышқылы 10 %. Егер біз осы деректерді ауаның құрамымен салыстырсақ, онда жаңбыр суының оттегімен және әсіресе көмір қышқылымен айтарлықтай бай екендігін көреміз. Жаңбыр суы неғұрлым грунт суы деңгейіне қарай түскен сайын оның тотықтандырушы әрекеті біртіндеп нашарлай береді. Еркін оттегі жаңбыр суы төмен сіңе берген сайын тотықтырушы реакцияға жұмсала береді. Әсіресе бұл шығындану сульфидтер мен оларға ұқсас қосылыстардың тотығуында білінеді де бастапқы сатысында күкірт қышқылы, күшәла-қышқыл және басқа тұздар жаралады.

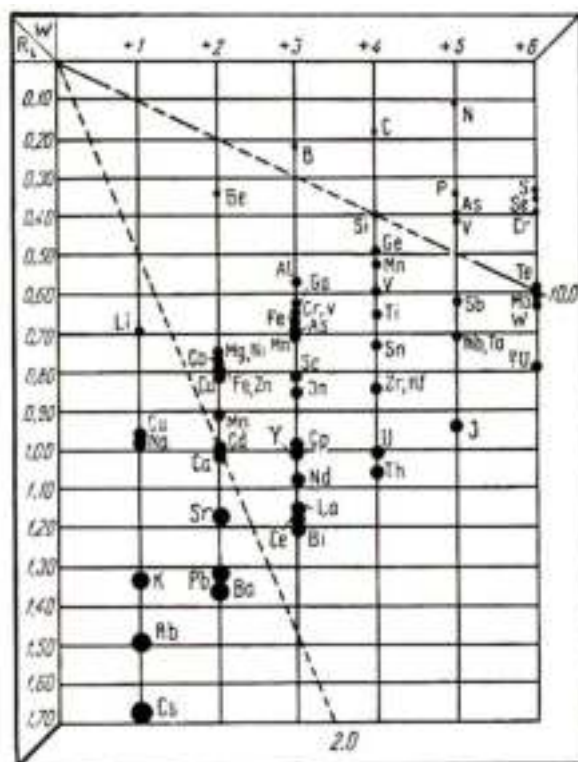
Тотығуға сондай-ақ таужыныстар мен рудалар құрамына кіретін оттегі қосылыстары біршама жеңіл ұшырайды. Олардың құрамында әр түрлі төмен валентті металдар болады, мысалы Fe²⁺, Mn²⁺, V³⁺ және басқалар. Тотығу процесінде бұл металдар жоғары валентті, бірақ өлшемдері бойынша шағын иондарға өтеді, осының салдарынан кристалл құрылымдарындағы байланыс күші нашарлайды. Бұл жағдай ақыр соңында тотығатын кристалл заттардың толық ыдырауына әкеліп, суда еритін де, ерімейтін де жаңа қосылыстар жаралады.

Бастапқыда осы процестер кезінде жаралатын тұздар (сульфаттар, карбонаттар және басқалар) белгілі бір жылдамдықпен сумен реакцияға түседі де ыдырауға немесе *гидролиз* деп айтатынға ұшырайды. Осының нәтижесінде металдардың бірқатар катиондары суда қиын еритін гидроксидтер түрінде тұнады.

Ерітінділердегі иондардың өзін-өзі ұстауы Картледж иондық потенциалдарына сай күйде болады. Бұл потенциалдардың шамасы зарядтың иондық радиусқа қатынасымен ($W:R_1$) бейнеленеді. Қиын еритін гидроксидтер жасайтын катиондар тізімін диаграмма түрінде келтіреміз (*142-сурет*). Диаграммада катиондар валенттілігінің (оңға қарай) және иондар радиусы өлшемдерінің (төмен қарай) өсу ретімен орналасқан. Гидроксидтер мен оксидтер жасауға бейім катиондар алқабы бұл диаграммада екі жағынан пунктир сызықтарымен шектелген.

Осы алқаптан солға қарай сыртқы қабықшасында 8-электронды конфигурациялы күшті металдар, яғни сілтілер мен біршама сілті жерлер (иондық потенциалдары 2-ден төмен) катионы орналасады. Бұл иондар, біз химиядан білетініміздей, жеңіл ұсталады да су ерітінділерінде тасымалданады. Табиғи жағдайларда олар ерітінділерден тек әр түрлі қышқылдар тұзы түрінде ғана тұнады. Олардан өзгешеленетіні табиғатта оксидтер түрінде кездесетін 18-электронды қабықшалы (Cu¹⁺ және Pb²⁺) күшті поллюстенуші (үйектеуші) катиондар ғана.

Иондық потенциалдары өте жоғары (10-нан асатын), иондарының радиусы шағын және зарядтары үлкен катиондар диаграммасының жоғарғы бөлігінде орналасады (*142-суретте*). Олардың барлығы коваленттік байланысты берік комплексті аниондар: [BO₃]³⁻, [CO₃]²⁻, [SO₄]²⁻, [PO₄]³⁻ және басқалар жасайды. Бұл аниондар тиісті катиондармен ерітінділерден тұнатын әр түрлі тұздар береді.



142-сурет. Гидроокиселдер жасауға бейім катиондар (пунктир линиялармен шектелген)

Осылайша, бұл диаграммада катиондардың олардың иондық потенциалдарына байланысты химиялық қасиеттерінің айырмашылығы айқын көрінеді. Иондық потенциалдары иондардың қышқылдық немесе сілтілік дәрежесіне байланысты, олардың ерітінділердегі өзін-өзі ұстауын анықтайды.

Табиғатта окиселдер мен гидроокиселдер жасайтын бізді қызықтырушы катиондардың бір бөлігі – Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu және басқалар (шектелген алаңның сол бөлігіндегі) қышқыл ерітінділерде жеңіл тасымалдануға қабілетті, бірақ күшті сілтілі ортада кристалл тұнбалар – гидроокиселдер немесе негізді және орташа тұздар түрінде шөгеді. Иондық потенциалдары жоғарылау катиондар – Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{4+} , Si^{4+} , Ti^{4+} , Sn^{4+} және басқалар болса енді шамалы сілтілі немесе шамалы қышқылды ерітінділерде тұздар гидролизі нәтижесінде негізінен қиын еритін гидроокиселдер түрінде (OH аниондарымен қосылыста) оңай шөгеді.

Гидроокиселдердің басты массасы руда кенорындардың тотығу белдемдерінде және жалпы таужыныстардың *мору қыртысында* жаралады. Олардың көпшілігі суда төмен ерігіштікке ие болатындығы салдарынан, қарқынды тотығу процестерінде бұл гидроокиселдер аса қаныққан ерітінділер беруге қабілетті. Әрине, сондықтан олар әдетте жасырын кристалды және колломорфты массалар түрінде байқалады.

Металдар гидроокиселдерінің (негізінен темірдің, марганецтің, кремнийдің) басқа таралу алқабына *су алаптары* жатады: батпақтар, көлдер және теңіздер. Мәселен, көптеген қазіргі тұщысулы солтүстік алқап көлдерінде (Карелия, Финляндия, Швеция, Канада) олардың жағалау маңы

саяз сулы бөлікшелерінде темір және марганец гидроокисел шоғырлары өлшемдері мен пішіндері әр түрлі шашыранды конкрециялар (тасберіштер) түрінде байқалады: шар тәрізді, эллипсоид, жалпақ және бұрыс пішінді массалар. Олардың құрамында Fe және Mn гидроокиселдерімен қатар әрдайым гумус заттар, кейде Ni, Co және басқалар болады.

Қандай жолмен жаралмасын, гидроокиселдер уақыт өте келе, әсіресе құрғақ ауа жағдайында олар қылтүтіктік және оптама суын жоғалтады да гидроксильдік топтармен химиялық байланысқан және әсіресе, күрт континенттік климатты алқаптарда, тіпті сусыз окиселдер (Fe_2O_3 , MnO_2 және басқа) қосылыстарын жасайды. Орташа тереңдікте өтетін аймақтық метаморфизм процестерінде гидроокиселдер есебінен сусыз окиселдердің кристалды-түйірлі массалары жаралады.

Егер біз минералжаралудың эндогендік процестері кезінде (магмалық, пневматолиттік және гидротермалық) жалпы элементтер сусыз қарапайым окиселдер жаралады деген мәселеге келсек, онда олардың тұздар гидролизі процестері кезінде суда ерімейтін гидроокиселдер жасауға бейім дәл сол катиондар тізіміне сәйкес келетінін көреміз (*142-суретте*). Мысалы кварц, рутил (TiO_2), касситерит (SnO_2), корунд (Al_2O_3), гематит (Fe_2O_3), браунит (Mn_3O_4) және көптеген басқалар осындай. Катиондары осы басты тобына жапсарлас екі валентті катиондар (*142-суретте*) қарапайым сусыз окиселдер түрінде біршама сирек кездеседі. Бірақ оларға қосарланған окиселдер түрінде (шпинель тобының минералдары, титанаттар деп аталатындар, соларға жақын тантал-ниобаттар және басқалар) біршама жиі байқалатындығы тән. Егер біз қатты күйдегі (мұз) суды (H_2O) айтсақ, онда осымен қарастырылып отырған минералдар класына жататын элементтердің барлық тізімін толық қамтыған боламыз.

Кристалдық құрылымының ерекшеліктері. Осы бөлімге жататын қосылыстардың барлығы дерлік оларға құрылымдық бірліктерінің иондық немесе күшті полюстік коваленттік байланыс тән кристалдық құрылымға ие болады.

Кристалдық құрылымдар құрылысына аниондардан қатысатындар: O^{2-} (окиселдерде) және $[\text{OH}]^{-1}$ (гидроокиселдерде). Екеуінің де иондық радиус өлшемдері шамамен бірдей ($1,36\text{Å}$ шамасында). Осыдан шығатыны, кристалдар құрылымының барлық түрі негізінен катиондардың өлшеміне, олардың валенттілігіне және иондары аралығындағы химиялық байланысына тәуелді болады.

Осы қосылыстар кристалдық құрылымындағы катиондар оттек (немесе гидроксил) аниондары қоршауында болады және де кристалдық құрылымдардың координациялық саны бұл минералдардың маңызды сипаттамасы болып табылады.

Қарапайым окиселдердің зерделенген құрылымдарын өзара салыстыра келіп, біз координациялық санның түрлі варианттарын қадағалай аламыз – біршама жоғары координациялық иондық құрылымдардан бастап және құрылымдық бірліктері төмен сандар мен вандерваальстық байланысқа ие молекулалық (бірақ та сирек) құрылымдарға дейін. Нағыз иондық

құрылымдарымен сипатталатын екі валентті металдар оксиді NaCl құрылымдық типінде кристалданады, яғни координациялық сандары 6 және 6 болады. Тек сыртқы қабықшасы 18-электронды күшті поллюстеуші (үйектеуші) иондар окислы ғана төмендеу координациялы құрылымдарға ие болады, мысалы ZnO (4 және төрт), сондай-ақ Cu₂O (4 және 2). Катиондарының өлшемі кіші болатын үш және төрт валентті металдар оксидтерінің кристалдық құрылымы төмендеу координациялық сандарға ие болады, олар иондық байланыстың коваленттіге жақындауына сәйкес төмендейді: Al₂O₃ (6 және 4), UO₂ (8 және 4), TiO₂ (6 және 3), SiO₂ (4 және 2). Молекулалық құрылымды қосылыстарда бұл сандар одан да төмен, мысалы: Sb₂O₃ (сенармонит) үшін 3 және 2, CO₂ (қатты көмір қышқылы) үшін 2 және 1.

Күрделі окиселдерді алсақ, олардың құрамына өлшемдері бойынша түрлі металдар катиондары қатысады да олардың әрқайсысына координациялық саны бірдей немесе әр түрлі болады. Мысалы, FeTiO₃ (ильменит) қосылыстары үшін екі катионы да – Fe²⁺ және Ti⁴⁺ оттегі аниондарымен алты еселене қоршалыады, ал енді перовскит (CaTiO₃) пен луешит (NaNbO₃) типті қосылыстар үшін басқаша: үлкен иондық радиусқа ие Ca²⁺ және Na¹⁺ катиондарының координациялық саны 12 болады. Шпинель (MgAl₂O₄) типті қосылыстарда рентгенметриялық деректер бойынша мынадай координациялық сандар анықталады: Mg²⁺ үшін – 4, ал Al³⁺ үшін – 6.

Қарапайым және күрделі окиселдердің зерделенген кристалдық құрылымдарындағы катиондар тізімі мен олардың координациялық саны 8-кестеде келтіріледі.

8-кесте. Табиғи окиселдердегі ең басты катиондар және олардың координациялық саны

Координациялық саны	Катиондар
4	Be ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Ni ²⁺ , Zn ²⁺ , Cu ²⁺ , Si ⁴⁺
6	Mg ²⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Al ³⁺ , Fe ²⁺ , Cr ³⁺ , Ti ⁴⁺ , Zr ⁴⁺ , Sn ⁴⁺ , Ta ⁵⁺ , Nb ⁵⁺
8	Zr ⁴⁺ , Th ⁴⁺ , U ⁴⁺
12	Ca ²⁺ , Na ¹⁺ , Y ³⁺ , Ce ³⁺ , La ³⁺

Құрамында [OH]¹⁻ гидроксил тобы бар *гидрооксилдер*, мысалы Mg [OH]₂, сондай-ақ құрамында катион ретінде сутек Н¹⁺ бар оксидтер, мысалы NaAlO₂ өздерінің құрылысы бойынша нағыз оксидтерден аса елеулі айрықшаланады. Мұнда O²⁻ иондарын [OH]¹⁻ диполь аниондарымен алмастыру қабаттарында иондық байланысы және қабаттар аралығында вандерваальстық байланысты нағыз қабатты құрылымдар жаралуына әкеледі. Ал мұнда құрылымның симметриясы төмендейді. Мысалы, MgO болса NaCl типті кубтық құрылымда кристалданса, ал Mg [OH]₂ – гексагондық қабатты құрылымда кристалданады. Дәл солай Al₂O₃ тригондық сингонияда кристалданса, ал Al [OH]₃ полиморфтары – моноклиндік және триклиндік сингонияларда кристалданады. Купро типті күшті поллюстеуші (үйектеуші) катиондар дербес

гидраттар жасамайды, тек компоненттер ретінде күрделі тұздар құрамына кіреді, олар туралы келесі бөлімде айтылады.

Оксидтер кристалдық құрылымының барлық осы ерекшеліктері минералдардың физикалық қасиеттерінде де көрініс табады. Иондық байланысымен сипатталатын қосылыстар берік кристалдық құрылысқа ие және жалпы алғанда галогенидтер мен сульфидтерге қарағанда салыстыруға келмейтін берік болады. Осы жағынан осындай окиселдер жасайтын оттегімен күшті химиялық туыстығы білінеді. Кристалдық құрылыстардың беріктігі бұл окиселдердің жоғары беріктігінде (Моос шкаласы бойынша 6, 7, 8 және 9), жоғары химиялық төзімділігінде, қиын еритіндігінде, өте төмен ерігіштігінде және сондайларда көрініс табады.

Гидроксидтердің қабатты кристалдық құрылымы қабаттар аралығындағы нашар байланыстар ықпалынан айтарлықтай төмен беріктікке ие. Олардың бір айтарлықтай қабілетіне базалық жіктілігі бойынша жұқа парақшаларға ыдырағыштығы жатады. Екі валентті металдар гидроксидтерінің қаттылығы төмен; оларды үш валентті металдар катиондарымен алмастырғанда беріктігі артады және құрылымдарында $[\text{ОНО}]^{2-}$ иондар топтары болғанда айрықша өседі (диаспор).

Минералдардың бояуы да өзінің ерекшеліктерімен сипатталады. Құрамына ізгі газдар типті (Mg^{2+} , Al^{3+} және басқа) иондар қатысатын қосылыстар әдетте түссіз немесе аллохромалық бояуға ие болады. Бірақ құрамындағы катиондар рөлін бейсимметриялы құрылымды иондар (Fe , Mn , Cr және басқа) минералдардың басым саны күнгірт түстерге қарқынды боялған. Әсіресе қара түстілер кең таралған. Бұл минералдардың көпшілігі беймөлдір немесе жұқа жаңқалар мен шлифтерде жарық өткізеді, олар негізінен қошқыл немесе қызыл реңді болады. Осыған сәйкес бұл минералдардың жылтырлығы да шала металша болады. Сондай-ақ минералдардың магнит қасиеттері де айқын жоғары.

Минералдардың жіктелімі. Осы бөлімге жататын минералдардың барлығын былай бөлу қабылданған: 1) сусыз окиселдер; 2) гидроокиселдер немесе құрамында гидроксил және сутек иондары бар окиселдер. Біз осы бөлімдеуді сақтаймыз, өйткені ол кристалхимиялық көзқарастан өзін-өзі ақтаған.

Осы екі класта да қарапайым қосылыстармен қатар қосарланған немесе күрделілеу қосылыстар болады, олар бұрын дербес кластарға бөлінетін. Олардың қатарына ең алдымен $\text{RO}\cdot\text{R}_2\text{O}_3$ типті қосарланған окиселдер жатады. Содан кейін оларға титанаттар, ниобаттар және танталаттар деп аталатындар, яғни жорамал титан, ниобий және тантал қышқылдарының «тұздары» жатады. Төменде көретініміздей, осы қосылыстардың барлығын рентгенметриялық зерттеулер, олардың көпшілігінің кристалдық құрылымы оттегі қышқылдары тұздарымен ортақ ештеңесі жоқ екенін байқатты. Керісінше, оларды окиселдермен тығыз жақындататын белгілі бір сипаттары анықталады.

Сонымен, бұл бөлімде біз қосылыстардың екі класын қарастыратын боламыз.

- Класс 1. Қарапайым және күрделі окиселдер.
- Класс 2. Гидроокиселдер немесе құрамында гидроксил бар окиселдер.

КЛАСС 1. Қарапайым және күрделі окиселдер

Бұл класқа қарапайым да, күрделі де окиселдер жатады, олардың құрамында гидроксил иондары болмайды. Күрделі окиселдерді айрықша бөлудің мағынасы жоқ, өйткені олар кристалдық құрылымы бойынша әдетте қарапайым окиселдерге ұқсас келеді, немесе олардан шамалы ғана айрықшалаынады.

Мұнда жататын минералдар көпшілігінде біршама қарапайым кристалдық құрылым болады. Тек ерекше тұратын SiO_2 кварц тобы минералдарының кристалдық құрылымы ғана күрделілеу.

Бұл минералдардағы оттект катиондары және аниондары аралығындағы қатынас 2:1 (A_2X) және 1:2 (AX_2) ауқымында ауытқиды. Күрделі окиселдерде басқа катиондар аралығындағы әр түрлі ара қатынас анықталады - әдетте 1:1 және 1:2. Тек кейбір сирек қосылыстар үшін ғана біз ара қатынастардың күрделілеу суретін байқаймыз.

1. Мұз тобы

Су табиғатта үш күйде болатыны белгілі: қатты (мұз, қар), сұйық (жаңбыр, минералды бұлақтар, өзендер, теңіздер мен мұхиттар) және газ күйінде (атмосферадағы су буы және жанартау шығарындылары). Су өзінің қасиеттері бойынша металл және металлоид окиселдері арасында айрықша орында тұр. Жер қыртысында жүретін химиялық процестерде су зор рөл атқарады: химиялық реакциялар негізінен сулы ерітінділерде жүреді. Оттексіз сияқты, сусыз да Жердегі органикалық тіршіліктің болуы мүмкін емес.

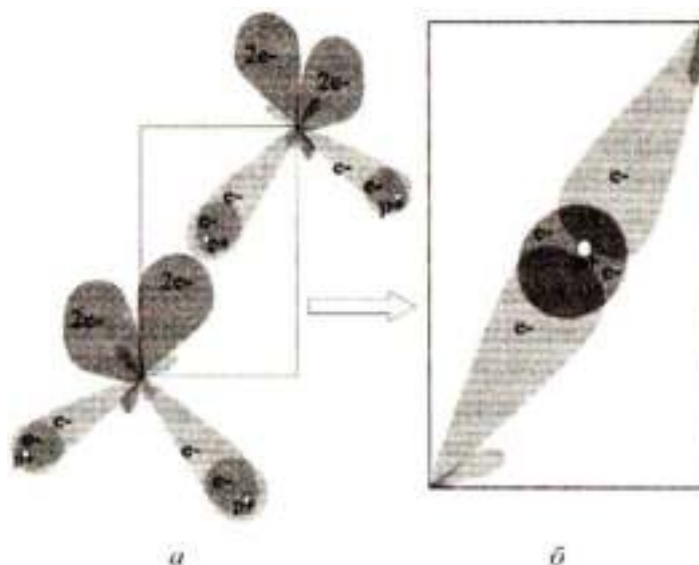
Бұл қосылысты біз тек қатты күйде ғана қарастырамыз.

МҰЗ – H_2O . **Химиялық құрамы:** Н – 11,2 %, О – 88,8 %. Кейде құрамында газ тәрізді және механикалық қатты қоспалар болады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дигексагон-пирамидалық L^6P . Кеңістіктік тобы $Pb_3mc(C^4_{6v})$. $a_0=7,82$; $c_0=7,36$. **Кристалдық құрылымы.** Мұз, шектеулі алғанда, алмастың құрылымына жақын келетін молекулалық кристалдық құрылымға ие (әр H_2O молекуласының координациялық саны 4).

H_2O молекуласының өзінің құрылысы тетраэдр симметриясына жақын симметриясымен сипатталады, бұл оның молекуласындағы химиялық байланыс механизмімен қамтамасыз етіледі. Оттектің барлық сыртқы алты электроны будандастырылып (бірдей қоздырылған күйге келтірілген), төрт σ -бұлтын жасайды, ал олардың екеуінде тек бір электроннан ғана орналасады. Бір электронды σ -бұлты өзіне сутектің екі атомының s-электронын

қабылдайды да олармен полюстік коваленттік байланыс жасайды (143 а-сурет).



143-сурет. Мұз құрылымында тетраэдрлік координацияның пайда болуы: *а* – судың еркін молекуласындағы валентті электрондар конфигурациясы (бояуының қанықтылығы жуықтап алғанда электрондық тығыздыққа пропорциялы, о – протон), сондай-ақ біріншіге тартылатын екінші молекула да көрсетілген; *б* – протонның L-жұптан екінші электронды қабылдауы және бұрынғы байланыстырушы бұлттар мен оттектен атомдары L-жұбы аралығындағы протонмен центрлендірілген s-электрондар біркелкі таралған донорлық-акцепторлық байланыстың жаралуы

Оттектен атомы σ -бұлттарының басқа екеуінің әрқайсысы айтарлықтай көлемді алып жататын, бөліске түспеген электрондар жұбынан (L-жұбынан) жаралған. σ -бұлттың барлық электрондары өзара тебілуге ұшырайды да бір-бірінен максимал бұрыштық қашықтықтық жағдайды қабылдауға ұмтылады. Егер де олар нағыз бірдей болған болса, біз симметриялы тетраэдрлік конфигурация алар едік, бірақ төрт σ -бұлттың екеуінің соңында H^+ протондары орналасқан. Бұл протондар жартылай электрондардың теріс зарядын өтемелейді де бұлттардың өзара тебілуін азайтады. Осының нәтижесінде еркін молекуладағы екі O-H байланысы аралығындағы бұрыш мінсізден ауытқиды да тетраэдр үшін $109,5^\circ$ мәні $104,5^\circ$ мәнін қабылдайды.

Мұндай σ -бұлттардың екеуінің соңында протондардың артық оң заряды шоғырланған, ал осы кезде бөліске түспеген L-жұптардың екеуінің соңында – теріс заряд. Заряды осылайша бөлінген молекулалар бір-бірімен донорлық-акцепторлық механизммен (протон-электрон акцепторы, L-жұп – донор) байланысуға қабілетті болады да бір молекулалар протондарының басқалардың L-жұптарымен жақындасуын қамтамасыз ететін өзара орналасуын қабылдайды (143 б-сурет). Осының арқасында мұз құрылымында өзара сутектік донорлық-акцепторлық байланыспен нашар байланысатын H_2O молекулалары былайша бағдарланған – бір молекулалардың оң зарядталған бөлікшелері басқа молекулалардың теріс зарядталған бөлікшелеріне бағытталған.

Мұз құрылымында протондар мен σ -бұлттардың екі сорты аралығындағы электрондар орналасуы ажыратылмайтын болады да молекулалар тетраэдрлік симметрияны қабылдайды.

Молекулаларының жалпы орналасуы бойынша мұз құрылымы вюрцит құрылымына ұқсас (*96-суретте*), одан айырмашылығы Zn пен S орнын H_2O молекулалары басады. Мұндай құрылыста (4-ке тең төмен координациялық санды) құрылымдық бірліктердің тығыз емес жайласуы орын алады (үлкен бос орындар қалады). Мұздың меншікті салмағы суға қарағанда төмен болатыны осымен түсіндіріледі.

Кристалдарының келбеті. Мұз кристалдарына басым көпшілік жағдайларда қаңқалық даму тән. Гексагондық симметрияға ие қардың кристалдық жаралымдары алты сәулелі өсу фигураларының пішіні бойынша төтенше сан қилы. Сондай-ақ мұздың дендриттері мен өрнекті жаралымдары да кеңінен белгілі. Мұз үңгірлерінде мұз кристалдары дұрыс алты бұрышты қалақшалар, тақталы дарақтар және пішіндері бойынша күрделі өскіндер түрінде кездеседі. Өлшемі және жақсы қырланғандығы бойынша мұздың керемет кристалдары белгілі (ұзындығы бойынша 40 см-ге және көлденеңінде 15 см-ге дейін), олар Азияның солтүстік-шығысындағы кен үңгімелерінде мәңгі тоң жағдайларында кездескен. Бір жағдайда олар қуатты уатылу белдемінің қуыстарында жер бетінен 55-60 м тереңдікте анықталған, мұнда тоң қапталдас таужыныстардың температурасы $3-4^{\circ}C$ -қа тең. Қолданбалы гониометрмен жүргізілген өлшеулер көрсеткендей, кристалдардың ең жиі кездесетін жақтары болып гексагондық дипирамида және пинакоид табылған (шын мәнінде – екі гексагон пирамида мен екі моноэдр).

Басқа жағдайда бағана кейіпті мұздың өте ірі кристалдары сульфид кенорындарының тотығу белдемінде жүргізілген көне кен үңгімелерінде кездескен. Бұл үңгімелерді аршыған кезде анықталғаны, олар тұтас мұз массасына толған және оның арасында үлкен қысымдағы минералды сулы әрі газды қуыстар кездескен. Ең үлкен мұз кристалдарының ұзындығы 60 см-ге дейін, ал диаметрі 15 см болған және гексагондық пирамида жақтарымен доғалданған гексагондық призмалар кейпіне ие.

Агрегаттары. Тұтас массаларда көбінесе кристалды-түйірлі агрегаттары (тығыз қар, мұздықты аудандардағы фирн). Глетчер мұз өте ірі, бұрыс пішінді кристалл түйірлерінен тұрады. Сондай-ақ шатырлардың көлеңке жағында қар ерігенде сорғалаған су қатқанда және де мұз үңгірлерде жаралатын сүңгі пішінді жаралымдар (сталактиттер және сталагмиттер) жақсы белгілі. Жаңбыр бұлттарынан жауатын бұршақтарда көбінесе концентрлі-қабатты құрылымды байқауға болады. Аязды күзгі таңда көбінесе жерде қырау тұрады.

Түсі. Мұз түссіз немесе көгілдір түске шамалы боялады (үлкен массаларда). **Жылтырлығы** шыныша. Оптикалық оң таңбалы. Шағылыстыру көрсеткіші өте төмен: $N_g = 1,310$; $N_m = 1,309$.

Қаттылығы 1,5. Морт. **Жіктілігі** жоқ. **Меншікті салмағы** 0,917 (судан төмен). Кристалданған кезде меншікті салмағының азаюы металл висмутке де тән.

Жаралуы. Мұз салқындаған кезде су алаптары бетінде жаралады. Алғашында мұз ботқасы түрінде пайда болатын масса біртіндеп жүзіп жүрген қабыршаққа айналады да оның астына кристалл дарақтары өсіп, тік бағытта симметрияның алтыншы осьтері бойынша созылады. Қар атмосфераның салқын алқаптарында су буынан жаралады. Дәл осындай жағдайларда салқындаған заттар бетінде қырау және мұз өрнектері де пайда болады. Төмен температуралы мұз үңгірлерінде ол жарықтар бойынша тамшылайтын жер беті суына айналады.

Климаты қатаң мәңгі тоң аудандарда қары аз ұзақ созылатын қыс кезінде мұздық деп аталатындар, яғни мұз жамылғылары жаралады, кейде олар өлшемі бойынша үлкен алаңдарды алып жатады. Өзеннің мұз жамылғылары саяз жерлерде судың толық қатып қалуынан пайда болады да осының нәтижесінде ағын су жер бетіне шығып, қар жамылғысына сіңеді. Басқа мұз жамылғылары қалың мәңгі тоң астынан шығатын тереңдік судан қыста қатпайтын бұлақтар түрінде жаралады. Мұздықтардың және глетчерлер мұзының жаралуына тоқталып жатпаймыз.

Мұз кенорындары жалпыға белгілі. Қысы салқын, әрі ұзақ және қысқа аудандарда кездесетін мұз үңгірлері арасында белгілі *Кунгур үңгірін* (Пермь облысы) айтуға болады. Ол өзінің жарқ-жұрқ ететін мұз кристалдарымен көптеген туристердің назарын аударып келеді. Шетел мұз үңгірлері арасындағы белгілісі - *Добшинь үңгірі* (Словакия), оның 7000 м²-ден астамын мұз жауып жатыр. Мұздың жалпы көлемі 120 000 м³ болады. Мұз қабырғалардың биіктігі 15 м-ге жетеді.

Практикалық мәні. Мұз тоңазыту ісінде және тұрмыс пен техникада әр түрлі мақсаттарда, травматологияда қолданылады. Қыста ауызсу алуға мүмкіндік жоқ өте суық аудандарда оны қалың өзен немесе көл мұзынан алады.

2. Куприт тобы

Табиғи жағдайларда А₂О типті металл окиселдерінен белгілісі тек жалғыз куприт, яғни мыс закисі (Cu₂O) ғана. Куприт құрылымында сондай-ақ табиғатта анықталмаған жасанды Ag₂O де кристалданады.

КУПРИТ – Cu₂O. Атауы латынша *cuprum* – мыс дегеннен шығады. Синонимі: қызыл мыс рудасы. Кірпіш мыс рудасы (темір гидроокиселінің қоспасы бар) және шайыр мыс рудасы деп аталатындар шын мәнінде минералдық қоспалар болып табылады.

Химиялық құрамы. Cu – 88,8 %. Механикалық қоспа ретінде өте жиі сомтума мыс анықталады, ал жасырын кристалды түрлестерінде – Fe₂O₃, SO₂ және H₂O болады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексооктаэдрлік 3L⁴4L³6L²9PC. Кеңістіктік тобы *Pn3m(O⁴_h)*. a₀=4,26. **Кристалдық құрылымы** сырттай

көлемдік центрленген кубтық тор ретінде болады да оның түйіндерінде оттегі атомдары орналасады. Оған денелік диагональ бойынша бір ширекке ығыса орналасқан, өлшемі бойынша дәл сондай жақцентрленген тор енген, бірақ оның түйіндерінде мыс болады. Мыстың координациясы екіге тең, ал оттектің – төртке. **Кристалдарының келбеті** октаэдрлік (144-сурет), кейде кубтық немесе додекаэдрлік; өте сирек жағдайларда (*Корнуолл* кенорны, Англия) пентагонтриоктаэдр жақтары болады (гипоморфизм білінімі). Кристалдары әдетте ұсақ. Кейде ине немесе қыл тәрізді дарақтары, сондай-ақ өзара перпендикуляр үш жүйелі инелердің көлемдік қаңқалы кристалдары (халькотрихит) байқалады. Көбінесе тұтас түйірлі, кейде жер тәрізді (бөтен қоспалармен бірге) агрегаттарда кездеседі.



144-сурет. Куприт кристалы

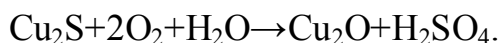
Түсі. Куприт қызылдан қорғасын-сұрға (ұсақ түйірлі немесе жабық кристалды агрегаттарда) дейін болады. **Сызық түсі** қоңыр-қызыл немесе қошқыл-қызыл (екінші бисквитпен үккен кезде сарғыш тартады). **Жылтырлығы.** Кристалдары омырылымда алмасша немесе шала металша. Ұсақ сынықтарда куприт жартылай мөлдір. $N=2,85$.

Қаттылығы 3,5-4. Морт. **Жіктілігі** $\{111\}$ бойынша айқын. **Меншікті салмағы** 5,85-6,15.

Диагноздаушы белгілері. Өзіндік қасиеттеріне жататындар: алмасша жалтырлық, қызыл сызық түсі және әсіресе сомтума мыспен, кейде мыстың басқа туынды минералдарымен – малахитпен, азуритпен және басқалармен парагенезисі. Киноварьдан, пруститтен және пираргириттен сызық түсі бойынша айрықшаланады (киноварьда – ашық-қызыл, прустит пен пираргиритте – қызыл, үккен кезде жасылданады, ал купритте – қоңыр-қызыл).

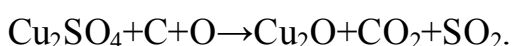
HNO_3 қышқылында оңай ериді, ерітіндісі жасылтым тартады, ал аммиакты мол қосқанда көкке айналады.

Жаралуы және кенорындары. Куприт негізінен дерлік мыс кенорындарының сульфидке қайта баю белдемінде таралған халькозин, кейде борнит рудаларын тотықтандыратын *экзогендік* процестер кезінде жаралады (грунт суы деңгейінен төмен). оның жаппай дамуы негізінен мынадай жағдайда орын алады: белгілі бір себептерге байланысты (атап айтқанда, эрозия базисі төмендеген кезде) грунт суы деңгейінің төмендеуі орын алады да халькозинге бай осыған дейін пайда болған белдемнің тотығу аясына түседі. Халькозиннің тотығу процесі жаралатын күкірт қышқылы суда еріген кезде мынадай реакция бойынша жүретіні көрінеді:



Оттек жеткіліксіз болған жағдайда, осы реакция бойынша Cu_2O орнына немесе онымен бірге металл мыс пайда болатынын оңай көруге болады. Ол шын мәнінде куприт үлгілерінде өте жиі байқалады (куприт массаларының омырылымында тікенекше кейпі бойынша анықталады).

Куприт кейде сомтума мыспен бірге құрамында өсімдік қалдықтары бар кейбір шөгінді таужыныстарда кездеседі. Мұндай жағдайларда оның мыс закисі сульфатының біршама оттек болған кезде органикалық заттармен мынадай сұлба бойынша тотықсыздану өнімі болатыны ықтимал екені көрінеді:



Ерітінділерде көмір қышқыл концентрациясы елеулі болатын жағдайларда, куприт орнықсыз болып шығады. Табиғатта мыс карбонаты *малахиттің* куприт бойынша псевдоморфозалары кең дамыған. Сиректеу жағдайларда ол мыстың басқа карбонаты азуритпен алмасады.

Көп мөлшерде және жақсы жаралған кристалдар түрінде Оралдағы *Гумешев*, *Меднорудьянск* және *Тура* кеніштерінде, сондай-ақ Алтайдың бірқатар кенорындарында және басқа жерлерде малахитпен, азуритпен, темір гидроокиселдерімен және басқалармен бірлестікте кездескен. Шетел кенорындары ішінде Лион маңындағы *Шессу* кенорны (Франция) белгілі, мұнда көлденеңінде 2-3 см болатын кристалдар кездескен, және басқалар.

Практикалық мәні. Ең сапалы мыс рудаларының бірі. Ерте замандарда куприт рудасы сомтума мыспен бірге пайдаланудың ең маңызды нысаны болып табылғаны көрінеді. Қазіргі кезде айтарлықтай массаларда біршама сирек кездеседі.

3. Цинкит әулеті

Бұл әулетке табиғатта біршама сирек дамыған AX типті қарапайым окиселдер, яғни екі валентті металдар (Mg, Ni, Fe, Mn, Cd, Ca, Be, Zn) жатады. Осы әулетке шартты түрде екі валентті Cu және Pb оксидтерін де жатқызамыз. Мұнда біз қысқаша ғана тек цинкитті және де теноритті қарастырамыз.

ЦИНКИТ – ZnO . **Химиялық құрамы:** Zn – 80,3 %, O – 19,7 %. **Сингониясы** гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-пирамидалық. Кеңістіктік тобы $R\bar{6}_3mc(C^4_{6v})$. **Кристалдық құрылымы** вюртцит типті. Сеппе түйірлер және тұтас массалар түрінде байқалған.

Түсі жирен-сарыдан күңгірт-қызылға дейін – құрамында марганец қоспасы болуынан (таза синтетикалық ZnO түссіз). **Сызық түсі** жирен-сары. **Жылтырлығы** алмасша. Оптикалық оң таңбалы. $N_g=2,029$ және $N_m=2,013$.

Қаттылығы 4. Жіктілігі $\{10\bar{1}0\}$ бойынша орташа. Меншікті салмағы 5,66.

Қышқылдарда ерімейді. **Басқа қасиеттері.** Детекторлық қасиеттерге ие.

Кенорындары. Россияда *Дукат* кенорнында (Магадан обл.) байқалған. Айтарлықтай шоғырларда белгілі жапсарлық-метасоматоздық *Франклин* кенорнында (Нью-Джерси, АҚШ) виллемитпен – Zn_2SiO_4 және франклинитпен – $(Zn, Mn)Fe_2O_3$ бірлестікте кальцит массаларында кездеседі. Кристалдары өте сирек және тек қана соңырақ жаралған кальцит желілерінде байқалады. Сондай-ақ *Олькуш* қорғасын-мырыш кенорнында (Польша), Тосканадағы *Саравецци* маңында (Италия) және басқа жерлерде көрсетілген.

ТЕНОРИТ – CuO . **Химиялық құрамы:** Cu – 79,9 %, O – 20,1 %.
Синонимі: мелакоцит (шомбал түрлесі).

Сингониясы моноклиндік. Симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c$. Сирек. Әдетте ұсақ қабыршақты немесе жер тәрізді агрегаттар түрінде байқалады.

Түсі қара немесе сұрғылт-қара. **Сызық түсі** сұрғылт-қара. **Жылтырлығы** шала металша. Жылтырланған шлифтерде күшті анизотропты.

Қаттылығы 3,5. Морт. Меншікті салмағы 5,8–6,4.

Қышқылдарда оңай ериді.

Кенорындары. Мыссульфид кенорындарының тотығу белдемінде купритпен, лимонитпен, хризоколламен, малахитпен, марганец гидроокиселдерімен және басқа гипергендік минералдармен бірлестікте кездеседі. Оралда *Тура* мыс кеніштерінде (Солтүстік Орал), *Меднорудянск* кенорнында (Төменгі Тагил маңында) сипатталған. *Үлкен Толбачик* (Камчатка) жанартауы эксгальцияларының шөгу өнімдері арасында қалақша кристалдар щеткасы түрінде байқалған.

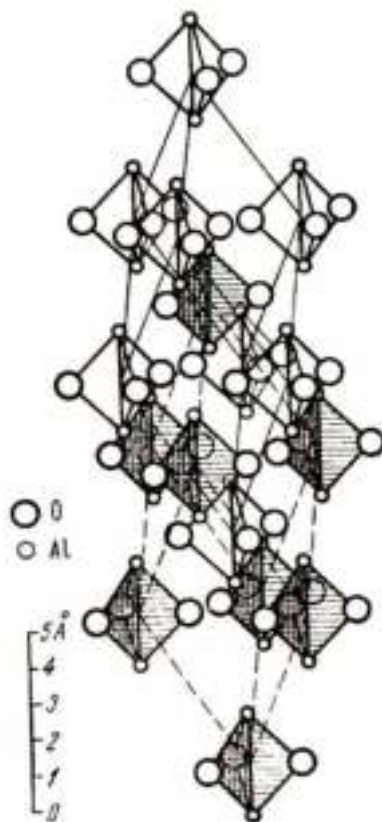
Көп мөлшерде Мичиган штатындағы (АҚШ) *Жоғарғы Көл* ауданы мыс кенорындарында, Атакама шөлі кенорындарында (Чили) және басқа жерлерде байқалған. Лавадағы ұсақ қабыршақтар түрінде *Везувий* және *Этна* жанартауларында сілтілер мен мыс хлоридтерімен бірлестікте кездеседі.

4. Корунд-ильменит әулеті

Мұнда корунд тобын құрайтын A_2X_3 (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , V_2O_3) типті біржарымдық қарапайым окиселдерден басқа, рентгенметриялық деректер бойынша, сондай-ақ ильменит тобына қатысты ABX_3 (мұндағы $A=Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn$, ал $B=Ti$) типті, бірақ корунд типіден туындайтын құрылымда кристалданатын күрделі (қосарланған) окиселдерді де жатқызу керек. Оларға тәні Fe_2O_3 пен $FeTiO_3$ жоғары температурада қатты ерітінділердің ұдайы қатарын жасайды да олар салқындаған кезде ыдырап кетеді.

Корунд тобы минералдарының барлығы тригондық сингонияда кристалданады да бір типті кристалдық құрылымға – Al_2O_3 типтіге ие болады (*145-сурет*). Тек Fe_2O_3 қана табиғи жағдайларда екі модификацияда кездеседі: $\alpha-Fe_2O_3$ – тригондық сингонияда және $\gamma-Fe_2O_3$ – кубтық

сингонияда. FeTiO_3 типті қосарланған окиселдердің симметриясы Fe_2O_3 типті қарапайым окиселдермен салыстырғанда төмендеу, өйткені олардың катиондары бейэквивалентті. Олар біршама жоғары температура жағдайларында жаралады.



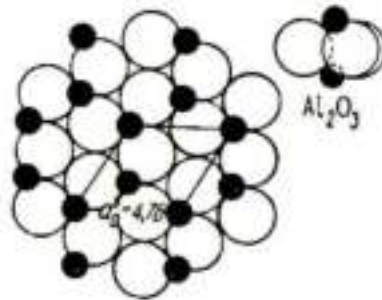
145-сурет. Корундтың Al_2O_3 топтары түрінде бейнеленген кристалдық құрылымы

КОРУНД - Al_2O_3 . Минералдың атауы Индияда берілген. Al_2O_3 үшін мынадай полиморфтық модификациялар белгілі: 1) $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд) – тригондық, табиғи жағдайларда өте орнықты; температураның кең интервалында ($500\text{--}1500^\circ\text{C}$) жаралады; 2) $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ – гексагондық, өте жоғары температурада орнықты; $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ $1500\text{--}1800^\circ\text{C}$ температура кезінде $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ модификациясына айналады, бұл модификация Al_2O_3 балқымасын өте баяу салқындатқан кезде жаралады; 3) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ – кубтық, шпинель типті кристалдық құрылымды (маггемит жағдайындағы сияқты); жасанды жолмен алюминий окисінің гидратын (бемитті) 950°C -тан төмен температураға дейін қыздырған кезде алынады; ал жоғарылау температурада орнықсыз $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -ке өтеді.

Химиялық құрамы. Al– 53,2 %. Кристалл түрлестері құрамы бойынша айрықша таза. Өте шамалы қоспалардың өзі оған әр түрлі түс береді: Cr – қызыл, Fe^{3+} – қоңыр (Mn қоспасымен бірге) және қызғылт, Ti^{4+} – көк, Fe^{2+} пен Fe^{3+} қоспалары – қара бояу береді.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_6 L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R3c(D^6_{3d})$. $a_0=4,76$; $c_0=13,01$; $a_0:c_0/2=1:1,363$. **Кристалдық құрылымы** 145-суретте элементар ұяшықты құрайтын екі ромбоэдрдің бұрыштары бойынша орналасқан Al_2O_3 топтары түрінде бейнеленген. Күрделі болып көрінетініне қарамай, ол біршама қарапайым

құрылымдық сұлбаға ие. Оттек иондары ең тығыз гексагондық жайласуда болады да үштік оське перпендикуляр бірінің үстіне бірі түскен қабаттар бойынша орналасады (146-сурет). Al катиондары осындай екі қабаттың аралығына гексагондық тор түрінде орналасып, октаэдрлік қуыстардың үштен екісін толтырады (яғни оттектің алты анионы аралығындағы қуыстарды, олардың үшеуі бір қабатқа, ал басқа үшеуі бірінші қабатқа қатысты 180° -қа бұрылып барып, оттек иондарының екінші қабатына жатады). Мұнда оттектің әр бір ион топтары көрші қабаттардағы шекаралас екі октаэдр үшін жалпы жақ жасайды. Оған тәні, катион қабаттары бір-біріне былайша үстілене орналасады – октаэдрлердің әр бір тік бағанасында, қабаттағы сияқты екі толғаны бір толмағанымен кезектеседі, ал толған октаэдр жұптары тік бағыт бойынша бұранда үштік ось жасайды.



146-сурет. Оттек аниондарының алюминий катиондарымен өте тығыз жайласуының бір қабатының (октаэдрлік бос жерлердегі) (0001) жазықтығына проекциясы. Гексагон ұяшықта бірінің үстіне бірі Al–O алты қабаты орналасады. Үстінде Al_2O_3 тобы көрсетілген (қырынан)

Кристалдарының келбеті. Әдетте жақсы жаралған бөшке, бағана, пирамида және қалақ тәрізді кристалдары байқалып, олардың өлшемі кейде үлкен болады (көлденеңінде дециметрге дейін). Ең жиі кездесетіндері гексагон призманың $\{11\bar{2}0\}$, гексагон дипирамидалардың $\{22\bar{4}1\}$, $\{22\bar{4}3\}$, ромбоэдрдің $\{10\bar{1}1\}$ және пинакоид $\{0001\}$ жақтары (147-сурет). Призмалар мен дипирамидалардың жақтары, сондай-ақ пинакоид жақтары да жиі қиғаш айғыздармен (штриховкамен) көмкерілген болады. Басқа жағдайларда пинакоид бойынша қосақталу салдарынан, көлбеу бағытты айғыз байқалады. Корунд әдетте таужыныста сеппе болып келеді, бірақ ол тұтас түйірлі массалар (наждак – түрпі) жасайтын кенорындар да белгілі.



147-сурет. Корунд кристалдары

Түсі. Корунд әдетте көкшіл, қызғылт немесе сарғыш-сұр (лас шала мөлдір түрлестері үшін) болады. Бояуы әр түрлі мөлдір кристалдары да кездеседі. Мөлдір асыл корундтың түрлестері: лейкосапфир – түссіз, сапфир (көк жақұт) – көк, рубин (жақұт) – қызыл, «шығыс топазы» - сары, «шығыс аметисті» - күлгін, «шығыс изумруды (зүбаржаты)» - жасыл, «жұлдыз корунд» - қараған кезде астеризм қасиетіне ие жарыққа (базапинакоид жазықтығында бұрған кезде, алты сәулелі жұлдыз пішінінде жүгіретін опалесценция байқалады, ол бағдарланған микроскоптық кірінділер болуына байланысты). **Жылтырлығы** шыныша. $Nm=1,767$ және $Np=1,759$.

Қаттылығы 9. Жіктілігі іс жүзінде жоқ, бірақ пинакоид бойынша, сондай-ақ негізгі ромбоэдр бойынша да дербестік жиі байқалады (полисинтетикалық қосақтану салдарынан). Соңғы жағдайда дербестік бойынша сынықтары тік бұрышты параллелепипедтерге өте жақын. **Меншікті салмағы** 3,95–4,1. Жасанды корундтың балқу температурасы 2040°C .

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының пішіні, жақтарындағы айғызы, жиі кездесетін өзіндік көкшіл-сұр бояуы және жоғары қаттылығы бойынша оңай анықталады. Өзіне ұқсас кианиттен (Al_2SiO_5) жетік жіктілігінің болмауымен және жоғары қаттылығы бойынша ажыратылады. Рубин (жақұт) қызыл шпинельден (лағылдан) кристалдарының пішіні бойынша, ал бұрыс пішінді түйірлерде – тек микроскоп арқылы ғана ажыратылады. Қышқылдарда ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Кейде алюмототыққа бай және кремнийтотыққа жұтаң тереңдік магмалық таужыныстарда – корундты сиенит пен анортозитте далашпаттармен бірлестікте, өте сирек жағдайларда басқа таужыныстарда (андезит, базальт және басқа) кездеседі. Сондай-ақ құрамында өнеркәсіптік мәнге ие корунд бар сиенит пегматиттері де белгілі.

Жапсарлық-метасоматоздық корунд кенорындары кальцифирге айналған интрузиялық таужыныстарға көршілес әктаста жаралады. Мұнда ол жиі асыл түрлестерінен тұрады (рубин, сапфир және басқалар). Бірқатар жағдайларда (туынды кварциттерде) оның кенорындары қышқылды флюидтердің алюмототықтары шөгінді және интрузиялық таужыныстарға күрт әсер етуінен пайда болады. Корунд мұндай жағдайларда андалузит, силлиманит, сондай-ақ рутил, диаспор және басқалар сияқты минералдармен бірлеседі.

Корундты таужыныстар сондай-ақ аймақтық метаморфизм нәтижесінде алюмототыққа бай шөгінділер (боксит) есебінен магмалық таужыныстарға тікелей байланыссыз да жарала алады. Таужыныстар мұнда әдетте кристалды тақтатастарға айналады.

Химиялық өте төзімді минерал болғандықтан, ол *шашылымдарда* жиі анықталады.

Гидротермалық процестерде бұрын жаралған корунд кейде гидратацияға, яғни диаспорға (HAlO_2) айналуға ұшырайды. Жер беті жағдайларында бұл құбылыс сирек, күмәнді оқиғаларды айтпағанда байқалмайды.

Россияда корундтың бірқатар кенорындары Оралдың шығыс беткейіндегі Қыштым ауданында *Борзовка* өзенінің жоғарғы жағында ультранегізді таужыныстар арасында құрамында бар плагиоклаз желілері түрінде, *Иртяш* көлінің шығыс жағасы бойында метаморфтық таужыныстар арасында, атап айтқанда мәрмәр арасында құрамында хлоритоид пен сульфидтер бар линза тәрізді және бұрыс пішінді түрпі (наждак) денелері орналасады. *Ильмен* тауларында (Оңтүстік Орал) көкшіл-сұр корундтың ірі кристалдары сиенит пегматиттеріндегі мусковитті және самарскитті далашпаттарда болады. *Рай-Из* (Полюстік Орал) хромит кенорны ауқымында хромға бай қанық-қызыл корунд ұзындығы дециметрге дейінгі бағана кристалдар түрінде, ультранегізді таужыныстарға қошқылды флюидтер ықпал етуі кезінде жаралған флогопит-плагиоклазды метасоматиттерде белгілі. Метасоматоздық өзгерген алюмототықты гнейсте және онымен бірлескен амфиболитте қышқылды плагиоклазбен, биотитпен, альмандинмен бірге қызғылт корундтың метакристалдары Солтүстік Карелияда кездеседі (*Хитостров*, *Варацк көлі* және басқалар). Көк корунд герцинитпен, содалитпен және биотитпен бірге нефелинді сиениттер арасындағы сыйыстырушы таужыныстардың фениттелген ксенолиттерінде Хибин сілтілі массивінің (Кола түбегі) бірқатар жерлерінде байқалған. Боксит метаморфизмі кезінде жаралған қызыл корунд агрегаттары кианитпен бірге Чайныт кенорнында (Оңтүстік Саха Республикасы) бар. Шашылымдары корунд білінімдерінен Приморье өлкесінде *Кедровка* өзені аллювийіндегі сапфир түйірлерін айтамыз.

Жоғары сапалы корунд шикізатының қызықты кенорны *Семіз-Бұғы* Орталық Қазақстанның Баянаул ауданында орналасқан (Павлодардан оңтүстік-батысқа қарай 320 км). Мұнда ұя тәрізді руда денелері тұтастай дерлік күңгірт-көк немесе сұр түсті түйірлі корундтан тұрады. Олар сыйыстырушы кварциттерден андалузитті таужыныс зоналарымен бөлінген. Корундпен мусковит, кей жерлерінде гематит, рутил, диаспор және басқа минералдар парагенетикалық байланысқан.

Шетелдіктерден ең белгілілеріне *Жоғарғы Бирмадағы* асыл мөлдір корунд (рубин және сапфир) кенорны (мәрмәрдің гранитпен жапсары зонасында), Австралия (сілтілі базальтта), Таиланд (шашылымдарда, негізінен сапфир) және басқа елдер кенорындары жатады.

Практикалық мәні. Корунд жоғары қаттылыққа ие болғандықтан, негізінен түрпі материал ретінде қолданылады. Осы мақсатта одан қайрақ корунд дөңгелектерін, дисклерін, түрлі қағаз бен ұнтақ даярлап, әр түрлі бұйымдарды тегістегенде және жылтырлағанда пайдаланады (негізінен металл өңдеуші өнеркәсіпте). Мөлдір боялған түрлестері зергерлік істе асыл тастар ретінде тұтынылады.

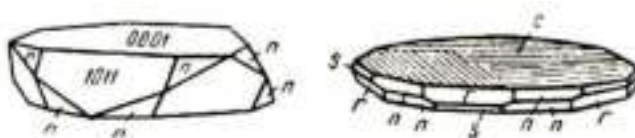
Арзан электр энергиясын өндіретін бірқатар елдерде алюмототыққа бай таужыныстарды, атап айтқанда бокситті электрбалқыту жолымен жасанды корунд (алунд) даярлайды. Жасанды корунд табиғидың алдында тазалығы және ірі түйірлілігі бойынша артықшылыққа ие. Арнайы пештерде Al_2O_3

ұнтағын 2,5 % Cr_2O бірге балқыту арқылы табиғиға тең келетін рубин, ал Ti және де Co қосып – сапфир алады.

ГЕМАТИТ – $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Атауы грекше *гематикос* – қанды дегеннен шыққан. Табиғатта темір окисінің екі полиморфтық модификациясы белгілі: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – тригондық, орнықты және $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – кубтық, аздау таралған, оны біз жеке қарастырамыз. Синонимдері: темір жылтыры, темір слюдкасы, қызыл теміртас (тығыз жасырын кристалды түрлесі), темір қаймағы (қызыл ұнтақша түрлері). Мартит деп гематиттің магнетит бойынша псевдоморфозасын айтады.

Химиялық құрамы. Fe – 70 %. Кейде изоморфты қоспалар түрінде Ti (титангематит) және Mg болады. Шамалы мөлшерде сондай-ақ су да байқалады (гидрогематит, ол әдетте колломорфты түрде кездеседі). Жасырын кристалды тығыз массаларда кремнийтотық пен алюмототықтың механикалық қоспалар түрінде болуы жиі анықталады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_6L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R3c(D^6_{3d})$. $a_0=5,029$, $c_0=13,73$. **Кристалдық құрылымы** корунд құрылымына ұқсас (145-суретте). **Кристалдарының келбеті.** Бос қуыстарда жаралатын қалақша, ромбоэдр және тақташа кристалдарда біршама жиі кездеседі (148-сурет). Әдеттегі пішіндері: ромбоэдрлер $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}4)$, пинакоид $\{0001\}$, гексагон дипирамида $(22\bar{4}3)$ және басқа. Ромбоэдр $\{10\bar{1}1\}$ бойынша полисинтетикалық қосақтары жаралуы салдарынан пинакоид жазықтықтары корундтікі сияқты үшбұрышты айғызбен көмкерілген болады (148-суретте), ал ромбоэдр жазықтықтары $\{10\bar{1}1\}$ – параллель диагональ айғыздалады. Қарапайым қосақтары сирек байқалады, негізінен ромбоэдр және призма бойынша. Пинакоид жағдайына жақын жазықтықтары бойынша кіріккен шамалы қисайған қалақша кристалдарының өзіндік ерекше шоғырлары белгілі («темір раушаны» деп аталады). **Агрегаттары.** Тұтас тығыз жасырын кристалды массаларда, парақша немесе қабыршақ агрегаттарда жиі кездеседі. Радиалталшықты құрылысты ірі бүйрек тәрізді пішіндері «қызыл шыны бас» деген атауға ие (46-суретте). Өте көптеген жағдайларда майда тозаң түрінде таралған сусыз темір окисі жекелеген минералдар мен таужыныстарды қанық қызыл түске бояйды. Мысалы, қоңыр-қызыл яшма (кремнийлі таужыныс), қызыл мәрмәр, қызыл сазды тақтатас осындай.



148-сурет. Гематит кристалдары: $n\{22\bar{4}3\}$, $r\{10\bar{1}1\}$, $s\{02\bar{2}1\}$, $c\{0001\}$

Түсі. Гематиттің кристалды түрлестері темір-қарадан болат-сұрға дейін. Өте жұқа қалақшаларда ол қою қызыл түсте жарық өткізе алады. Жер тәрізді, тозаң сияқты түрлестері ашық-қызыл түсті болады. **Сызық түсі** шие-қызыл. **Жылтырлығы** металшадан шала металшаға дейін. Кейде көкшіл құлпырым

байқалады. Өте жұқа қалақшаларда ғана шаламөлдiр. $Nm=3,01$ және $Np=2,78$ (Li-жарық үшін).

Қаттылығы 5,5–6. Морт, осыған байланысты қалақшалардан тұратын агрегаттарында жалған төмен қаттылық жиі бiлiнедi. **Жiктiлiгi** жоқ. Ромбоэдр $\{10\bar{1}1\}$ бойынша iрi дербестiк тән. **Меншiктi салмағы** 5–5,2.

Диагноздаушы белгiлерi. Өзiне ұқсас минералдардан (ильменит, магнетит, гетит және басқа) шиe-қызыл сызық түсi, жоғары қаттылығы, қалақша немесе қабыршақ агрегаттары және магниттiлiгiнiң болмауы бойынша бiршама оңай айрықшалаанады.

НСI қышқылында өте баяу еридi.

Жаралуы және кенорындары. Гематит тотығу жағдайларында сан килы генетикалық типтi кенорындар мен таужыныстарда жаралады. Оның жаралу температурасы кең ауқымда ауытқиды, ал бiрақ жоғары температурада ол орнықсыз.

1. Ол кейде *интрузиялық таужыныстарда*, негiзiнен қышқылдыларда (гранитте, сиенитте, андезитте және басқаларда) құрамдас бөлiгi ретiнде өте мардымсыз мөлшерде болады. Пегматиттерде процестiң гидротермалық сатысында жаралған минерал ретiнде бiршама сирек кездеседi.

2. Кейбiр *гидротермалық кенорындарда* ол елеулi массаларда кварцпен, баритпен, кейде магнетитпен, сидеритпен, хлоритпен және басқа минералдармен бiрлестiкте кездеседi. Оның ақыр соңында магнетитке дейiн тотықсыздану құбылысы бiршама жиi байқалады. Бiрақ басқа жерлерде керi процесс анықталады: магнетиттiң гематитке айналуы (мартиттену процесi). Мұнда бұл құбылыс тотығу-тотықсыздану әлеуетiнiң осы минералдардың гидротермалық ерiтiндiлерден түзiлгеннен кейiн өзгеруiне байланысты.

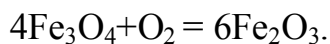
3. *Жанартау эксгаляцияларының* (газ бөлiнiмдерiнiң) өнiмi ретiнде әдетте шамалы мөлшерде кристалдар мен жұғындылар түрiнде жанартау кратерлерiнiң қабырғасында және лаваның жарықшақтарында кездеседi. 1817 жылы Везувийде жарықшақтардың бiрiнен 10 күн бойы осындай жолмен қалыңдығы 1 метрдей гематит массасы түзiлген. Оның темiрдiң хлорлы қосылыстары құрғауының ыдырау нәтижесi болуы әбден ықтимал.

4. *Мору қыртысында* құрғақ ыстық климат жағдайларында гематит пен гидрогематит бастапқыда жаралған темiр гидроокиселдерiнiң дегидратациясы нәтижесiнде пайда болады. Бұл қайтымсыз өту жасанды жолмен гетиттi бiртiндеп сусыздандыру кезiнде оңай дәлелденедi. Көбiнесе бұл минералдар алюминий гидроокиселдерi диаспормен және бемитпен бiрлеседi (темiрлi ашық-қызыл бокситте).

Гематит-гидрогематит жаралымдардың бүйректерiнiң бетi тегiс жалтыр сферолит пiшiндерi белгiлi («қызыл шыны бас»), олар концентрлi-қабықшалы құрылысқа және тiкeнeк омырылымға ие. Жекелеген концентрлi зоналары гематиттiң, кейде гидрогематиттiң, ал кейде гетиттiң радиал-талшық массаларынан тұрады. Олардың жаралу жағдайлары жеткiлiксiз зерттелген.

Сонымен, мынаны айту керек – ыстық климатты елдерде магнетит кенорындарының жоғарғы белдемдерiнде көбiнесе мартиттену кең бiлiнедi,

яғни тотыққан магнетит массалары гематит массаларына мынадай реакция бойынша айналады:



5. *Аймақтық метаморфизм* процестері кезінде жоғары температура мен жоғары қысым жағдайларында гематит көбінесе аса үлкен массаларда қошқыл теміртастың шөгінді кенорындарында оның дегидратталу жолымен пайда болады. Атап айтқанда оолиттік қызыл теміртас, темір слюдкалы тақтатас және кварцит қабатшалары мен майда қабыршақты тығыз гематиттің ара кезек алмасуынан тұратын темірлі кварцит осындай. Мұндай кварциттерде кейде гематит-магнетиттің тұтас рудаларынан тұратын өлшемі бойынша зор кен денелері болады.

Гематит темірдің жоғары окиселі ретінде тотығу белдемінде химиялық төзімді минерал болып табылады. Кейде гематит массаларының тек физикалық мору (дезагрегация) құбылысы байқалып, «темір қаймағы» жаралады. Оның кристалды түрлестерінің гидроокиселдерге айналуы өте сирек және ерекше айрықша жағдайларда ғана, сондай-ақ өте мардымсыз масштабта анықталады.

Россияда жоғары сапалы гематит-магнетит рудаларының ең ірі кенорындары, мысалы *Михайловское* мен *Яковлевское*, Курск магнитті аномалиясы (КМА) ауқымында прекембрий темірлі кварцитінде орналасады. Бұл кварциттер бастапқы шөгінді темірлі қатқабаттарының аймақтық метаморфизмі нәтижесінде қалыптасып, көп дүркін күрт қатпарларға жиналған. Осы формация рудалары *Кривой Рогта* да бар (Украина).

Гидротермалық кенорындарының мысалына *Кутим* (Солтүстік Орал) жатады, оның рудалары палеозой доломитінде жатады және кей жерлерінде магнетитке айналған ірі қалақша гематиттің кристалды массаларынан тұрады. Оолиттік қызыл теміртастар қабатты жатындар түрінде Ортаңғы Оралдың батыс беткейінде таралған – *Куса-Александровск* және *Пашийск* аудандары. Мартит рудасы елеулі мөлшерде Оралдың бірқатар ірі магнетит кенорындарының жоғарғы зоналарында кездеседі: *Магнитті*, *Биік* таулары (Төменгі Тагилдің маңында) және басқалар. «Темір раушандары» типті кірікпелері Приполярье Оралының кейбір хрустальді желілерінде байқалған.

Шетелдік кенорындардан *Жоғарғы көл* (АҚШ) ауданы және *Итабири* (Минас-Жейрас штаты, Бразилия) прекембрий метаморфталған қатқабаттарындағы өте ірі кенорындарын айтамыз. Минералогиялық жағынан *Эльба* көліндегі жапсарлық-пневматолиттік кенорны қызығушылық туындатады, көптеген минералогиялық музейлерге қойылған темір жалтырының тамаша кристалдары осы жерден шыққан. «Темір раушандары» Альпінің бір қатар жерлерінде кездеседі (Сен-Готтард және басқа).

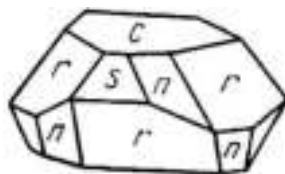
Практикалық мәні. Гематит рудасы ең маңызды темір кендеріне жатып, одан шойын мен болат қорытылады. Олардың экономикадағы және өнеркәсіптегі мәні жалпыға белгілі. Тұтас гематит рудасындағы темірдің мөлшері әдетте 50-ден 65 %-ке дейінгі аралықта өзгереді. Ұнтақ гематиттің

таза түрлестері бояу ретінде және қызыл қарындаштар даярлау үшін қолданылады.

ИЛЬМЕНИТ – FeTiO_3 немесе $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$. Атауы Ильмен тауларынан (Оңтүстік Орал) шыққан, бұл минерал алғаш рет осында анықталған. Синонимі: титанды теміртас.

Химиялық құрамы: %: Fe – 36,8; Ti – 31,6; O – 31,6. Изоморфтық қоспалары ретінде Mg, көбінесе айтарлықтай мөлшерде (пикроильменит), кейде Mn (бірнеше процентке дейін), сондай-ақ Cr, Al және V болады. Үзіліссіз изоморфты қатарлары болады: FeTiO_3 – MgTiO_3 (*гейкилит*) және ықтимал қатар FeTiO_3 – MnTiO_3 (*пирофанит*), ал жоғары температурада Fe_2O_3 -пен де қатары анықталады (гемоильменит).

Сингониясы тригондық; симметрия түрі ромбоэдрлік L^3_6C . Кеңістіктік тобы $R3(C^2_{3i})$. $a_0=5,083$; $c_0=14,01$. **Кристалдық құрылымы** корунд құрылымына ұқсас, одан айырмашылығы, Al орнын әр қабаттан кейін кезектесіп Fe^{2+} , Ti^{4+} алады. Мұндай әр текті иондармен ауысу құрылым симметриясының төмендеуіне әкеледі. **Кристалдарының келбеті** қалың тақташа (*149-сурет*), ромбоэдр, кейде қалақша. Ең көп байқалатындар келесі пішіндер: пинакоид $\{0001\}$, ромбоэдрлер $\{10\bar{1}1\}$, $\{02\bar{2}1\}$, $\{22\bar{4}3\}$ және басқалар. Қосақтары $\{10\bar{1}1\}$ ромбоэдр бойынша. Әдетте бұрыс пішінді сеппе түйірлер түрінде кездеседі, кейде тұтас түйірлі массаларда. Ильменит микроскоп астында қалақша бөлінімдер түрінде гематиттің кейбір түрлестерінде қатты ерітінділердің ыдырау өнімі ретінде анықталады. Бірақ ол көбінесе титанмагнетит деп аталатындарда және кейде авгиттің кейбір титанды түрлестерінде және басқа минералдарда сол қатты ерітінділер ыдырауының өнімдері ретінде байқалады.



149-сурет. Ильменит кристалы: $c\{00\bar{0}1\}$, $n\{22\bar{4}3\}$, $r\{10\bar{1}1\}$, $s\{02\bar{2}1\}$

Түсі. Ильменит темір-қара немесе күңгірт болат-сұр. **Сызық түсі** көбінесе қарадан күңгірт-сұрға дейін, кейде қошқыл немесе қошқыл-қызыл (құрамында кірінділер түрінде гематит бар түрлестері үшін). **Жылтырлығы** шала металша. Беймөлдір.

Қаттылығы 5-6. **Жіктілігі** ромбоэдр $\{10\bar{1}1\}$ бойынша жетімсіз, омырылымы бейтегіс және шала ұлуша. **Меншікті салмағы** 4,72. Ферромагнитті емес, гемоильменит шамалы магнитті.

Диагноздаушы белгілері. Гематитке ұқсас. Кристалдарында олардың пішіндері бойынша ажыратылады (тек ромбоэдрлер ғана болады, гексагон дипирамидалар мен скаленоэдрлер жақтары жоқ). Тұтас массаларда гематиттен сызық түсі және нашарлау жалтырлығы бойынша ажыратылады.

Ұнтақта концентрленген HCl қышқылында қиын ериді, титан окисін бөліп шығарады. KHSO_4 бірге балқытқан соң қайнатқан кезде, қалайымен

көкшіл-күлгін ерітінді береді де сумен сұйылтқан кезде қызғылт тартады (титанға реакция).

Жаралуы және кенорындары. Кимберлитте сеппелер ретінде пикроильменит кездеседі, ол алмастың механикалық шашылу ореолдары бойынша түбірлік кенорындарын ашуға мүмкіндік беретін минерал-индикаторлардың бірі болып табылады. Ильменит сеппелік түрінде негізді интрузиялық таужыныстарда (габбро, диабаз, пироксенит және басқа) көбінесе магнетитпен бірлестікте кездеседі, сондай-ақ сілтілі таужыныстарда да. Ол елеулі мөлшерде, кейде кейбір типті пегматиттерде (сиенитті) далашпаттармен, биотитпен, ильменрутилмен және басқалармен бірлестікте байқалады.

Ильменит гидротермалық өзгерген интрузиялық таужыныстарда әдетте ыдыраған күйде байқалып, лейкоксен деп аталатынға айналады. Ильмениттің гематитпен және рутилмен ильменит кристалдарының сыртқы пішінін сақтай отырып ыдырау жағдайлары де белгілі.

Россияда ильменит кристалдары кейде айтарлықтай өлшемде *Ильмен* және *Вишневые горы* тауларында Миасс қаласы маңында (Оңтүстік Орал) сиенит-гнейс арасындағы пегматиттерде кездеседі. Ол титанмагнетиттегі кірінділер түрінде көптеген кенорындарда кеңінен таралған.

Жер беті жағдайларында ильменит біршама төзімді және ары қарай тасымалдануға ұшырайды да аллювийде жиналады, әсіресе жағалау-теңіз шашылымдарында рутилмен, цирконмен және басқалармен бірге (58-суретте).

Шетелдік кенорындардан норвегиялықтарды атаймыз: *Экерзунд-Зоггендаль* нориттегі желілер түрінде (негізді интрузиялық таужыныста), Крагере – мұнда салмағы 6-7 кг ірі кристалдар кездеседі, және басқа кенорындар.

Практикалық мәні. Титанның басты рудасы болып табылып (оның көп бөлігі шашылымдардан өндіріледі), TiO_2 түрінде ақ бояу ретінде пайдаланылады (титанды ағартқышы жоғары жабушы қабілетке ие), сондай-ақ құрамында 10-15% Ti бар темір қорытпасын – ферротитанды алу үшін, болаттың айрықша сорттарын даярлау үшін және басқа мақсаттарда.

Металл титанның жоғары температураға төзімділігі, коррозияға беріктігі, пісірілуге қабілеттілігі және төмен меншікті салмағы оны авиация өнеркәсібі үшін айрықша құнды шикізат етеді.

5. Браунит тобы

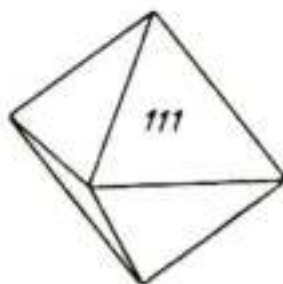
Мұнда Mn окиселдері жатады, бір бөлігінде Fe болады, кристалдық құрылымы бойынша корунд тобы минералдарынан айтарлықтай айрықшалаанады.

БРАУНИТ – $Mn^{2+}Mn^{3+}_6SiO_{12}$. Кейде қысқартылған формуласы басқаша стехиометриясымен жазады: Mn_2O_3 .

Химиялық құрамы: MnO – 44,8 %, MnO_2 – 55,2 %. Браунитте көбінесе темір анықталады, кейде 10 % және одан да көп. Спектроскопия сондай-ақ B

және Ва бар екенін көрсетеді. Соңғы элемент мүмкін брауниттің әдеттегі серігі баритпен байланысты болуы.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^44L^25PC . Кеңістіктік тобы $I4/acd(D_{4h}^{20})$. $a_0=13,44$; $c_0=18,93$. Құрылымы координациялық субқабатты. Оттектің ақаулы, өте күшті бұрмаланған кубтық ең тығыз жайласуы түрінде бола алады. Мұнда оттектің октаэдрлері әр қабатты толтырады: бір қабатта тек қана Mn^{3+} , ал басқа қабатта Mn^{3+} октаэдрлерімен қатар бұралған Mn^{2+} кубтары мен Si^{4+} тетраэдрлері орналасады. **Кристалдары** октаэдрлік келбет қабылдайды (*150-сурет*); октаэдрлерге бұрыштары бойынша жақындасатын тетрагондық дипирамида кейде призманың және пинакоидтың жақтарымен комбинацияда болады. Көбінесе түйірлі агрегаттарда байқалады.



150-сурет. Браунит кристалы

Түсі. Браунит қарадан сұрға дейін, қоңырқай реңді. **Сызық түсі** қошқылдан қоңырға дейін. **Жылтырлығы** шала металша. Беймөлдір.

Қаттылығы 6. Жіктілігі $\{111\}$ бойынша байқалады. **Меншікті салмағы** 4,7–5. Беймагнитті.

Диагноздаушы белгілері. Марганецтің көптеген қара минералдарына ұқсас. Оған жоғары қаттылық, қоңырқай-қара сызық түсі тән. Жылтырланған шлифтерде микроскоп астында және рентгенметрлік жолмен анық анықтала алады.

Бура Mn реакциясын береді. HCl қышқылында қиындау еріп, ерітіндіде хлор және сүзбе тәрізді кремнийтотық бөлінеді. HNO₃ қышқылында MnO және MnO₂ (түнбада) ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Тотықсыздану жағдайларында пайда болады, бірақ тотықсыздану-тотығу потенциалының белгілі бір мәндері ауқымында ғана орнықты. Басымдау тотықсыздану жағдайында гаусманитпен MnMn₂O₄ алмасады. Кейбір *жапсарлық-метасоматоздық* кенорындарда, сонымен қатар *гидротермалық* желілерде марганец пен темірдің әр түрлі минералдарымен, баритпен, кварцпен және басқалармен бірлестікте кездеседі. Елеулі массаларда *аймақтық-метаморфталған* марганецтің шөгінді кенорындарында (гондит формациясы) таралған.

Браунит тотығу белдемінде төзімсіз: біртіндеп жоғары валентті Mn-ке тотығады да псиломеланға, ал содан кейін оттекті ортада орнықтылау пиролюзитке (MnO₂) айналады.

Оралда (Төменгі Тагильдің маңында) әктастағы гидротермалық *Сапала* кенорны белгілі, мұнда браунит гаусманитпен, гематитпен, магнетитпен,

якобситпен, Fe мен Pb сульфидтерімен және басқалармен бірлеседі. Сондай-ақ ол *Поперечное* кенорнында да белгілі (Хабаровск өлкесі). Үлкен массаларда Орталық Қазақстанның бірқатар метаморфталған шөгінді кенорындарында табылған: *Жезді* (Қарсақпай кенді ауданы) кенорнында ол тұтас түйірлі агрегаттар түрінде және де гидротермалық жаралымды шағын желілерде; *Қаражал* кенорны (Атасу кенді ауданы) және басқа.

Шетелдерде Индияның, Бразилияның, Оңтүстік Африканың (Постмасбург) және басқа елдердің ірі метаморфталған кенорындарын көрсету керек.

Практикалық мәні. Браунит рудасы марганец рудаларының ең бастысының біріне жатып, қара металлургияда мартен пештерінде болат балқыту кезінде қосатын ферромарганец қорыту үшін пайдаланылады. Марганецке жұтаң руда домналарда кәдімгі шойын балқыту үшін қоспа ретінде қолданылады.

6. Шпинелидтер әулеті

Типтік құрамы $RO \cdot R_2O_3$ шпинелидтер әулетіндегі минералдар рентгенметрия деректеріне сәйкес оттек қышқылдары ретінде емес, қосарланған окиселдер ретінде қарастырылуы тиіс, яғни алюминаттар, ферриттер және басқалар ретінде емес. Бұл топта изоморфты қоспалар кең таралған. Бірін бірі алмастыратын үш валентті металдар ретінде Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Al^{3+} және Mn^{3+} қатысса, ал екі валенттілер ретінде негізінен Mg^{2+} , Fe^{2+} , кейде Zn^{2+} , Mn^{2+} және өте сирек, әдетте мардымсыз мөлшерде Cu^{2+} , Ni^{2+} және Co^{2+} қатысады, сонымен қатар шпинелидтер құрамында Ti^{4+} болуы мүмкін. Оларға тәні, иондық радиустары үлкен екі валентті иондар – Pb, Sr, Ba, сондай-ақ бір валентті – Na, K бұл топ минералдары құрамында тіпті де қатыспайды. Аталған элементтердің бірлестігіне байланысты минерал түрлерінің үлкен саны ажыратылады; олар кристалл пішіндерінің, физикалық белгілері мен жаралу жағдайлары бойынша көптеген ортақ қасиеттерге ие болады (негізінен жоғары температура мен қысым кезінде пайда болатындықтан).

Олардың басым массасы кубтық сингонияда кристалданып, кристалдары негізінен октаэдрлік келбетте жаралады. Тек кейбіреулері ғана тетрагондық сингонияға жатады, бірақ олардың кристалдарының келбеті де октаэдрлік болады. Осындай химиялық формулаға ие қосылыс – хризоберилл окшау тұрады. Be^{2+} иондық радиусының кішкентайлығы сондай, тіпті бұл қосылыс ромбылық сингонияда кристалданады да айтарлықтай бөлек құрылымға ие болады.

Шпинель тобы минералдарының кристалдық құрылымы біршама күрделі. Оттек иондары октаэдр жақтарына параллель төрт жазықтықта тығыз жайласқан (кубтық ең тығыз жайласу). *Қалыпты* шпинель (*n*-шпинель) құрылымдық типінде екі валентті катиондар (Mg^{2+} , Fe^{2+} және басқа) тетраэдрлік орналасқан оттектің төрт ионымен қоршалған, ал үш валентті катиондар болса (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} және басқа) октаэдр төбелері

бойынша орналасқан оттектің алты ионымен қоршалады. Мұнда оттектің әр ионы бір эквивалентті және үш үшвалентті катионмен байланысқан. 151-суретте AlO_6 -октаэдрлерінен тұратын шпинель $MgAl_2O_4$ құрылымының негізгі мотиві тік төрттік осьте орналасуында бейнеленген. Бұл мотивтің барлық бос бағаналары MgO_4 тетраэдрлерінен тұратын жолақтармен толған. Егер эквивалентті катиондарды А әрпімен, үш валенттілерді В деп белгілесек, онда қалыпты шпинель формуласы, катиондардың координациялық сандарын жоғарғы индекстермен белгілегенде, мынадай түрде жазыла алады: $A^{IV}B^{VI}_2O_4$. Инверсияланған (кері) *i*-шпинель құрылымында катиондардың позициялар бойынша жайласуы мынадай формулаға сай келеді: $B^{IV}(AB)^{VI}O_4$.



151-сурет. Шпинельдің кристалдық құрылымы. Октаэдрлерден тұратын құрылымның негізгі мотиві тік төрттік ось бойынша тұрғызылған (Н.В. Белов бойынша)

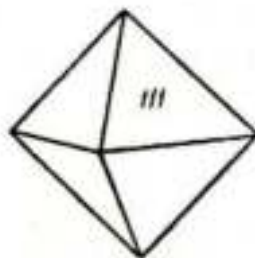
Осылайша, құрылым изометрлі «құрылымдық бірліктердің» - тетраэдрлер мен октаэдрлердің бірлесуімен сипатталады, мұндағы әр төбе бір тетраэдр үшін және үш октаэдр үшін ортақ болады.

Құрылымның осы ерекшеліктері бұл минералдардың оптикалық изотропиясы жіктілігінің болмауы, қосылыстарының химиялық және термикалық төзімділігі, біршама жоғары қаттылығы сияқты және басқа қасиеттерін жақсы түсіндіреді. Шпинельдің құрылымдық типі оттек аниондарының жайласу параметрлерінің және катион позицияларының өлшемдерінің ауытқуына симметриясын бұзбай әкеледі. Бұл осы позицияларға әр түрлі өлшемдерімен сипатталатын катиондарды қабылдауға мүмкіндік беріп, осы әулет минералдарының жоғары изоморфты сыйымдылығын қамтамасыз етеді.

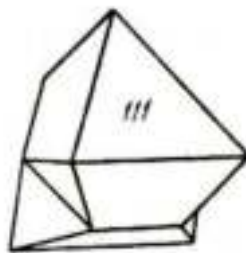
ШПИНЕЛЬ – $MgAl_2O_4$. Атауы латынша *spinella* – тікен, сояу дегеннен кристалдарының пішіні бойынша шығуы мүмкін. Әр түрлі түске әсем боялған мөлдір түрлестері (қызыл, қызғылт, жасыл, көк, күлгін және басқа) асыл шпинель деген атауға ие.

Химиялық құрамы. MgO – 28,2 %, Al_2O_3 – 71,8 %. Мынадай қоспалары байқалады: Fe_2O_3 – бөтелке-жасыл бояу береді (хлорошпинель); FeO , ол Fe_2O_3 бірге қоңыр немесе қара бояу туындатады; кейде ZnO , MnO , Cr_2O_3 . Әулеттің мынадай минералдық түрлерінен тұратын, тіпті төмен температураның өзінде орнықты изоморфты қатарлары білінеді: *ганит* ($ZnAl_2O_4$), *магнезиоферрит* ($Fe^{3+}(MgFe^{3+})O_4$), *галаксит* ($MnAl_2O_4$) және *герцинит* ($Fe^{2+}Al_2O_4$).

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексооктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fd\bar{3}m(O_h^7)$. $a_0=8,86$. **Кристалдық құрылымы** типикалық болып табылады және ол жоғарыда сипатталған (шпинель қалыпты құрылымға ие). **Кристалдарының келбеті.** Шпинель негізінен идиоморфты октаэдр кристалдары түрінде кездеседі (152-сурет), кейде тетрагонтриоктаэдр $\{211\}$ мен ромбододэкаэдрдің $\{110\}$ қосымша жақтарымен, әдетте өлшемдері шағын, бірақ кейде өте ірі даналары (25 см-ге дейін) кездеседі. Қосақтары оттек иондарының ең тығыз жайласу (111)-жазықтықтары бойынша тән. Осыдан келіп «шпинель заңы бойынша» деген қосақталу атауы шыққан (153-сурет).



152-сурет. Шпинель кристалы. Жалпы барлық шпинельдер үшін әдеттегі пішіні



153-сурет. «Шпинель заңы» бойынша қосақ

Түсі. Түссіз түрлері сирек байқалады, шпинель көбінесе әр түрлі түске, негізінен раушан-қызыл және көк-жасыл реңдерге боялған. Қара түрлесі (темірдің мөлшері жоғары) плеонаст деп аталады. **Жылтырлығы** шыныша. Оптикалық изотропты. $N=1,718-1,75$.

Қаттылығы 8. Қоспалары Fe_2O_3 және Cr_2O_3 оның қаттылығы 7,5–7-ге дейін төмендетеді. **Жіктілігі** $\{111\}$ бойынша жетік емес. **Меншікті салмағы** 3,5–3,7 (шпинель тобы минералдарында ең төменгі). Балқу температурасы $2150^{\circ}C$.

Диагноздаушы белгілері. Шпинельге өте тән белгілерге кристалдарының октаэдрлік келбеті және жоғары қаттылығы жатады. Минерал ұнтағын микроскоп астында үйектелген жарықта зерттеу изотропты шпинельді оған ұқсас қосшағылыстырушы, бояулары бірдей және пішіндері бойынша ұқсас корунд түрлерінен қиындықсыз ажыратуға мүмкіндік береді. Шпинель тобындағы басқа минералдардан ол ең төмен меншікті салмағы бойынша айрықшалаынады.

Қышқылдар әсер етпейді.

Жаралуы және кенорындары. Шпинельдер өте жиі жапсарлық-метасоматоздық жаралымдары доломит пен магнийлі әктас арасында оларға магма флюидтерінің жоғары температурада әсер етуі нәтижесінде кездеседі. Олармен парагенезисте жаралатын карбонаттарға бай Са және Mg магнезийлі скарндарда – кальцифирлерде дәл осындай жаралымды әр түрлі минералдар байқалады: форстерит, пироксендер (әдетте диопсид немесе энстатит), амфиболдар (тремолит), флогопит, құрамында фтор бар силикаттар (гумит топтары) және басқалар.

Кейде *пегматиттерде және магмалық таужыныстарда* кездеседі. Оның сондай-ақ тереңдік күшті метаморфталған таужыныстарда – гнейс пен кристалды тақтатастарда табылымдары белгілі.

Жер беті жағдайларында шпинель нағыз төзімді және сондықтан шашылымдарда жиі кездеседі.

Асыл шпинельдің қандай да бір елеулі кенорындары Россияда әзірше анықталмаған. Оның изумруд-жасыл бояулы жекелеген даналары Қошқар ауданында (Оңтүстік Орал) *Каменка* өзені шашылымдарында табылған. Оның басқа әсемтастармен бірге осы ауданда таралған пегматиттердің қирауы кезінде жаралғаны көрінеді. Содан соң қызғылт, көк және күлгін бояулы шпинель Прибайкальде *Слюдянка* төңірегінде табылған. Қара шпинель (плеонаст) ірі кристалдарының мол сеппесі форстеритпен және флогопитпен бірге *Гоновское, Канку және Каталах* кенорындарының кальцифирінде байқалады (Алдан, Сақа Республикасы). Герцинит көк корунд төңірегіндегі қара жиектер түрінде содалитпен, плагиоклазбен және биотитпен бірге Хибиндегі *Лопар* асуы ауданында табылған (Кола түбегі).

Асыл қызғылт шпинельдің ірі кенорны *Кухи-Лал* Оңтүстік Батыс Памирде орналасқан (Тәжікстан, Ауғанстанмен шекарасы маңында). Асыл қызыл шпинельдің өте ірі кенорындары Цейлон және Борнео аралдарында (алтынды шашылымдарда), сонымен қатар Бирмада, Таиландта, Ауғанстанда және басқа жерлерде белгілі.

Практикалық мәні. Асыл тас ретінде тек нағыз мөлдір, жарықтары жоқ кристалдары ғана тұтынылады. Өндіру әдетте алтын өндірісіне немесе әсемтастарға (жақұтқа) ілеспе ретінде жүргізіледі. *Могок* (Солтүстік Бирма) жақұт (рубин) кеніштерінде асыл шпинель жыл сайын 10 000 карат шамасында рубинмен (50 000 каратқа дейін) ілеспе ретінде өндірілген. Түбірлік таужыныстарда ірі шоғырлары белгісіз.

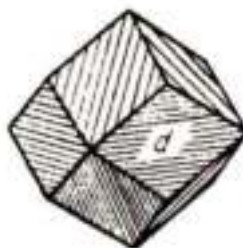
МАГНЕТИТ – $Fe^{3+}(Fe^{2+}Fe^{3+})O_4$, $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$ немесе тіпті Fe_3O_4 деген қысқартылған формулалары да қолданылады. Минерал атауының шығу тегі анық емес. Шамалау бойынша, оның атауы Магнезия мекеніне (Македонияда) немесе Магнес деген қойшының атына байланысты. Осы Магнес таяғының темір ұшына және етігінің темір шегелеріне тартылған табиғи магнетитті алғаш табушы деп есептеледі. Синонимі: магнитті теміртас.

Химиялық құрамы. FeO – 31 %, Fe_2O_3 – 69 %. Әдетте құрамы бойынша біршама таза болады. Түрлестері: титанмагнетит (дұрысы Ті-магнетит деп жазған, яғни титанды магнетит), құрамында жоғары температурада

ульвёшпинельдің магнетиттегі қатты ерітіндісі түрінде TiO_2 болады (бірнеше процентке дейін). Ульвёшпинель магнетит матрицасында қатты ерітінді ыдыраған кезде отырады да ары қарай әдетте ильменитке дейін тотығады. Көптеген титанмагнетиттер үшін *қулсониттің* $Fe^{2+}V^{3+}_2O_4$ айтарлықтай қоспасы болуы тән, ол мұндай түрлерінін ванадийдің өнеркәсіптік маңызды көзі етеді. Құрамында Cr_2O_3 бар (бірнеше процентке дейін) Cr-магнетит белгілі. Кейде MgO (Mg-магнетитте 10%-ке дейін), Al_2O_3 (15%) және басқаларға бай түрлерінін кездеседі. Осы жерде табиғатта біршама сирек кездесетін кубтық сингониядағы темірдің ферромагнитті окисі $\gamma-Fe_2O_3$ туралы айта кету керек, ол *маггемит* деген атауға ие (магнетит пен гематит сөздерінін бастапқы буындарынан).

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік. $a_0=8,374$. **Кристалдық құрылымы** инверсияланған шпинельдің құрылымы болып табылады, ол жоғарыда келтірілген формуласында да көрсетілген.

Кристалдарының келбеті. Жиі байқалатын кристалдары октаэдрлік, кейде ромбододекаэдрлік кейіпке ие (*154-сурет*). $\{110\}$ жақтары көбінесе ромбтардың ұзын диагоналіне параллель штрихтермен көмкерілген болады. Базальт шынысында микроскоп астында өте ұсақ детриттер түрінде анықталады. Қосақтары (111) бойынша. **Агрегаттары.** Көпшілігінде тұтас түйірлі массаларда немесе интрузиялық, басым жағдайда негізді таужыныстарда кездеседі. Қуыстарда кристалдар друзасын кездестіруге болады.



154-сурет. Магнетит кристалы, $q\{110\}$ Златоуст маңындағы Ахматов кеніші (Оңтүстік Орал)

Түсі. Магнетит темір-қара, кейде кристалдарында көкшіл құлпырым болады. **Сызық түсі** қара. **Жылтырлығы** шала металша. Беймөлдір.

Қаттылығы 5,5–6. Морт. **Жіктілігі** жоқ, бірақ магнезийлі магнетитте $\{111\}$ бойынша айқын дербестік жиі байқалады. **Меншікті салмағы** 4,9–5,2. **Басқа қасиеттері.** Күшті магнитті, кейде полюсті. Қызарғанша қыздырғанда ($580^{\circ}C$ шамасында, Кюри нүктесі деп аталатынға дейін) магнетизм кенет ғайып болады, бірақ салқындаған кезде қайта пайда болады.

Диагноздаушы белгілері. Оған сыртқы түрі бойынша ұқсас минералдардан (гематит, гетит, гаусманит, хромит және басқа) магниттілігі мен қара сызығы бойынша әдетте оңай анықталады және айрықшаланады, бірақ шпинель тобының сирек кездесетін темір закисі мен окисіне бай басқа минералдық түрлерінен: *хромиттен* ($Fe^{2+}Cr^{3+}O_4$), *якобситтен* ($Fe^{3+}(Mn^{2+}Fe^{3+})O_4$) және басқалардан әрдайым оңай ажыратыла бермейді.

Бурада және фосфор тұзында темірге әсер етеді (бөтелке-жасыл шыны). HCl қышқылында ұнтақ сияқты күйінде ериді.

Жаралуы және кенорындары. Магнетиттің гематиттен айырмашылығы, ол тотықсыздануы жоғарылау жағдайларда жаралып, кенорындар мен таужыныстардың сан қилы генетикалық типтерінде кездеседі.

1. *Магмалық таужыныстарда* ол әдетте сеппелік түрінде байқалады. Негізді таужыныстармен (габбро) көбінесе титанмагнетиттің магмалық кенорындарымен байланысты болып, бұрыс пішінді шоғырлар мен желілер түрінде кездеседі.

2. Шамалы мөлшерде ол көптеген *пегматиттерде* биотитпен, сфенмен, апатитпен және басқа минералдармен парагенезисте болады.

3. *Жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда* ол жиі аса елеулі рөл атқарады да анартастармен, пироксендермен, хлориттермен, сульфидтермен, кальцитпен және басқа минералдармен сүйемелденеді. Эктастардың гранитпен және сиенитпен жапсарында жаралған ірі кенорындары белгілі.

4. Магнетит ілеспе серік ретінде *гидротермалық кенорындарда* негізінен сульфидтермен (пирротин, пирит, халькопирит және басқа) бірлестікте кездеседі. Біршама сирек ол дербес кенорындарды сульфидтермен, апатитпен және басқа минералдармен бірлестікте жасайды. Россияда осы типті ең ірі кенорындар Сібірдің Ангара-Илим ауданында белгілі.

5. *Экзогендік* жағдайларда магнетит жаралымы тек өте ерекше жағдайларда ғана жүре алады. Магнетит түйірлерінің қазіргі теңіз ұйығында болуы, олардың құрлықтан тек сынықты материал түрінде тасылуы нәтижесінде ғана емес, сондай-ақ темір гидроокиселдері арқылы ыдыраушы органикалық заттардың тотықсыздандырушы ықпалынан орнындағы жаңа жаралымдар болуы деген ұйғарым бар.

6. *Аймақтық метаморфизм* кезінде магнетит, гематит сияқты, шөгінді таужыныстарда, бірақ тотықсыздану жағдайларында (оттек жеткіліксіз болғанда) экзогендік процестерде пайда болады. Осындай текті жаралымдарға өлшемдері бойынша ірі, метаморфталған шөгінді қатқабаттар арасында кездесетін көптеген кенорындар жатады.

Тотығу белдемінде ол біршама төзімді минерал болып табылады. Ол таужыныстар механикалық қираған кезде өзінің серіктерінен босап шығады да барлық жерде шашылымға өтеді. Алтынды құмды жуған кезде алынатын кара шлихте магнетит негізгі бөлігі болады.

Морыған кезде ол гидратацияға, яғни темір гидроокиселдеріне айналуға қиын беріледі. Бұл процесс сирек байқалады және біршама өте мардымсыз өлшемде.

Мартиттену құбылысы (гематиттің магнетит бойынша псевдоморфозаларының жаралуы) ыстық климат белдемдерінде байқалады. Магнетиттің шектеулі білінетін мартиттенуі сондай-ақ гидротермалық және метаморфталған кенорындарда экзогендік процестермен ешқандай байланыссыз жүретіні анықталады.

Россияның көптеген кенорындары ішінде тек жекелеген мысалдарды ғана келтіреміз.

1. Магмалық кенорындар санына титанмагнетиттің *Куса* кенорны жатады, оның құрамында жоғарылау мөлшерде ванадий де бар (Оралда, Златоусттан солтүстікке қарай 18 км). Бұл кенорын тұтас руда желілерінен тұрып, олар габбро формациясының өзгерген түпнұсқа интрузиялық таужыныстары арасында жатады. Мұнда магнетит ильменитпен және хлоритпен тығыз бірлеседі. Оңтүстік Оралда Ті-магнетиттің *Копан* кенорны өндірісте.

2. Жапсарлық-метасоматоздық кенорындар мысалына белгілі *Магнитті* тауы (Оңтүстік Орал) жатады. Қуатты магнетит жатындары гранит магмасының әктасқа әрекетінен жаралған анартас, пироксен-анартас және анартас-эпидот скарндары арасында орналасады. Кен жатындарының кейбір бөлікшелерінде магнетит бастапқы гематитпен бірлеседі. Тотығу белдемінен төмен жататын руда құрамында сульфидтер сеппесі болады (пирит, кейде халькопирит, галенит және басқа).

Мұндай кенорындар қатарына жататындар: Оралдағы *Высокая* тауы (Төменгі Тагил маңында), *Благодать* тауы (Кушвин ауданында); *Коршуновское* (Забайкальеде); Қазақстанның Қостанай облысындағы кенорындар тобы (*Соколов*, *Сарыбай*, *Қашар*, *Қоржынкөл*); *Дашкесан* (Әзірбайжан) және басқалар.

3. Өте ірі *Кривой Рог* (Украина) *аймақтық-метаморфталған* шөгінді кенорындар қатарына жатады. Қабатты темірлі кварцит қатқабатында нағыз қабаттық жатындардан басқа тұтас темір рудасы сондай-ақ бағана тәрізді жатындардан тұрып, олар көлденең қимасында линза тәрізді пішінде айтарлықтай тереңге кетеді. Генезисі бойынша осындай кенорындар қатарына жататындар: *Курск магнитті аномалиясы* (Курскден оңтүстік-шығысқа қарай). Терең метаморфталған темірлі кварциттер сондай-ақ Кола түбегі кенорындарында (*Оленогорское*) және Батыс Карелияда (*Костомукша*) белгілі.

Шетелдіктерден өте ірі *Кирунаваара* және *Люоссаваара* кенорындарын (Швецияда) атаймыз. Олар вулканииттердің метаморфталған қатқабатында қуатты желі тәрізді денелер түрінде жатып, магнетит мұнда апатитпен бірлеседі. АҚШ-та магнетит-гематит рудаларының зор кенорындары *Жогарғы көл* ауданында өте көне метаморфталған тақтатастар арасында орналасқан, Лабрадорда (Ньюфаундленд) және басқа жерлерде бар.

Практикалық мәні. Құрамында кбінесе 60 % шамасында Fe болатын магнетит рудалары шойын мен болат қорыту үшін ең маңызды шикізат болып табылады. Рудада зиянды деп есептелетіндер – фосфор, оның мөлшері балқытудың бессемеров тәсілінде 0,05 % шамасынан аспауы керек, ал сапалы металл алу үшін 0,03 % болады, және күкірт, оның шектік максимал мөлшері 1,5 %-тен аспауы тиіс. Руданы Томас тәсілі бойынша балқытқан кезде фосфордың мөлшері 0,61 %-тен төмен болмауы және 1,5 %-тен аспауы тиіс. Бұл тәсілде фосфор қожға өтіп, ал алынған фосфорлы қож томасқож деп аталады да тыңайтқыш ретінде пайдаланылады.

Титанмагнетит рудаларын балқытқан кезде қождан ванадий айырып алынып, ол сапалы болат әзірлеу үшін үлкен мәнге болады. Ванадийдің бесокисі және де химия өнеркәсібінде, ал бояушы ретінде керамикада және басқа мақсаттарда пайдаланылады.

Хромшпинелидтер жалпы формуласы – $(\text{Fe,Mg})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$, *n*-типті шпинель құрылымының октаэдрлік позицияларында хромның басым болуымен сипатталады. Осыған жататын минерал түрлерінің барлығы табиғатта бірдей жағдайларда кездеседі және сыртқы белгілері бойынша бір-біріне ұқсастығы сондай, іс жүзінде химиялық талдаусыз құрамы бойынша сан қилы түрлерді ажырату мүмкін емес. Барлау және кен ісі практикасында олардың барлығы жай ғана хромиттер деп аталады. Құрамы бойынша мынадай басты минерал түрлері ажыратылады: дербес хромит FeCr_2O_4 (таза күйінде метеориттерде кездеседі, жер қыртысында өте сирек), магнохромит MgCr_2O_4 , оның түрлестеріне тиісінше алюмохромит $\text{Fe}(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$ және хромпикотит $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$ жатады. Алғаш хромит акад. Т. Ловицке 1797 жжылдың өзінде белгілі болған.

Химиялық құрамы. Cr_2O_3 мөлшері ең жиі кездесетін хромшпинелидтерде аса кең ауқымда ауытқиды: 18-ден 62 % аралығында, FeO 0–18 %, MgO 6-16%, Al_2O_3 0-33 %, Fe_2O_3 2-30 %. Сонымен қатар изоморфты қоспалар түрінде кейде кездесетіндер: TiO_2 2%-ке дейін, V_2O_3 0,2%-ке дейін, MnO 1 %-ке дейін, ZnO – бірнеше бірлікке дейін, NO – ондық бөліктерге дейін, CoO – проценттің жүздік бөліктеріне дейін.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. $a_0=8,305$. **Кристалдық құрылымы** шпинельге ұқсас. **Кристалдарының келбеті.** Октаэдрлік ұсақ кристалдар түрінде кездеседі. Әдетте жұмырланған немесе онша дұрыс пішінді емес түйірлерде және тұтас түйірлі агрегаттарда байқалады.

Түсі. Хромшпинелидтер қара. Жұқа шлифтерде жартылай мөлдір немесе қанық қызыл, болмаса қоңыр-қызыл түсті жарық өткізеді. Тек Fe_2O_3 бай түрлестері ғана нағыз беймөлдір болады. **Сызық түсі** қоңырқай, көбінесе сұрғылт, сұр-қоңыр, кейде зәйтүн реңді болып келеді. **Жылтырлығы** шала металшадан алмасшаға дейін. $N = 2,07-2,16$.

Қаттылығы 6–7,5. **Жіктілігі** жоқ. **Меншікті салмағы** 4-4,8. **Басқа қасиеттері.** Құрамында FeO және Fe_2O_3 бар хромшпинелидтер шамалы магнитті қасиеттерге ие. Осы компоненттері мол және Cr_2O_3 шамалы түрлестері күшті магнитті.

Диагноздаушы белгілері. Хромшпинелидтердің жалпы айрықша белгілеріне қара түсі, ультранегізді таужыныстарда (дунит, перидотит және серпентинит) әрдәйім кездесе беретіндігі сондай, оны далалық жағдайларда аталған белгілері бойынша қатесіз анықтауға болады.

Бура немесе фосфорлы тұздар қоспалары салқын күйінде изумруд-жасыл (хромға реакция). Қышқылдарда ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Хромшпинелидтер тек қана дерлік *магмалық ультранегізді* таужыныстарда (дунитте) сеппелік түрінде де, көп бөлігінде бұрыс ұя тәрізді, линза тәрізді және бағана тәрізді пішінді тұтас

шоғырлар түрінде де кездеседі. Онымен бірлесе ұдайы жасылтым түсті серпентин (Mg және Fe гидросиликаты), оливин (форстерит) – $(Mg,Fe)_2SiO_4$, хром ұстамды хлориттер, брусит (кейбір рудаға «ақ шашты» келбет береді), кейде изумруд-жасыл түсті хромды анартас және басқалар байқалады. Ультранегізді таужыныстардың кейбір массивтерінде олармен платина мен осмийлі иридий тобының минералдары парагенезистік байланыста.

Мору белдемінде хромшпинелидтер химиялық төзімді. Тек ыстық климат жағдайларында ғана олар тотығуға және бүлінуге ұшырайды.

Россияда бұл руда кенорындарының басым көпшілігі Оралда орналасқан. Полюс Оралында *Рай-Из* хромит кенорны бар. Басқа белгілі *Сарановск* кенорны Солтүстік Оралда (Бисер бекетінен 6 км жерде) және біршама төмен сапалы тұтас хромит рудасының (темірдің мөлшері жоғары) күрт еңіс жатысты желі тәрізді денелерінен тұрады. Қоры бойынша ірі *Аганозерск* магнохромит кенорны Карелияда орналасқан.

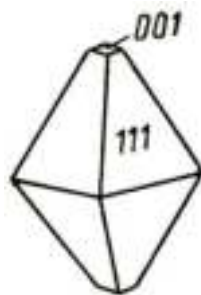
ТМО аумағындағы жоғары сапалы хромит рудасының ең ірі кенорындары Оралдың ең оңтүстік бөлігінің шығыс беткейінде шоғырланған: *Дөң* немесе *Кемпірсай* кенорындары (Қазақстан, Ақтөбе облысы). өлшемдері шағын кенорындар Закавказьеде белгілі: *Шорджа*, *Гейдар* және басқа (Севан көлінің шығыс жағасында және одан оңтүстік-шығысқа қарай Арменияда).

Шетел кенорындарынан *Родезия* (Оңтүстік-шығыс Африка), *Жаңа Каледония*, *Түркия*, *Куба* және басқа елдер кенорындарын айту керек.

Практикалық мәні. Хромит рудасы хромды және хромникельді болатын жоғары сапалы арнайы сорттарын қорыту үшін қоспа ретінде пайдаланылатын феррохром алу үшін жалғыз шикізат болып табылады. Одан бөлек, металл өнеркәсібінде хромдау үлкен мәнге ие, яғни әр түрлі металл бұйымдар оларды коррозиядан сақтау мақсатында металл хроммен көмкеріледі. Хромит рудасының кейбір бөлігі (магнохромит) химиялық өнеркәсіпте әр түрлі төзімді бояулар даярлау үшін, тері илеу ісіне және химиялық препараттар әзірлеуге (хромпиктер және басқалар) кетеді. Металлургияда қолдану үшін магнохромит рудасы темір рудасын қосуды қажет етеді. Cr_2O_3 жұтаң және FeO мен Fe_2O_3 мол төмен сортты тұтас рудалар сондай-ақ оттөзімді кірпіштер даярлау үшін пайдаланылады.

ГАУСМАНИТ – $MnMn_2O_4$. **Химиялық құрамы.** MnO – 62 %, MnO_2 – 38 % (Mn – 72 %). Және де FeO және Fe_2O_3 болады.

Сингониясы тетрагондық. Симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^44L^25PC . Кеңістіктік тобы $I4_1/amd(D_{4h}^{19})$. $a_0=5,75$; $c_0=9,42$. **Кристалдық құрылымы** шпинель сияқты типті, бірақ шамалы тетрагондық бұрмаланған. Әдетте түйірлі агрегаттар түрінде таралған. Кристалдары тек бос қуыстарда ғана кездеседі. **Кристалдарының келбеті** октаэдрлікке жуық (*155-сурет*). (001):(111) бұрышы $58^{\circ}57'$, дұрыс октаэдр үшін $54^{\circ}44'8''$). Қосақтары (112) бойынша жиі. Жылтырланған шлифтерде никольдерді айқастырған кезде шағылысқан жарықта байқалатын полисинтетикалық қосақтары аса тән.



155-сурет. Гаусманит кристалы

Түсі. Гаусманит қара. **Сызық түсі** қоңыр немесе қызғылт-қошқыл. **Жылтырлығы** тотығуға ұшырамаған кристалдарында күшті алмасша немесе шала металша.

Қаттылығы 5. **Морт.** **Жіктілігі** {001} бойынша біршама жетік. **Мен. салмағы** 4,7–4,9. Беймагнитті.

Диагноздаушы белгілері. Түйірлі агрегаттарда марганецтің басқа минералдарынан микроскопиялық зерттеулерсіз ажырату қиын болады. Брауниттен төмен қаттылығы және айқын қызғылт сызығы бойынша ажыратылды. Пиролозит MnO_2 сызығы қара түсті. Псиломелан тобы минералдарының сызығы қара немесе шоколад-қошқыл түске ие. Гематиттен қаттылығы және агрегаттарының құрылымы бойынша айрықшалаынады.

Бура перлі тотықтандырушы жалында күлгін түске боялады. HCl қышқылында Cl бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Гаусманит те магнетит сияқты, браунитке қарағанда тотықсыздануы жоғарылау ортада пайда болады. Ол өзімен көбінесе бірлестікте болатын браунит сияқты марганецтің кейбір *жапсарлық-метасоматоздық* және *гидротермалық* кенорындарында кездеседі. Онымен тығыз парагенезисте әдетте MnO марганец закисіне бай минералдар: тефроит ($Mn_2[SiO_4]$), манганозит (MnO), родохрозит ($Mn(CO_3)$), марганецті анартастар және басқалар байқалады. Бейруда минералдардан кварц емес, барит жиі байқалады, онымен әдетте браунит пен марганец силикаттары (родонит, бустамит) бірлеседі.

Гаусманиттің айтарлықтай массалары сол браунитпен, кейде яacobситпен, магнетитпен және басқа сусыз Mn пен Fe окиселдерімен бірге марганецтің *метаморфталған* шөгінді кенорындарында (гондиттерде) таралған. Гаусманит шамалы аймақтық метаморфизм жағдайларында марганец гидроокиселдерінің дегидратация процесінде, сондай-ақ пиролозит пен брауниттің тотықсыздану процесінде жаралады. Гаусманиттің браунит бойынша псевдоморфозасы анықталған.

Россияның марганец кенорындарында гаусманит басты рудажасаушы минералдардың бірі ретінде мәрмәрленген әктастағы *Сапал* гидротермалық кенорны (Орта Орал, Төменгі Тигил маңында) рудасының құрамына кіреді. Рудада одан басқа браунит, магнетит (марганецті болуы ықтимал), гематит, родохрозит, Fe сульфидтері, темірлі хлориттер және басқа минералдар байқалады.

Орталық Қазақстанда гаусманит *Қаражал* метаморфталған шөгінді кенорны рудасында браунитпен бірлестікте кездескен.

Шетелдерде гаусманит шамамен минералдардың аталған парагенетикалық топтамасында жапсарлық-метасоматодық *Нордмарк* пен *Лонгбан* (Швеция) кенорындарында, Гарцтағы (Германия) *Ильфельд* желілік кенорнында және басқаларда кездеседі.

Практикалық мәні. Гаусманит рудалары да браунит рудалары сияқты қара металлургияда ферромарганец қорытпасын алуға немесе шойын балқытқан кезде шихталау үшін (рудалардың марганецке молдығына байланысты) пайдаланылады.

ГАНИТ – $ZnAl_2O_4$. Құрамындағы ZnO – 44,3 %, Al_2O_3 – 55,7 %. Қоспалары: MgO , FeO , MnO және Fe_2O_3 .

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік. $a_0=8,062$. **Кристалдарының келбеті** дәл шпинельдікі сияқты. Ромбылық додекаэдрлерде және бұрмаланған кубтарда да кездеседі. Жекелеген кристалдары кейде үлкен өлшемдерге жетеді. Қосақтары шпинель заңы бойынша, (111) бойынша жаралады.

Түсі. Ганит күңгірт-жасыл, сұрғылт-жасылдан қара-жасылға дейін. **Сызық түсі** сұр. Шаламөлдір. **Жылтырлығы** шыныша. $N=1,78-1,82$.

Қаттылығы 7,5–8. Морт. **Жіктілігі** {111} бойынша айқын емес. **Мен. салмағы** 4–4,6. Шпинель тобындағы басқа минералдардың көпшілігіне ұқсас.

Диагноздаушы белгілері. Осы шпинельдің ганитке жататындығын жоғарылау меншікті салмағы, шағылыстыру көрсеткіші және цинк минералдарымен парагенезисі бойынша болжамдауға болады, бірақ оны химиялық талдаусыз дәлелдеу мүмкін емес.

Қышқылдар мен сілтілер әсер етпейді.

Жаралуы және кенорындары. Мәрмәрленген әктас арасындағы кейбір пегматиттер мен жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда осындай жаралымды минералдармен бірге, соның ішінде цинкұстамдылармен де біршама сирек кездеседі. Жекелеген табылымдары да күшті өзгерген таужыныстарға, мысалы талькті тақтатастарға жатады.

Россияда ганит *Солонго* (Бурятия) кенорны скарндарында, Кола түбегінің оңтүстік-батысында (*Вуориярви*) және *Холоднинск* кенорнында (Солтүстік Прибайкалье) белгілі.

Ганит *Алтын-Тауда* (Қарақалпақстанның солтүстік-шығысында), *Зеленая Могила*ның (Батыс Приазовье, Украина) сирек металды гранит пегматиттерінде және басқа жерлерде кездескен.

Айтарлықтай мөлшерде ол марганец пен цинк минералдарының парагенезисі бойынша ерекшелігімен белгілі *Франклин* кенорнында (Нью-Джерси, АҚШ) цинкитпен, франклинитпен және басқалармен бірлестікте байқалған. *Фалун* кенорны маңында (Швеция) ол талькті тақтатастарда табылған. Бразилияның алмасты шашылымдарында да кездеседі.

ФРАНКЛИНИТ – $(Zn,Mn)Fe_2O_3$. Сингониясы кубтық кейде құрамында FeO мен Mn_2O_3 де болады. Физикалық қасиеттері бойынша көбінесе

магнетитке ұқсас. Беймөлдір. **Сызық түсі** қызғылт-қошқыл. Шамалы магнитті. **Мен. салмағы** 5,07–5,22. $N=2,36$. Балқымайды. Бурамен тотығу жалынында қызғылт-күлгін шыны береді (марганецке реакция). HCl қышқылында ериді, егер құрамында Mn_2O_3 болған жағдайда хлор бөлінеді.

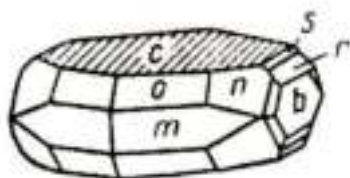
Елеулі мөлшерде белгілі жапсарлық-метасоматоздық *Франклин* кенорнында (Нью-Джерсон, АҚШ) кездеседі. Кальцифир арасында онымен бірлестікте цинкит, виллемит ($Zn_2[SiO_4]$), кальцит, кейде ганит, аксинит, марганец силикаттары, апатит және басқа минералдар болады.

Шпинель әулеті минералдарынан кейін қарастырылатын минерал шпинельдерге тек формуласы бойынша ғана ұқсас, бірақ толықтай дербес құрылымдық типке жатады.

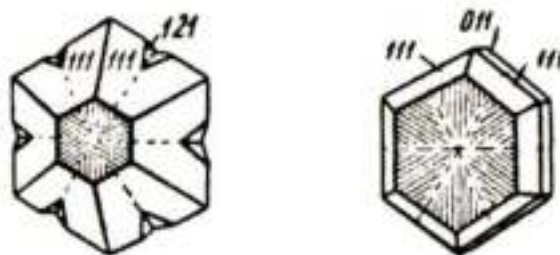
ХРИЗОБЕРИЛЛ – $BeAl_2O_4$. Грекше *хризос* – алтын дегеннен. Түрлестері: хромұстамды I санатты асыл тас александрит изумруд-жасыл түсті, оны электр шамының жарығында қараған кезде күлгін-қызыл түске ие болады; цимофон – сары-жасыл түрлесі, «мысық көз» әсеріне әкелетін микроканалдар жүйесі бар.

Химиялық құрамы. BeO – 19,8 %, Al_2O_3 – 80,2 %. Әрдәйім болатын қоспалары: Fe_2O_3 (3,5–6 %), кейде TiO_2 (3 %-ке дейін) және Cr_2O_3 (0,4 %-ке дейін), онымен александриттің изумруд-жасыл бояуы байланысты.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы *R6mm*. $a_0=5,47$; $b_0=9,39$; $c_0=4,42$. **Кристалдық құрылымы.** Кезінде, кристалдардың сыртқы пішіндері бойынша жіктелімін жасағанда Е.С. Ферсман мынаны анықтаған – хризоберилл құрылымы бойынша оливин тобы минералдарына жатуы тиіс деп. Рентгенметриялық зерттеулер оның қорытындысын толық қуаттады: элементар ұяшықтағы иондардың орналасуы форстериттегі ($Mg_2[SiO_4]$) осындайға толық сәйкес келеді. Оттек иондары шын мәнінде ең тығыз гексагондық жайласу принципі бойынша орналасқан; бериллий иондары форстериттегі кремний иондары сияқты (279-суретте) оттектің төрт ионымен қоршалса, ал алюминий иондары – алтауымен қоршалған. Бериллийдің төмендеу координациясы оның қосылыста алюминийге қарағанда қышқылдылау функция атқаратынын көрсетеді. **Кристалдарының келбеті** қалың тақташалы, кейде қысқа немесе ұзын призмалы. Оттектің жетекші иондарының гексагондыққа жақын ең тығыз жайласуы *a* және *b* осьтерінің жалған гексагондық қатынасын туындатады, сондықтан кристалдар өздерінің бұрыштары және жақтарының дамуы бойынша көбінесе жалған гексагондық келбетті иемденеді (156-сурет). Әсіресе бұл александритке тән (130) бойынша үшемдерде көзге түседі (157-сурет). {001} жақтарында *a* осіне параллель айғыздау жиі байқалады, осы белгісі бойынша дарактардың үшемдене кірігуі оңай танылады (157-суретте). Хризоберилл тұтас түйірлі массаларда осыған дейін байқалмаған.



156-сурет. Хризоберилдің жалған гексагон кристалы: $c\{001\}$, $o\{111\}$, $m\{110\}$, $b\{010\}$, $n\{121\}$, $s\{021\}$, $r\{031\}$



157-сурет. (130) бойынша кірігу үшемдері, $\{001\}$ жақтарында айғыздалған

Түсі. Хризоберилл әдетте сары немесе жасылтым-сары, спаржа (қояншөп) түстес; кейде түссіз. Тек хромұстамды түрлесі ғана (александрит) изумруд-жасыл түске боялады, ал электр жарығында күлгін-қызыл болады. **Жылтырлығы** шыныша, омырылымында майлы. $N_g=1,753$, $N_n=1,747$ және $N_p=1,744$.

Қаттылығы 8,5. Морт. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша айқын, $\{011\}$ және $\{010\}$ бойынша бейжетік. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 3,5-3,84.

Диагноздаушы белгілері. Тек қана өзінің пішіні бойынша аса тән кристалдарда ғана кездеседі, әрі бериллден жоғары қаттылығы мен бояуы бойынша айтарлықтай айрықшаланады.

Қышқылдарда ерімейді. Тек ұнтағын КОН немесе KHSO_4 бірге балқытқанда ғана ыдырайды. Азот-қышқыл кобальтқа батырған қорытпасы қыздырған кезде өзіндік көкке боялады.

Жаралуы және кенорындары. Осы біршама сирек минерал әдетте *пегматиттерде* немесе жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда ультрабазиттердің немесе базиттердің гранит интрузияларымен шекарасында таралған. Тотығу белдемінде аса төзімді. Шашылымдарда кездеседі, кейде жұмырланған тасмалта түрінде. Александрит кристалдарының жекелеген даналары кейде көлденеңінде бірнеше сантиметрге жетеді.

Осыған дейін табылғандардың ішіндегі ең кереметі – 22 ірі кристалдан және ұсақ үшемдік кірікпелерден тұратын александрит тобы Россия ғылым Академиясының А.Е. Ферсман атындағы Минералогиялық мұражайында Москвада сақтаулы. Хризоберилл әдетте изумрудпен, дала шпаттармен, апатитпен және слюдалы, хлоритті және талькті тақтатастардың басқа минералдарымен бірлестікте көбінесе гранит пегматиттерінің жапсарлық жиектерінде байқалады.

Россияда хризоберилл (оның ішінде александрит) XIX ғасырдың ортасынан бері *Изумруд кеніштерінде* (Орта Орал) бериллұстамды

слюдиттерге айналған грейзенденген серпентиниттерде өндіріледі. Спаржа-жасыл хризоберилл Карелияда (Кемь қаласының маңында) бұрынғы *Половина* хуторы маңында, гранит пегматитінің жапсарындағы хлориттенген амфиболит арасындағы кварцта нұсқар тәрізді қосақтар жасайды. Грейзенденген диопсид-магнетит скарндарындағы *Люпико* кенорнында (Солтүстік Приладожье) хризоберилл хлоритпен, даналитпен және флюоритпен бірге орналасады. Сондай-ақ Енисей бұйратында *Кондаков* кенорны пегматиттерінде байқалған.

Шетелдіктерден *Минас-Жерайс* және *Байя* штаттарындағы (Бразилия) кенорындарды көрсетеміз, мұнда хризоберилл топазбен, тау хрусталімен, шпинельмен, анартаспен, турмалинмен және басқа минералдармен бірлестікте гнейстер мен слюдалы тақтатастар арасындағы пегматиттерде кездеседі. Сондай-ақ *Цейлон* мен *Мадагаскар* аралдарындағы шашылымдарда табылады.

Практикалық мәні. Әсем боялған мөлдір түрлестері әшекейлерге салынатын асыл тас ретінде тұтынылады.

7. Рутил тобы

Бұл топқа тетрагондық сингонияда кристалданатын AX_2 типті: Ti, Sn, Mn, Ge және Pb қосылыстары кіреді. Олардың ішінде TiO_2 табиғатта ерекше атауларға ие болатын үш полиморфты модификацияда, ал MnO_2 – ең азы екі модификацияда кездеседі. Кейбір деректер бойынша SnO_2 қосылысы да диморфты болады.

Осында жататын басты минералдардың барлығы бір-бірімен парагенетикалық байланыспаған және әр түрлі жағдайларда жаралады. Қалайының қостотығы кейде TiO_2 жаралатындарға ұқсас жағдайларда кездеседі, бірақ негізінен геологиялық процестерде өздерін оқшаулана ұстайды. MnO_2 мен PbO_2 мүлде басқа жағдайларда, тек қана дерлік экзогендік минералжаралу процестерінде жаралады.

Рутил химиялық құрамының (сондай-ақ брукит пен анатаздың да) айрықша ерекшелігіне жататыны, олардың құрамында изоморфты қоспалар түрінде Nb^{5+} пен Ta^{5+} бола алады, бірақ Fe^{2+} -мен бірге.

Мұндай түрлестердің химиялық формуласы мынадай түрде бейнеленеді: $Ti_{3-3x}Nb_{2x}Fe^{2+}_xO_6$. Бұл формуладан көрінетіні, Nb^{5+} екі ионы мен Fe^{2+} бір ионы Ti^{4+} үш ионын алмасатын иондардың жалпы зарядын сақтай отырып алмастырады: $Fe^{2+}2Nb^{5+} > 3Ti^{4+}$. Барлық осы иондардың иондық радиустарының өлшемдері шамамен бір ретті болатындықтан (*142-суретте*), минералдың кристалдық құрылымы бір типті болып қала береді. Тек ұяшықтардың өлшемі ғана Nb^{5+} , Ta^{5+} және Fe^{2+} (немесе Mn^{2+}) иондық радиустарының өлшеміне сәйкес біршама артатын болады. Осылайша, рутилдің танталға бай түрлестері TiO_2 изоморфты қатары болып табылады, дұрысын айтқанда тетрагондық $(FeTa_2)O_6$ немесе $(MnTa_2)O_6$ (яғни *ферротаниолит* және *мангантаниолит* деп аталатын минералдардың) бағытында жүретін Ti_3O_6 болады. Бұл минералдар үшрутил типті деп

аталатын құрылымда кристалданады (металдардың реттелуі рутил ұяшықтарымен салыстырғанда c параметрінің үш еселенуіне әкеледі).

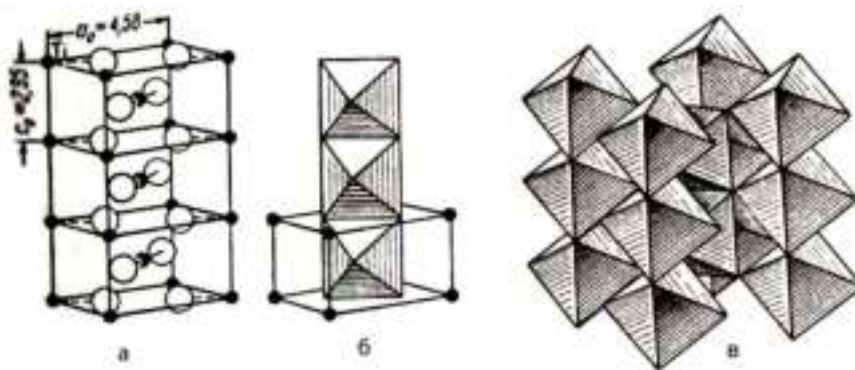
Айта кететіні, FeTa_2O_6 диморфты және тетрагондық сингонияда да (ферротапидит), ромбылық сингонияда да (ферротапидит) кристалданады. Мұндай құрамды (колумбит пен танталит) қосылыстар ромбылық модификациясының кристалдық құрылымы TiO_2 (брукит) ромбылық модификациясы құрылымының туындысы болып табылады.

Рутил құрылымына Nb мен Ta кіруінің басқа да жорамал механизмі бар – зарядтарын үш валентті темірмен өтемелей отырып: $\text{Fe}^{3+}(\text{Nb}^{5+}, \text{Ta}^{5+}) \rightarrow 2\text{Ti}^{4+}$. Мұндай жағдайда изоморфты қатарлардың аяққы мүшелеріне құрамында Nb, Ta және Fe бар рутил үшін $\text{Fe}^{3+}\text{NbO}_4$ және $\text{Fe}^{3+}\text{TaO}_4$ болады.

РУТИЛ – TiO_2 . Атауы латынша *rutilus* – қызғылт дегеннен шыққан. Ол TiO_2 -нің жоғары да, төмен де температурадағы ең орнықты модификациясы болып табылады.

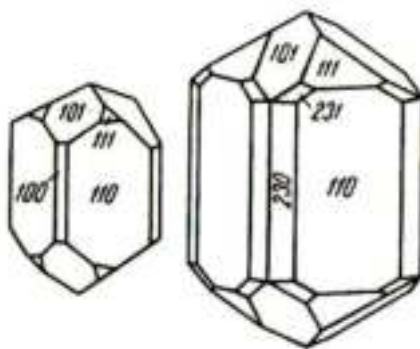
Химиялық құрамы. Ti – 60 %. Химиялық талдаулар оның құрамында басқа элементтер қоспасы жиі болатынын көрсетеді: Fe закись немесе окись түрінде, кейде Sn^{4+} (1,5 %-ке дейін), сирек Cr^{3+} , V^{3+} және кейбір басқалар. FeTiO_3 -ке бай (қатты ерітінді түрінде) түрлесі нигрин деп аталады. Рутилдің реттелмеген құрылымдық типін сақтайтын құрамында Ti мөлшерінен асатын Nb^{5+} немесе Ta^{5+} және де бір мезгілде Fe^{2+} (немесе Fe^{3+}) бар минерал түрлері тиісінше *ильменрутил* және *стриверит* деп аталады.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^44L^25PC . Кеңістіктік тобы $P4_2/mnm(D^{14}_{4h})$. $a_0=4,58$; $c_0=2,95$. Кристалдық құрылымы *158-суретте* бейнеленгендей. Ол корунд сияқты оксидтердің бұрын қарастырылған құрылымдарынан кейбір ерекшеліктерімен айрықшалаанады.



158-сурет. Рутилдің кристалдық құрылымы: *a* – иондар центрі бейнесінде (қара дөңгелекшелер – титан, бостары – оттек), тік бойынша рутилдің үш элементар ұяшығы орналасқан; *b* – TiO_6 октаэдрлері бейнесінде (орталық бағана) титан иондары октаэдрлер ішінде орналасады; *c* – құрылымның жалпы түрі тік төрттік ось қондырғысында (Н.В. Белов бойынша)

Егер корунд типті кристалдық құрылымда оттек иондарының ең тығыз жайласқан парақтары үштік оське перпендикуляр орналасса, ал шпинель типті құрылымда октаэдр жақтарына параллель (яғни дәл сондай үштік осьтерге перпендикуляр) болады. Ал енді рутил типті кристалдық



159-сурет. Рутил кристалдары

Түсі. Рутил әдетте күңгірт-сары, сұр, қошқыл, жирен, қызыл және қара (нигрин). Түссіз немесе солғын бояулы түрлері өте сирек. **Сызық түсі** сары, ашық-қошқыл. **Жылтырлығы** алмасшадан метатәріздіге дейін (беймөлдір қара түрлері үшін). $N_g=2,903$ және $N_m=2,616$.

Қаттылығы 6. Морт. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша жетік, $\{100\}$ бойынша орташа. **Мен. салмағы** 4,2–4,3.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының тетрагондық призмалық келбеті және тізеше иілген қосақтары аса тән. Кристалдарының келбеті бойынша ұқсас мынадай минералдармен шатастыруға болады: цирконмен ($Zr[SiO_4]$), бірақ оның қаттылығы жоғарылау (7-8) және касситеритпен (SnO_2), оған жоғары меншікті салмағы тән. Қыл тәрізді рутил кристалдарын кейде турмалин деп қалуға болады, бірақ ол оптикалық константаларымен айрықшаланады.

Қышқылдарда ерімейді. Фосфор тұзымен титанға реакция береді (шыны тотықсыздандырушы жалында күлгінге айналады).

Жаралуы және кенорындары. Рутил табиғатта әр түрлі жағдайларда жаралады. Кейде ол *интрузиялық* таужыныстардың (сиениттің, сиректеу граниттің) құрамдас акцессорлық бөлігі ретінде байқалады. Шамалы мөлшерде ол *пегматиттерде* және кейбір *гидротермалық* кенорындарда кварцпен, титан және темір минералдарымен (ильменит, гематит, магнетит), кейде корундпен, силикаттармен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Оның сирек табылымдары жаңажаралымдар түрінде титан минералдары ыдырауының экзогендік өнімдерінде, кейде шөгінді таужыныстарда, сондай-ақ боксит кенорындарында белгілі. Дегенмен ол көбінесе метаморфтық процестерде титанұстамды минералдардың түрленуі нәтижесінде жаралады да дербес түйірлер түрінде гнейстерде, слюдалы тақтатастарда, амфиболиттерде, түрпілерде және басқа таужыныстарда бөлінеді; эклогит үшін рутил индикатор минерал болып табылады.

Альпілік типті желілерде, көбінесе тау хрусталінің ішіндегі ине және шаш түріндегі кристалдары аса әсерлі; ол брукиит пен анатаздың сүйемелдеуінде жиі байқалады.

Тотығу белдемінде химиялық төзімді және шашылымдарда жұмырланған түйірлер мен талмалгалар түрінде жиі кездеседі.

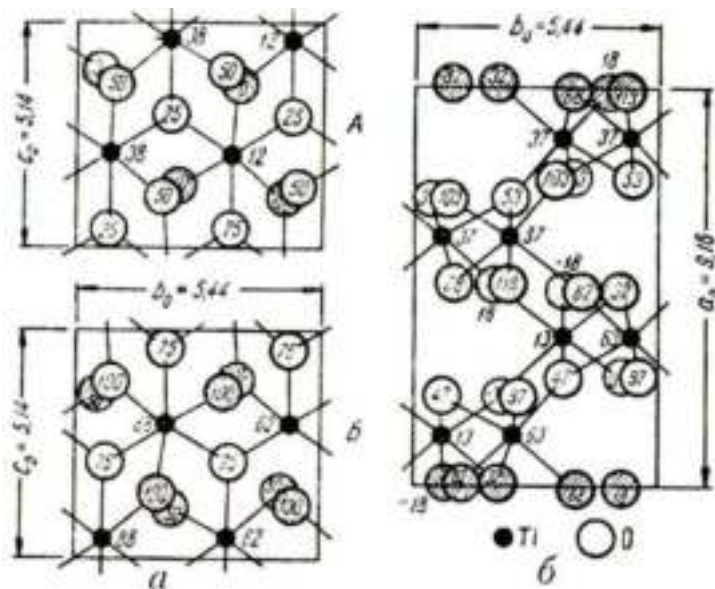
Россияда рутил ірі кристалдар түрінде бірқатар кенорындарда белгілі: Шиелі таулардағы *Слюдокеніштің* слюдалы тақтатастарында, Ильмен тауларының пегматит желілерінде, Полнос маңы Оралда (*Неройка, Парнук*) альпілік типті желілерде және басқа жерлерде. Олардан басқа, рутил шашылымдарда жиі кездеседі, әсіресе Орта Оралда, Тиман өлкесінде және Орталық Россияда. Орталық Қазақстанда *Семіз-Бұғы* түрпі кенорнында корундпен бірге, ал *Кануджук* кварц желілерінің бос қуыстарында (Зангезур жотасы, Армения) тамаша жаралған кристалдар түрінде байқалады.

Шетелдіктерден Солтүстік Каролина (АҚШ) кенорнын атаймыз, мұнда рутилдің әр түрлі келбетті керемет кристалдары кездеседі.

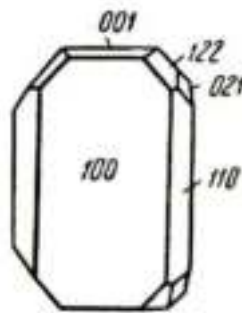
Практикалық мәні. Комплексті титан-циркон шашылымдарынан өндірілетін рутил болаттың соққыға төзімді кейбір сорттарын өндіруге қолданылатын ферротитан қорытып алу үшін, керамикада, қошқыл бояу ретінде, радиотехникада – детектор ретінде, титан ағартқыштарын даярлауға және басқа салаларда тұтынылады. Металл титанның қолданылуы туралы ильменитте айтылған.

БРУКИТ – TiO_2 . **Сингониясы** ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Rabc(D_{2h}^{15})$. $a_0=9,16$; $b_0=5,44$; $c_0=5,14$. **Кристалдық құрылымы** біршама әсіреленген түрде *161 а-суретте* берілген, оттек иондарының ең тығыз гексагондық жайласу жазықтығы болып табылатын (100) жазықтығының проекциясында көрсетілген. *161 б-суретте* жоғары жатқан (сызба жазықтығының үстінде) оттек иондарының қабаттары (дөңгелекшелер ішіндегі цифрлар) бейнеленген. Егер төменгі суретті жоғарғының үстіне қойсақ, онда біз a осі бағытында жалпы алғанда гексагондық пен кубтық жайласулар комбинациясы шығатынына (топаздық жайласу) көз жеткізуге болатын көреміз: оттек иондары «75» орналасуы ең тығыз гексагондық екі қабатты жайласудан шығатындай «25» иондарының үстінде емес, кубтық ең тығыз жайласу орын алатындағыдай болады. Ti иондары оттек иондары парақтары аралығында алты еселене қоршалып жатады да ең тығыз жайласудың әр қабатында зигзаг тәрізді октаэдрлер тізбегін жасайды. Рутил құрылымынан айырмашылығы бұл октаэдрлердің мұнда үш-үштен ортақ қырлары болады.

Құрылымына сәйкес оның кристалдарының келбеті де (100) бойынша жалпақ болады (*162-сурет*). Мұнда a осіне параллель призманың (021) төрт жағы және {001} пинакоиды қимада дұрыс дерлік алтыбұрыш жасайды. Кейде дипирамидалық келбетті изометрлі кристалдары кездеседі (арканзит). Сондай-ақ жақтарында тік айғыз болуы да тән.



161-сурет. Брукиттің кристалдық құрылымы (біршама әсіреленген түрде): а және б – құрылымның (100) проекциясындағы екі бөлікшесі, төменгісі жоғарғысының үстінде орналасады (50 цифрымен белгіленген оттек иондары ортақ болады), оң жағында – оттек пен титан иондарының шын мәніндегі жағдайында (001) проекциясындағы құрылым



162-сурет. Брукит кристалы

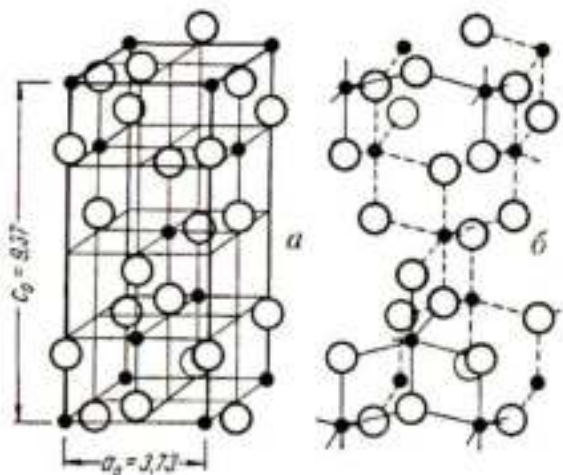
Түсі сарғыш немесе қызыл-қошқылдан қараға дейін. Жұқа қалақтары мөлдір болады. **Сызық түсі** түссізден сұрғылт немесе қошқыл-сары. **Жылтырлығы** алмасша. $Ng=2,741$, $Nm=2,586$ және $Np=2,583$. Кейбір үлгілерде шағылыстыру көрсеткіштерінің өте күшті дисперсиясы байқалады, ал осыған байланысты әр ұзындықты толқындар үшін оптикалық осьтер жазықтығының жағдайы да өзгереді.

Қаттылығы 5-6. Жіктілігі {110} бойынша жетілімсіз. **Мен. салмағы** 3,9-4 (рутилден төмен, бірақ анатаздан жоғары). Қыздырған кезде артады да рутилдің меншікті салмағына барып теңеледі (кристалдық құрылымының қайта құрылуы жүретіні көрінеді).

Кенорындары. Брукиттің тамаша кристалдары Миасс маңындағы *Атлян* алтынды шашылымдарында және Полюс маңы Оралдың бірқатар жерлерінде (*Неройка* тауы).

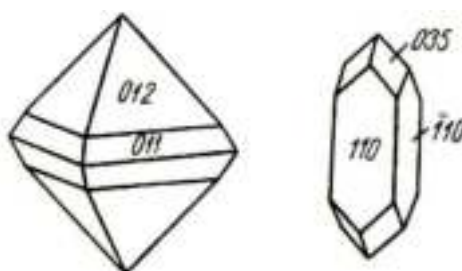
АНАТАЗ – TiO_2 . **Сингониясы** тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^44L^25PC . Кеңістіктік тобы $I4_1/amd(D_{4h}^{19})$. $a_0=3,73$; $c_0=9,37$. **Кристалдық құрылымы** оттек иондарының тік төрттік осьті ең тығыз кубтық жайласуымен сипатталады (*163-сурет*).

Координациялық саны рутилдегідей (6:3), бірақ координациясының геометриялық пішіндері бұрмаланған. Ол мынаған байланысты – TiO_6 тетраэдрлері бір-бірімен төрт ортақ қыры болатындай етіп бірлеседі.



163-сурет. Анатаздың кристалдық құрылымы: *a* – элементар ұяшығы, *b* – Ti және O аралығындағы байланыс

Кристалдары өзіндік дипирамидалық келбетке ие болады (*164-сурет*), мұнда {011} дипирамидасы пішіні бойынша октаэдрге жақын {012} дипирамидасынан үшкірлеу. Кейде призмалық және тақталанған пішінді кристалдары кездеседі.



164-сурет. Анатаз кристалдары

Түсі сұр, көк, кейде сары, кейде қоңыр, қара. **Сызық түсі** түссіз. **Жылтырлығы** алмасша. $Nm=2,55$ және $Np=2,49$.

Қаттылығы 5-6. **Жіктілігі** жетік {001} және {011} бойынша, рутилден осысымен айрықшалаанады. **Мен. салмағы** 3,9 (рутил мен брукиттен төмен). Қышқылдарда ерімейді.

Пегматиттерде және кристалды тақтатастарда (хлоритті, слюдалы) кездеседі. Жақсы жаралған кристалдары көбінесе Швейцария Альпісінде, Бразилияда, Солтүстік және Полюс маңы Оралда альпілік типті желілердегі кварцта байқалады. Минерал химиялық төзімді, шашылымдарда кездеседі – Атлян шашылымы Оңтүстік Оралда, Миасс маңында және басқа жерлерде.

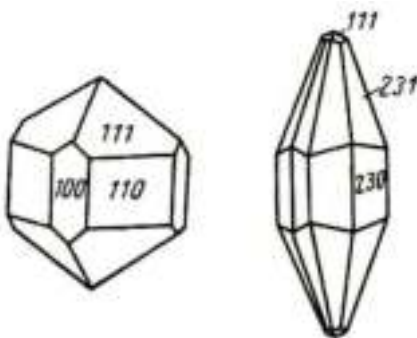
КАССИТЕРИТ – SnO_2 . Грекше *касситерос* – қалайы дегеннен. Синонимі: қалайы тас. Касситерит іс жүзінде қалайының жалғыз өнеркәсіптік маңызды минералы болып табылады.

Химиялық құрамы. 78,8 % Sn (химиялық формуласы бойынша). Әрдайым дерлік қоспалары болады. Көптеген жағдайларда, әсіресе пегматит

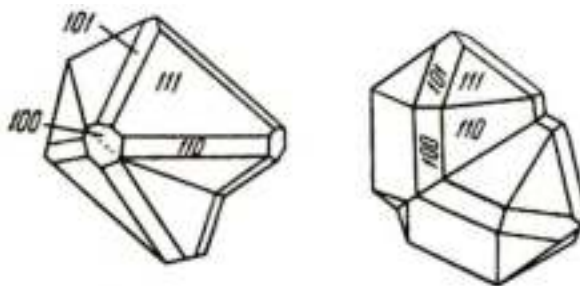
кенорындарының касситеритінде байқалатындар – Fe_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , TiO_2 , MnO , FeO , кейде ZrO_2 және WO_3 . Осы әр түрлі валентті металдар рутилдің кейбір түрлестерінде кездесетіндер сияқты, изоморфты қоспалар немесе қатты ерітінділердің ыдырау өнімдері түрінде болуы ықтимал.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^44L^25PC . Кеңістіктік тобы $P4_2/mnm(D_{4h}^{14})$. $a_0=4,72$; $c_0=3,17$. Жасанды SnO_2 ромбылық кристалдарын (мен. салмағы 6,7) Добрэ алған.

Кристалдық құрылымы рутил құрылымымен бірдей. **Кристалдарының келбеті.** Касситерит жақсы жаралған және біршама жиі байқалатын кристалдар түрінде қуыстарда кездеседі. Кристалдары әдетте ұсақ, бірақ кейде ірі өлшемдерге жетеді – 10 см-ге дейін (салмағы бірнеше килограмм). Көбінесе олар дипирамидалық, пирамидалық-призмалық (165-сурет) немесе бағаналық, ине тәрізді келбетке ие. Пегматиттерде әдетте дипирамидалық келбетті және көбінесе қосақтар түрінде кездеседі. Грейзендегі және граниттегі сеппе түйірлері жиі бұрыс пішінді болып келеді. Бұрыс пішіндері сондай-ақ метасоматоздық жолмен станниннің және қалайының басқа да күкіртті қосылыстарының эндогендік тотығу кезінде жаралған касситерит түйірлеріне тән. Кристалдарының қосақтары өте жиі және рутил қосақтары сияқты иілген түрге ие (166-сурет).



165-сурет. Касситерит кристалдары



166-сурет. Касситерит қосақтары

Агрегаттары. Тұтас түйірлі массалары сирек кездеседі. Әдетте кристалл сеппелер немесе бұрыс пішінді түйірлер түрінде байқалады. Жоғары температуралық гидротермалық желілерде ол кейде жақсы жаралған кристалдар друзасы түрінде анықталады. Ағаш сияқты касситерит деп аталатын агрегаты жалбырлар мен концентрлі-зоналы бүйрек тәрізді және шоқталған пішіндер түрінде кездеседі; кейде майда параллель-талшық

құрылысты болады. Мұндай жағдайларда микроскоп астында көбінесе байқалатыны жекелеген зоналары бірде жасырын кристалды микроагрегаттармен, ал енді бірде айқын түйірлі, бағана тәрізді, радиал бағдарланған дарақтардан тұрады.

Түсі. Касситерит әдетте Fe, Nb, Ta және Mn қоспаларымен күңгірт-қошқыл реңдерден шайыр-қара түске дейінгі түске боялады. Жұқа шлифтерде жекелеген кристалдары мен түйірлерінің кристалды-зоналы және секторлы құрылысы байқалады, бұл құбылыс қанықтылығы әр түрлі дәрежелі бояулы зоналарының алма кезек орналасуына байланысты. Тіпті түссіз түрлестері өте сирек. Ірі кристалдарында қара мен қошқылдан түссіз дерлікке дейінгі зоналылығын жай көзбен де байқауға болады. **Сызық түсі** күңгірт түрлестеріне әдетте қошқылдау реңдерге шамалы боялған. Жылтырлығы алмасша, ал омырылымында – шайырша, біршама майлы. Кристалдарының жағы кейде күңгірт. Беймөлдір қара түрлестері тіпті шаламеталл жалтырлығына ие. $n_g=2,09$ және $n_p=1,99$. Бір осьті. Кейде кездесетін оптикалық қос осьті түрлестері ромбылыққа жақын кристалдық құрылымға ие болуы мүмкін, дегенмен мұндай ауытқы қососьтілігі күрт зоналылығына байланысты пайда болған ішкі кернеуге байланысты сияқты.

Қаттылығы 6-7, ең жұмсақтары – күңгірт түсті түрлестері. Морт. **Жіктілігі** жетік емес, кейде {110} бойынша айқын. Омырылымы көбінесе ұлуша болады. **Мен. салмағы** 6,8-7. **Басқа қасиеттері.** Беймагнитті. Темірге бай қара түрлестері біршама электрмагнитті қасиеттерге ие.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының пішіні, қосақтары және түсі бойынша рутилге, ал ашық түсті түрлестері сондай-ақ цирконға да ұқсайды. Олардан меншікті салмағы, қаттылығы (цирконның қаттылығы 7-8) және өзіндік біршама майлылау немесе омырылымында шайырша, ал жақтарында күшті алмасша жылтырлығы бойынша айтарлықтай айрықшаланады. Жұқа шлифтерде касситериттің ұсақ түйірлерін циркон деп қабылдауға болады, бірақ қосшағылыстыруы біршама төмен.

Қышқылдар әсер етпейді. Егер касситерит бетіне HCl тамшысын түсіріп, оған мырыш кесекшесін тигізсе (немесе арнайы даярланған мырыш инесі одан да дұрыс), онда біраз уақыттан кейін жылдам бөлінетін сутектің тотықсыздандырушы әсерінен оның бетінде қалайының металша жұғындысы жаралады. Оны шұғамен тазартқанда жылтырайды (касситеритке өте тән, әрдайым дерлік нәтиже беретін «қалайы айна» реакциясы).

Жаралуы және кенорындары. Касситерит кенорындары қышқылды интрузиялық таужыныстармен, негізінен гранитпен генетикалық байланысты.

Граниттің өзінде касситерит өте сирек анықталады және оның негізінен *грейзенденген* бөлікшелерінде, яғни пневматолиз агенттерінің (F, Cl, B және басқа) ықпалынан құрамында топаз, флюорит, цинвальдит (литийлі слюда), турмалин және басқа минералдар бар слюдалы-далашпатты кварц таужыныстарына айналған жерлерінде. Жорамал бойынша жоғары температура кезінде қалайы SnF₄ және SnCl₄ ұшпа қосылыстар түрінде тасымалданады да ары қарай SnO₂ тұнбаға отыратындай гидролизденеді.

Және бір анықталғаны, құрамында күкірт-сутек бар сілтілі ерітінділер тотықсыздандырушы ортада қалайыны тасымалдау жағынан аса белсенді болады.

Касситерит әрқелкі таралған шоғырларын қалайылы интрузиялармен байланысты *пегматит* желілерінде жасайды. Гидротермалық кенорындардан айырмашылығы, мұнда касситерит құрамында Nb, Ta, Fe және басқа металдар жиі болады. Онымен парагенезисте болатындар: кварц, слюдалар, альбит, турмалин, кейде колумбит, берилл, сподумен және басқалар. Касситерит сондай-ақ кейбір *жапсарлық-метасоматоздық* кенорындарда әр түрлі сульфидтермен тығыз бірлестікте кездеседі, бұл оның процестің гидротермалық сатысында түзілетінін көрсетеді.

Касситериттің желілік гидротермалық кенорындары өнеркәсіптік жағынан маңыздылау болып табылады. Олардың ішінде басты мәнге мынадай желі типтері ие: 1) кварц-касситеритті; 2) сульфид-касситеритті. Бірінші типте басым болатын кварц пен касситериттен басқа әдетте кездесетіндер: турмалин, ақ слюда, далашпаттар, вольфрамит, шағын мөлшерде арсенопирит, пирит, кейде флюорит, топаз, берилл және басқа минералдар. Касситерит негізінен кварц массасында сеппеленеді және бос қуыстарда кристалдар түрінде кездесіп, кейде олардың өлшемі ірі болады. Россияның бірқатар аудандарында маңызды мәнге ие болатын кенорындардың екінші типінде касситерит басым көпшілігінде сульфидтермен бірлестікте болады: бір жағдайларда негізінен пирротинмен және кейде сфалеритпен, халькопиритпен, станнинмен; ал басқаларында – негізінен сфалеритпен және галенитпен, ал ақыр соңында, үшіншілерінде – аз таралған әр түрлі сульфидтермен, олардың арасында көрнекті рөлді висмутин атқарады (Боливиялық тип). Бейруда минералдардан кварцтан басқа, айтарлықтай мөлшерде қара турмалиндер, өте жиі темірлі хлориттер мен карбонаттар кездеседі.

Касситерит қалайы рудалы кенорындардың тотығу белдемінде өте төзімді. Оның шашылымдарда болуы осысымен түсіндіріледі.

Экзогендік жаралымды касситерит қалайы сульфидтерінің бұзылуы кезінде жаралады да кеуек және жер сияқты массалар түрінде тотығу белдемінде кездеседі.

Россия аумағында касситерит кенорындары негізінен Шығыста және әсіресе Солтүстік-Шығыс Сібірде таралған.

Әр түрлі формациялар кенорындарының кейбір ең типикалық мысалдарын көрсетеміз.

1. Қалайлы пегматиттер өкіліне *Завитинск* кенорны жатады (Байкал көлінен оңтүстік-шығысқа қарай, Ингода мен Онон өзендері біріккен жерде), мұнда олар гранит массивінің шеткі бөліктерінде жатады. Пегматит желілері кей жерлерде кенденуі туындатқан пневматолиз процестерімен күшті өзгерген. Олардың өзгерген (грейзенденген) бөлікшелерінде қызғылт турмалин, лепидолит, анартас, касситерит және жасыл турмалин бар.

2. Россиядағы жапсарлық-метасоматоздық кенорындар қатарына *Питкяранте* (Оңтүстік Карелия) ұсақ кенорындары жатады, мұнда

касситерит кварц-карбонат-диопсид-анартас скарндарындағы мыс және темір сульфидтерімен бірге байқалады. Осы типке Зеравшан жотасындағы (Орта Азия, Тәжікстан) *Такфон* және *Майхура* кенорындары жатады, мұнда скарн жаралымдары арасында пирротинмен, арсенопиритпен және халькопиритпен бірге касситерит, станнин және висмутин кездеседі.

3. Кварц-касситеритті формация мысалына *Онон* кенорны жатады (Онон бекеті, Забайкалье), мұнда шөгінді кенорындарды қиып өтетін бірқатар тарамдалған кварц желілері бар. Руда мұнда кварц массивтерінен тұрады, оларда касситерит ақ слюдамен, топазбен, флюоритпен, арсенопиритпен, пиритпен және басқа минералдармен бірлеседі. Осы типке Приморьедегі *Кавалеровск* кенді ауданының көптеген кенорындары, Чукоткадағы *Иультин* және Колыманың бастауларындағы *Бутугычаг* кенорындары жатады.

4. Касситерит-сульфид кенорындарына *Ханчеранг* (Шығыс Забайкалье) және *Восток-2* (Приморье) жатады. Оларда касситерит әр түрлі сульфидтермен бірлеседі: арсенопиритпен, пирротинмен, сфалеритпен, вюрцитпен, галенитпен, халькопиритпен, және де темірлі хлориттермен, карбонаттармен және кварцпен.

5. Жер беті маңы жағдайларында жаралған колломорфты касситеритті гидротермалық кенорындарға Шығыс Сібірдегі *Жалидинск* және басқа кенорындар жатады. Касситерит әдетте кварцпен, көбінесе гематитпен, кейде флюоритпен, топазбен және басқалармен бірлеседі.

Шетелдер кенорындары арасындағы белгілеріне *Малай* қалайылы провинциясы (Бирма, Батыс Таиланд, барша Малай түбегі және оңтүстік аралдар – Бангка, Билитен және басқалар). Мұнда түбірлік (негізінен пегматит және кварц-касситеритті) желілер қираған кезде жаралатын касситерит ұстамды ірі шашылымдар кеңінен таралған. *Түркістан* жотасы (Тәжікстан) пегматиттерінде ол кварцпен, альбитпен және лепидолитпен бірге болады. Тамаша кристалдары мен қосақтары топаз-цинвальдит грейзендеріндегі кварц желілері қуыстарында (цвиттерлерде) Кенді таулардағы (Чехия) *Хорни Славков* кенорнында байқалады. *Боливияда* құрамында касситерит, вольфрам минералдары, әр түрлі сульфидтер, флюорит және турмалин бар кварц желілері, сондай-ақ сульфид-касситерит кенорындары таралған.

Практикалық мәні. Касситерит рудасы оның құрамынан өнеркәсіптік масштабта қалайы өндірілетін шикізаттың жалғыз түрі болып табылады. Қалайы мынадай қолданысқа ие: 1) ақ қаңылтыр өндірісінде; 2) мыспен (қола), мырышпен, мыспен және қорғасынмен (жез) бірге оңай балқитын әрі қиын тотығатын қорытпалар үшін, дәнекер алуға (қорғасынмен бірге) және басқа; 3) мыс ыдыстарды дәнекерлеуге; 4) қалайы фольга (станиоль) даярлауға; 5) керамикада (қыш бұйымдарға бояу, эмаль) және басқа мақсаттарға.

8. Колумбит-танталит тобы

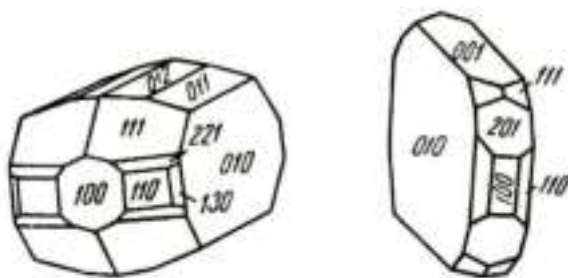
Бұл топқа құрамы түрі AB_2O_6 және $(B,A)O_2$ формулаларына сәйкес келетін күрделі оксидтер кіреді, мұндағы $A - Fe^{2+}, Mn^{2+}$, кейде Fe^{3+} $B - Nb, Ta$, кейде Ti, W және Sn . Мұнда $AB_2O_6 -$ колумбит тобының минералдары және олардың ретсізденген баламалары $(B,A)O_2$ бірге қарастырылатын болады.

КОЛУМБИТ-ТАНТАЛИТ. Колумбит тобында алты минерал түрі бар. Ферроколумбит $FeNb_2O_6$ бірінші позиция бойынша $MnNb_2O_6$ манганколумбитке дейін және екінші позиция бойынша $FeTa_2O_6$ ферротанталитке дейін, екі позиция бойынша – $MnTa_2O_6$ мангантанталитке дейінгі ұдайы изоморфты қатарлар жасайды; соңғы екі түрдің аралығында ажырау болады. Ниобийлі түрлердің атауы ниобий элементінің көне америкалық атауы – колумбий дегеннен шығады; қалғандары – құрамы бойынша.

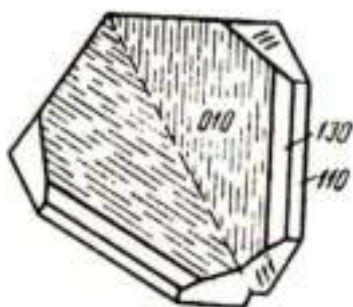
Ретсізденген баламалары ішінде белгілісі *иксиолит* $(Ta,Nb,Sn,Fe,Mn,W)O_2$ және *ашанит* $(Nb,Ta,Fe,Mn)O_2$.

Химиялық құрамы өте тұрақсыз. Тіпті бір кенорынның өзінде Fe және Mn мөлшері дәл сол Nb және Ta мөлшері сияқты кең ауқымда өзгереді. Бір қызығы, танталиттер таза дерлік марганецті немесе таза темірлі болып кездеседі (аралық түрлестері сирек). Кейде шамалы мөлшерде Sn (1-2 %, кейде 9 %-ке дейін танталиттерде және көбінесе – иксиолитте), W және Ti болады. Бірақ басқа тантал-ниобаттардан айырмасы, оларда Na, Ca, U, Th , сирек жерлер және иттрий сияқты ірі катиондардың қоспасы болмайды.

Сингониясы ромбылық; сингония түрі ромб-дипирамидалық $3L^33PC$. Кеңістіктік тобы $Pbcn(D_{2h}^{14})$. $a_0=5,08$; $b_0=14,24$ (ретсізделгендегіде $b_0=4,75$); $c_0=5,73$. **Кристалдық құрылымы** бруцит құрылымының туындысы (*161-суретте*). Реттелген құрылымдарда Nb, Ta және Sn иондары оттектің ең тығыз жайласуы қуыстарының екі қабатындағы Ti орындарында октаэдрлік позицияларда орналасады, ары қарай Mn, Fe, W (оларда октаэдрлерде) орналасады. Мұндай үш қабатты катиондық жайласу периоды оттектің екі қабатты жайласуымен бірлесе құрылымының толық қайталануын тек алтыншы қабатқа әкеледі. Ретсізделген кезде катион қабаты айырмашылығын жоғалтады да қайталану бруциттегі сияқты екі қабаттан кейін ғана келеді, бұл жағдай тордың b_0 параметрін реттелген фазалардың осы параметрімен салыстырғанда үш есе төмендетеді. **Кристалдарының келбеті** (010) бойынша қалақша, тақташа, кейде қысқа бағаналы болады (*167-сурет*). Ең кәдуілгі пішіндері: пинакоидтар $\{100\}, \{010\}, \{001\}$, призма $\{110\}$, дипирамида $\{111\}$ және басқа. Қосақтары (201) бойынша байқалады, көбінесе қалақша-жүрекше тәрізді және қауырсынша айғыздалуымен сипатталады (*168-сурет*). Колумбиттің самарскитпен заңдылықпен кірігуі хатталған.



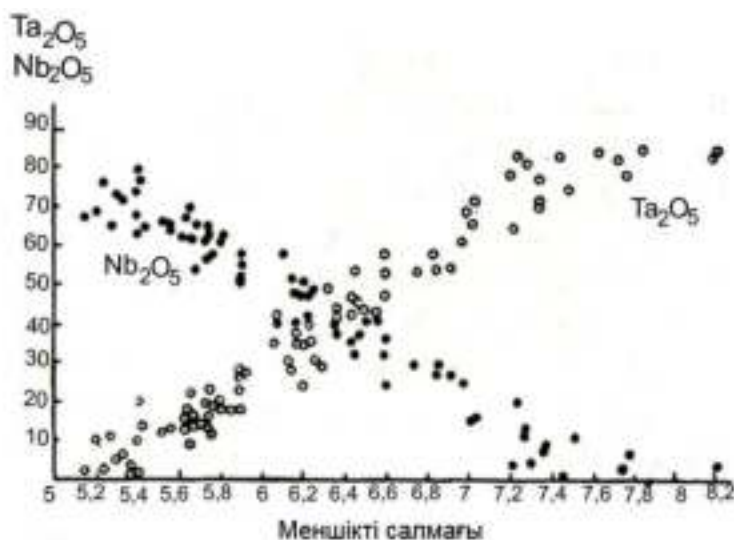
167-сурет. Колумбит кристалдары



168-сурет. Колумбит қосағы

Түсі қара немесе қошқыл-қарадан ашық жирен-қызылға дейін (мангантаналит пен магнотаналит). **Сызық түсі** солғын сары-қызыл немесе қызғылт-қошқылдан (танталиттің) қызғылт-қараға дейін және қоңырдан зәйтүн ренді сұрға дейін. **Жылтырлығы** - колумбит шаламеталшаға дейін, танталит алмасшаға дейін. Беймөлдір, мөлдір мангантаналит пен магнотаналитті айтпағанда.

Қаттылығы 6. Морт. **Жіктілігі** {100} бойынша біршама айқын, омырылымы түйірлі. **Мен. салмағы** 5,15-8,2. Та мөлшері артқан сайын ауырлайды (169-сурет). **Басқа қасиеттері.** Колумбит электр өткізгіш болып табылады, топтың темір ұстамды минералдарында шамалы магниттілік білінеді.



169-сурет. Ta_2O_5 мен Nb_2O_5 мөлшері және колумбит-танталиттің меншікті салмағы арасындағы тәуелділік (Гинзбург бойынша)

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша колумбит пен танталитті танымдау өте қиын. Оларды шатастыруға болады: 1) ильменитпен (айырмашылығы сызық түсі, кристалдарының келбеті және Nb мен Ta-ға теріс реакциясы бойынша); 2) вольфрамитпен, бірақ оның жіктілігі {010} бойынша жетік және қаттылығы төмен болады; 3) ортитпен, оның меншікті салмағы төмен (3,2-4,2) және сызық түсі ашық; 4) самарскитпен, эшинитпен, эвксенитпен және құрамында сирек жерлер мен радиобелсенді элементтер бар басқа да ниобаттармен және танталаттармен, олардан спектрлік және радиометриялық талдау деректерінсіз, сондай-ақ микрохимиялық реакцияларсыз ажырату қиын, дегенмен аталған минералдардың көпшілігіне колумбиттен айырмашылығы ұлуша омырылым мен шайырша жалтырлық тән.

Қышқылдарда ерімейді. Колумбит КОН-пен еріткеннен кейін және сұйылтқан HCl мен H₂SO₄ қышқылдарымен өңдеп, металл Zn қосқаннан кейін орнықты көк бояу береді. Танталит KHSO₄ қосылысымен еріткен соң және HCl қышқылында өңдегеннен кейін сары ерітінді мен ауыр ақ тұнба береді де Zn қосқан кезде ашық-көк түске боялады; бірақ су қосқан кезде көк бояуы жоғалады.

Жаралуы және кенорындары. Әдетте *сирекметалды пегматит* желілерінде пегматит процестерінің кейінгілеу сатыларында жаралатын әр түрлі минералдар бірлестігінде: альбит, кварц, мусковит, турмалин, берилл, эльбаит, циркон, вольфрамит, касситерит, кейде самарскит, монацит және басқа минералдармен бірге кездеседі.

Тотығу белдемінде біршама төзімді минералдар болғандықтан, олар шашылымдарда кездеседі.

Россияда ферроколумбит пен иксиолит *Елаш* (Шығыс Саян) және *Вишняковск* (Иркутск облысы) кенорындарында, *Ильмен* тауларының (Оңтүстік Орал) пегматит кеніштерінде белгілі. Ферроколумбит сондай-ақ *Бирая* (Патом тауы) және *Томтор* (Анабар үстірті) кенорындарында байқалады, бұл жерлерде карбонатит массивінің мору қыртысында таралған. Мангантанталит пен ферроколумбит кварцпен, альбитпен, сподуменмен, лепидолитпен және эльбаитпен бірге *Қарғалы тундра* (Кола түбегі) пегматиттерінде байқалады. Манганколумбит сирекметалды-слюдалы *Пиртима* (Солтүстік Карелия) пегматитінде кварцпен, мусковитпен, альбитпен және амазонитпен бірге және *Улугтанзек* (Тыва Республикасы) кенорнында везувианмен және криолитпен бірге анықталған. Манганколумбиттер *Шиелі* таулардың (Оңтүстік Орал) карбонатит желілерінде табылған. Магнотанталит *Липовка* (Ортаңғы Орал) сирекметалды пегматиттерінде альбитпен, кварцпен, петалитпен, лепидолитпен және эльбаитпен бірге орналасады және де ол *Санарка* өзені (Оңтүстік Орал) шашылымдарында анықталған.

Ферротанталит Қалба жотасындағы *Огневкада* (Шығыс Қазақстан) білінген. Мангантанталит кварцпен, альбитпен, эльбаитпен, лепидолитпен бірге Шығыс Памирде *Мұрғаб* ауданы (Тәжікстан) пегматит желілерінде және *Нуристан* (Солтүстік Ауғанстан) пегматит желілерінде табылған. Басқа

шетел кенорындары ішіндегі белгілері: *Мосса*, *Крагере* және *Финбо* маңындағы кенорындар (Норвегия), *Лиможа* (Франция) маңындағы кенорындар және де *Ивигтут* кенорны (Гренландия), мұнда тамаша жаралған кристалдары кездескен. Айрықша назарға ие болатыны қоры бойынша бай *Джос* үстірті (Нигерия, Африка) кенорындары, олар құрамында акцессор колумбиттің мөлшері жоғары гранит бойынша дамыған қуатты мору қыртысымен байланысты.

Практикалық мәні. Бұл минералдардың айтарлықтай шоғырлары болған жағдайларда олар ниобий пен танталдың көзі ретінде өнеркәсіптік мәнге ие болуы мүмкін. Ниобий мен тантал болаттың айрықша сорттарын өндіруге және басқа мақсаттарға пайдаланылады.

ПИРОЛЮЗИТ – MnO_2 . Грекше *пирос* – от, *люзиос* – жоюшы (шыныжасауда шынының жасыл реңін жою үшін қолданылады). Синонимі: полианит (айқын кристалды түрлесі осылай аталған).

Химиялық құрамы. Mn – 63,2 %. Майда түйірлі және жасырын кристалды массаларда әдетте механикалық қоспалар түрінде болатындар: Fe_2O_3 , SiO_2 , H_2O және басқалар.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^4L^25PC . Кеңістіктік тобы $P4_2/mnm$ (O^{14}_{4h}). $a_0=4,38$; $c_0=2,85$.

Кристалдық құрылымы рутил құрылымына ұқсас. Кристалл түрінде сирек кездеседі (тек бос қуыстарда ғана). **Кристалдарының келбеті** ине және сырықша тәрізді. Пиролозит әдетте тұтас кристалды немесе жасырын кристалды, көбінесе ұнтақ, күйе тәрізді массаларда, кейде псиломеланның бүйрек тәрізді агрегаттары бойынша псевдоморфозаларда байқалады.

Түсі болат-сұр, дисперсиялық массаларда – қара. Кейде көкшіл металша құлпырымы болады. **Сызық түсі** қара. **Жылтырлығы** металшадан шала металшаға дейін. Беймөлдір.

Қаттылығы кристалл дарақтарында 5-6; агрегаттарында 2-ге дейін төмендейді (кеуектілігі мен қопсықтығына байланысты). Өте морт. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша жетік, ол пиролозитке аса тән. **Мен. салмағы** 4,7-5.

Диагноздаушы белгілері. Марганецтің басқа қара, сызық түсі де қара минералдарынан күшті жалтырлығымен, оған тән жіктілігімен, морттығымен және біршама төмен қаттылығымен айрықшалаанады.

500⁰С-қа дейін қыздырғанда өзгермейді, 550-650⁰ С аралығында рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, β-браунит жаралатын (кубтық модификацияда) диссоциация жүреді; ары қарай қыздырған кезде 940-1100⁰ С температурада β-браунит жоғары температураға төзімді гаусманитке өтеді.

НСІ қышқылында хлор бөліп шығарып ериді. Бұл құбылыс химия өнеркәсібінде кеңінен пайдаланылады. Бурамен және фосфор тұзымен тотықтырушы жалында күлгін шыны береді, ал тотықсыздандырған кезде ол түссізге айналады.

Жаралуы және кенорындары. Гидротермалық кенорындарда біршама сирек жаралады және тек айқын тотықтырушы орта жағдайларында, бірақ та жер бетінде марганецтің жоғары табиғи окиселі ретінде, *шөгінді* кенорындардың жағалау фацияларында кең таралған. Тотығу белдемінде ең

төзімді марганец окиселі болып табылады. Мұндай жағдайларда, ақыр соңында оған құрамында тотығудың ең төмен дәрежесіндегі марганец бар марганецті минералдардың барлығы өтеді. Сондықтан пиролюзиттің манганит, вернадит, псиломелан, гаусманит және басқалар бойынша псевдоморфозалары жиі кездеседі. Өзінің морттығы салдарынан шашылымдарда өте сирек байқалады. Марганец телпегі деп аталатындардың барлығында, яғни тотығу белдемдерінде, және де бірқатар шөгінді кенорындарда ұдайы кездеседі.

Россия аумағында *Сапальск* (Орта Орал), *Полуночное* (Солтүстік Орал) және *Мозульск* (Красноярск өлкесі) кенорындарында белгілі. Әлемдегі ең ірі шөгінді кенорындар ішінде мыналарды атау керек: *Чиатура* (Грузия) – мұнда пиролюзит оолит жиырылымдарын (*170-сурет*) жасайды және одан басқа жасырын кристалды жұмсақ агрегаттар түрінде манганит оолиттері бойынша (қабаттардың жер бетіне шыққан жерлерінде) псевдоморфозалар жасайды; *Никополь* (Украина) – мұнда ол кейде ірілеу концентрлі-зоналы құрылысты шар тәрізді конкрециялар түзеді (әдетте манганит бойынша псевдоморфозаларда).



170-сурет. Интерстицияларында ұнтақша родохрозит бар пиролюзит оолиттері (Чиатура, Грузия)

Шетел кенорындарынан Индияның, Алтын Жағаның (Батыс Африка) және басқа елдердің метаморфталған кенорындар тотығу белдемдерін айту керек. Жақсы жаралған кристалдары *Планген* кенорнында (Чехия) анықталған.

Практикалық мәні. Таза пиролюзит рудасы әр түрлі мақсаттарда пайдаланылады: 1) құрғақ электр батареяларын өндіргенде; 2) осы мақсат үшін жасанды белсенділендірілген өнімдер даярлауға; 3) шыны ісінде жасыл шыныны түссіздендіруге; 4) медицинада және басқа мақсаттарда қолданылатын химиялық препараттар даярлауға; 5) көміртек тотығынан қорғану үшін арнайы газқорғаныштар, автомобиль қозғалтқыштары және басқалар шығаратын газдардың зиянды қоспаларынан тазарту үшін гопкалит типті катализаторлар өндірісінде; 6) техникада олифа, май, шайыр өндірісінде, тері илеу ісінде хромдалған тері илеуде, фотографияда, бояу өндірісінде және т.б. Құрғақ батареялар өндірісі мақсаттарында рудадағы марганец қостотығының мөлшері 80 % шамасынан төмен болмауы тиіс.

9. Перовскит тобы

Перовскит (CaTiO_3) химиялық формуласы бойынша корунд үшін типикалық құрылымда кристалданатын бұрынырақ қарастырылған ильменитке толықтай ұқсас, бірақ кристалдық құрылымы бойынша айтарлықтай айрықшалаанады. Бұл жағдай Ca^{2+} ионының Mg^{2+} , Fe^{2+} және Mn^{2+} иондарына қарағанда едәуір үлкен радиусқа ие болатындығына байланысты.

Соңғы жағдай перовскит тобы минералдарына кіретін элементтер бірлестігінде де көрініс табады.

Ең алдымен, Са-дің изоморфты баламалары түрінде кейбір минералдарда үш валентті сирекжерлер кездеседі: Се, La, және де Y, бұл әрине түсінікті (Ca^{2+} иондары бірдей шамадағы Na^{1+} иондарымен алмасқан жағдайларда).

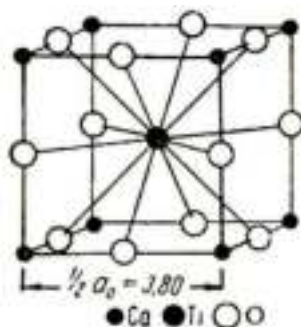
Содан соң, дәл рутил тобындағы сияқты, Ti^{4+} жартылай немесе айтарлықтай шамада Nb^{5+} немесе Ta^{5+} иондарымен алмаса алады, бірақ барлық катиондардың жалпы заряды бұзылмаған жағдайларда ғана, яғни онда бізде Ca^{2+} ионының орнына бір валентті иондар болуы тиіс. Шынында, мұндай жағдайларда Ca^{2+} ионында изоморфты қоспа түрінде тең шамалы Na^{1+} ионы пайда болады. Мұнда қосылыстың кристалдық құрылымы сақталады. Мысалы, *луешит* NaNbO_3 дәл перовскиттегідей кристалдық құрылымға ие болады; Ca^{2+} орындарын Na^{1+} алады, ал Ti^{4+} орындарында Nb^{5+} иондары орналасады. Са ионында шамалы мөлшерде изоморфты қоспалар түрінде кейде U^{4+} мен Th^{4+} болады.

ПЕРОВСКИТ – CaTiO_3 . Осылайша әуесқой-минералог граф Л.А. Перовскийдің (1792-1856) құрметіне аталған.

Химиялық құрамы. CaO – 41,1 %, TiO_2 – 58,9 %. Шамалы мөлшерде қоспа түрінде Fe (2 %-ке дейін), кейде Cr, Al, Nb (дизаналит) және TR (кнопит) болады.

Сингониясы сыртқы пішіндері бойынша кубтық. Бірақ әдетте оптикалық анизотроп және миметикалық құрылысымен әрі жақтарында қосақтық торларымен сипатталады. Бұл жағдай оның төмендеу температуралы ромбылық модификацияға айналатынын куәландырады (топ минералдарынан тек *таусонит* SrTiO_3 қана кубтық симметрияға ие болады). Кристалдық құрылымы мінсіздендірілген түрде *171-суретте* бейнеленген. Куб центрінде Са орналасады, төбелері бойынша Ti, ал қырларының орталығында О болады. Титан мұнда октаэдрлік координацияда болады. Төбелерімен байланысты $[\text{TiO}_6]$ октаэдрлері TiO_3 құрамды қаңқа жасап, ол синтетикалық ReO_3 құрылымына сай келеді, бірақ теріс зарядталады. Қаңқаның кубоктаэдрлік бос жерлерінде оның зарядын өтемелеуші кальций катиондары орналасады. Н.В. Белов көрсеткендей, перовскиттің ең тығыз жайласу принципі бойынша тұрғызылған кристалдық құрылымында кальций катиондары өздерінің өлшемдері бойынша біршама ірі болатындықтан, оттек аниондарының ең тығыз жайласуында өздері қатысады. Мұнда (001) бойымен қимасында O^{2-} иондары мен Ca^{2+} иондары шахмат ретімен біз NaCl

құрылымындағыға ұқсас сияқты көретіміздей, бір-бірімен алмасады. Мұндай жағдайда перовскит кристалдары неге кубтық пішінге және куб бойынша жіктілікке ие болатыны түсінікті болып шығады.



171-сурет. Перовскиттің кристалдық құрылымы

Кристалдарының келбеті. Біршама жиі кездесетін кристалдары кейде ірілеу болады, кубтық келбетке ие. Кубтың жақтарында оның қырларына параллель айғыз байқалады (172-сурет). Айғыздау оның ромбылық модификацияға айналған кездегі қосақталу нәтижесі екендігі көрінеді. Сондай-ақ бүйрек тәрізді жаралымдары да кездеседі, мұнда ұсақ кубиктері ажыратылады.



172-сурет. Перовскит кристалы

Түсі. Перовскит сұрғылт-қара, қызғылт-қошқыл, жирен-сары және ашық-сары болып келеді. Сызық түсі ақ немесе сұрғылт-сары. **Жылтырлығы** алмасша. $N=2,34$.

Қаттылығы 5,5-6. **Жіктілігі** куб бойынша айқыннан орташаға дейін. **Мен. салмағы** 3,97-4,04.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарына кубтық келбет өте тән, олардың жақтары перпендикуляр бағдарланған қысқа айғыздармен көмкерілген (қырларына параллель). Өзіне түсі және қаттылығы бойынша ұқсас келетін басқа минералдардан өте нашар боялған немесе ақ сызығымен ажыратылады.

Тек қайнап жатқан H_2SO_4 қышқылында ғана немесе $KHSO_4$ ерітіндісінен кейін ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Перовскит әдетте ірі шоғырлар жасамайды. Ол сеппелер түрінде кейбір сілтілі базальттарда (мелилитті, лейцитті және басқа), кейде титанмагнетит және хромит кенорындарында кездеседі. Хромитұстамды перовскит *Саран* хромит кенорнында (Орал) кездескен. Перовскит кристалдарының ең жақсы табылымдары жаралымы

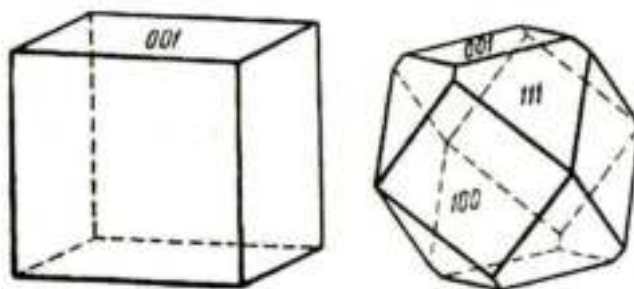
бойынша ерекше (негізді интрузиялық таужыныстарға байланысты) *Назым* және *Шишим* тауларындағы (Оралдың Златоуст ауданы) жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда жасалған – белгілі *Ахматовск*, *Николай-Максимиановск*, *Мельниковск* және басқа кеніштерде, олардағы минералдардың парагенетикалық топтамалары аса қызғылықты: эпидот, клинохлор, магнетит, хондродит, Ті-клиногумит, хегбомит және басқа. Перовскиттің айрықша ірі кристалдары *Мельниковск* кенішінде метакристалдар түрінде хлоритті тақтатастар мен мәрмәрленген әктаста кездескен. Олар және де ашық жарықшақтарда хлорит, магнетит, титанит, анартастар және басқалар кристалдарымен бірлестікте жаралған. Перовскиттің ірі октаэдрлік кристалдары магнетитпен, титанитпен, кальцитпен және эгирин-диопсидпен бірге *Африканда* (Кола түбегі) сілтілі-ультранегізді массивінің клинопироксендерінде орналасады. Ниобийге байыған перовскит (дизаналит) Ковдор маңындағы *Моговид* тауында карбонатит желілерінде (Кола түбегінің батысы) кездескен. *Тажеран* сілтілі-ультранегізді комплексінің (Прибайкалье) карбонатиттерінде де бар. Перовскит бірқатар шетел кенорындарында да таралған, олардың ішінде *Церматт* (Швейцария) аңғары кенорындарын атаймыз.

Дербес практикалық мәнге ие болмайды, ниобийұстамды дизаналитті айтпағанда.

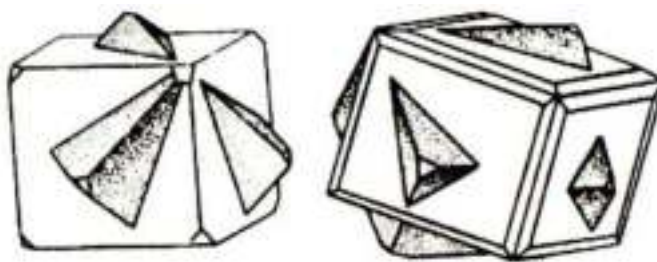
ЛОПАРИТ – $(\text{Ce,Na,Ca})(\text{Ti,Nb})\text{O}_3$. Алғаш И.Г. Кузнецов оны Кола түбегінде сипаттап, түбектің жергілікті тұрғындары – лопари халқы құрметіне атаған.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Талдау деректері бойынша оның құрамына кіретіндер, %: TiO_2 39,2–40; TR_2O_3 32–34; $(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_5$ 8–10; CaO 4,2–5,2; Na_2O 7,8–9; SrO 2–3,4; K_2O 0,2–0,7; UO_2 жүздік бөліктері; TiO_2 0,2–0,5; SiO_2 0,2–0,7, ал өзгерген түрлестерінде олардан басқа H_2O 3,5 % шамасына дейін.

Сингониясы кубтық (ромбылық жалған кубтық болуы ықтимал); симметрия түрі гексаоктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. **Кристалдық құрылымы** перовскит құрылымына ұқсас. **Кристалдарының келбеті.** Лопарит басым көпшілігінде куб кристалдары түрінде кездеседі, кейде жақтары $\{111\}$ доғалданады (*173-сурет*), әдетте өте ұсақ (1–2 мм, кейде көлденеңінде 1,5 см-ге жетеді). Бұл кристалдар әрдәйім дерлік флюорит заңы бойынша қосақтанған (*174-сурет*).



173-сурет. Лопарит кристалдары



174-сурет. Лопарит қосақтары

Түсі қара немесе сұрғылт-қара. **Сызық түсі** қоңырқай-қара. **Жылтырлығы** шала металша. Жұқа шлифтерде қошқыл-қызыл түсті жарық өткізеді. $N=2,24$. Оптикалық аномалиялар байқалады.

Қаттылығы 5,5–6. **Жіктілігі** жоқ. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** 4,75–4,89.

Диагноздаушы белгілері. Түсінен, сызығынан және қаттылығынан басқа флюорит заңы бойынша кірігу қосақтары аса тән, радиобелсенділігі нашар.

НСІ қышқылындағы қорытпа ерітіндісі қалайымен қайнатқан кезде күлгін түске боялады (титанның тотықсыздану реакциясы); содан кейін көгілдір бояу пайда болады (ниобийге реакция). Қалайы болған кезде фосфор тұзының перлі тотықсыздандыру жалынында сары түсті болады; суынғаннан кейін күлгін түске боялады (титанға реакция). Қышқылдарда ерімейді. HF қоспасына жақсы ыдырайды. $KHSO_4$ қосылысымен оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Лопарит *сілтілі магмалық таужыныстардың* екінші дәрежелі минералы ретінде белгілі. Ол сондай-ақ сілтілі таужыныстармен байланысты көптеген пегматит желілерінде шоғырланған сеппелер түрінде немесе далашпаттарда, эвдиалитте (күрделі құрамды натрий және цирконий силикаты) және басқа минералдарда ұсақ кристалшалар кірінділері түрінде кездеседі. Онымен парагенезисте әдетте далашпаттар (микроклин, альбит), нефелин, эгирин, эвдиалит, титанит және кейбір басқа минералдар кездеседі. Лопарит кристалдарында, әсіресе ірілерінде қоршаған минералдар кірінділері болады; олар метасоматоздық жолмен дамыған яғни метакристалдар болып табылады.

Біршама біркелкі шашыранды кристалшалар түрінде ол *Ловозерск тундрасындағы* (Кола түбегі) малинъитте – күңгірт майда түйірлі эгиринде ($NaFe[Si_2O_6]$) және калишпатқа байыған нефелинді сиенитте таралған; мұнда малинъит ауданы бойынша айтарлықтай горизонттарды құрайды және қалыңдығы шамалы болғанның өзінде Nb қорын алдағы көптеген жылдарға қамтамасыз етеді. *Коргередаба* (Тыва Республикасы) сілтілі сиенит массивінде белгілі.

Практикалық мәні. Лопарит ниобийдің, сирекжерлердің, танталдың, титанның және басқа элементтердің көзі ретінде қызығушылыққа ие. Ниобий соңғы кезде феррониобий түрінде сапалы болат металлургиясында және алюминиймен, никельмен және басқа металдармен бірге оттөзімді қорытпалар даярлауда үлкен мәнге ие болады. Феррониобийді болатқа қосу оған бірқатар тамаша қасиеттер береді: 1) ауада шындалудан сақтайды; 2)

серпімділік пен майысқақтығын арттырады; 3) дәнекерлік қасиетін елеулі жақсартады, оттөзімділік, қышқылтөзімділік және басқа қасиеттер береді. Ниобийлі (танталды сияқты) қорытпалардан жоғары сапалы аса қатты қорытпалар маңызды мәнге ие болады. Бұл қорытпалар қатты болатын кесу үшін қолданылатын бұрғылау, тесу, аралау құралдарын даярлау үшін, сондай-ақ сағат серіппелері өндірісінде қолданылады. Одан басқа, ниобий мен тантал арнайы электр шамдарының сымын жасау үшін пайдаланылады. Тантал сонымен қатар электроникада қуатты шамдарды даярлауға, платина, иридий және басқа металдардың алмастырушысы ретінде қолданылады. Сирек жерлердің қолданылуы туралы *монацитте* айтылады.

10. Пироклор тобы

Мұнда химиялық құрамы бойынша перовскит тобына жақын болғанымен, бірақ химиялық формуласы бойынша айрықшаланатын, атап айтқанда қосымша аниондарының болуы бойынша басқаша минералдар біріккен. Бұл топтың көптеген өкілдері ішінде пироклор мен микролитті және олардан басқа мұнда эшинит пен самарскитті сипаттаймыз.

ПИРОХЛОР – $(\text{Na}, \text{Ca} \dots)_2(\text{Nb}, \text{Ti} \dots)_2\text{O}_6[\text{F}, \text{OH}, \text{O}]$, **МИКРОЛИТ** – $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Ta}, \text{Nb}, \text{Ti} \dots)_2\text{O}_6[\text{F}, \text{OH}]$. Атауы грекше *пирос* – от, *хлорос* – жасыл (кейбір түрлестері дәнекерлеуші түтікше алдында сарғыш-жасыл түске айналады).

Уран мен торийге байыған және метамикті күйде болатын түрлестері құрамында айтарлықтай мөлшерде H_2O болады (7–14 %), сілтілер болмайды және кальций окисі біршама жұтаң, мұндағы титан өз позициясында әдетте басымдыққа ие (бұл жағдайға *бетафит* минералдық түрі сай келеді). Метамиктілі түрлестерінде кристалдарының кубтық немесе октаэдрлік сыртқы пішіндері сақталады, кейде еріп кеткен сияқты қисық жазықтықты жақтары болады.

Химиялық құрамы өте тұрақсыз. Жекелеген компоненттерінің мөлшері жалпы пироклор-микролит изоморфты қатары үшін мынадай шектерде ауытқиды, %:

Nb_2O_5 63–0;	Na_2O ... 1–6;	$(\text{Ce}, \text{La})_2\text{O}_3$... 2–13,3;
Ta_2O_5 ... 0–77;	K_2O ... 0–1,4;	$(\text{Y}, \text{Er})_2\text{O}_3$... 0–5,1;
TiO_2 ... 2–13,5;	CaO ... 4–18,1;	SnO_2 ... 0–4;
ThO_2 ... 0–5;	MnO ... 0–7,7;	ZrO_2 ... 0–5,7;
UO_2 ... 0–11,4;	FeO ... 0–10;	WO_3 ... 0–0,3;
UO_3 ... 0–15,5;	Fe_2O_3 ... 0–9,7;	H_2O ... 0–6.

Олардан басқа кейде болатындар: Sb_2O_5 , MgO , PbO (радиобелсенді ыдырау өнімі екендігі көрінеді), HfO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , SrO , BeO , CuO , Bi_2O_3 , GeO_2 және басқалар.

Мұнан көрінетіні, бұл минералдардың химиялық құрамындағы басты өзгерістер Nb_2O_5 пен Ta_2O_5 мөлшерінің ауытқуларында бейнеленеді.

Қаңқадан тыс позицияда Ва, Sr және Pb сияқты басымдықтағы атомдары бойынша сирек минерал түрлерінің үлкен саны бөлінеді.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексооктаэдрлік $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$. Кеңістіктік тобы $Fd\bar{3}m(O^7_h)$. $a_0=10,35$. **Кристалдық құрылымы.** Метамиктілік ыдырауға ұшырамаған үлгілер (радиобелсенді элементтерге жұтан) кубтық кристалдық құрылымға ие болады. Бұл құрылым біршама бұрмаланған кубтық жайласуға негізделген. Аниондардың бір бөлігінің болмауы құрылымға қаңқалық тұрғызылым сипатын береді. Сирек металдар мен титан төбелері арқылы байланысқан октаэдрлерде орналасады, ал сілтілі және сілтіжер металдар болса, олар аниондық жайласудағы бос орындарды пайдаланып, ірі қуыстарда шоғырланған. **Кристалдарының келбеті** октаэдрлік (175-сурет). Кристалдары кейде көлденеңінде 5 см-ге жетеді. Көбінесе октаэдр кристалдары куб жақтарымен доғалданған. Сонымен қатар, тұтас массаларда және кейде колломорфтық бөлінімдерде кездеседі. Цирконмен (111) жазықтықтары бойынша заңдылық кірікпелері байқалған, мұнда пироксидтердің октаэдр жағы цирконның тетрагондық дипирамида {111} жағына сәйкес келеді.



175-сурет. Пироксид кристалы

Түсі. Пироксид күңгірт-қошқыл, қызғылт-қошқыл, сарғыш-жасыл, кейде қошқылдау-қара болады. Микролитке өткен сайын ағарады да біртіндеп солғын-жирен, сарыдан лимон-сарыға (микролит) ауысады, бетафит әдетте күңгірт-қошқыл, қара. Беткі жағында өзгеруі салдарынан кейде ақшыл-сары жиек жаралады (оптикалық анизотроп минералға айналады, жақынырақ зерделенбеген). **Сызық түсі** солғын-сарғыштан ақшыл-қошқылға немесе қызғылт-сарыға дейін. **Жылтырлығы** алмасша, майлы немесе шайырша (метамиктілі түрлестерінде). Шаламөлдір немесе мөлдір. $N=2,13-2,27$ (метамиктілі түрлестерінде 1,96-ға дейін төмендейді). **Қаттылығы** 5–5,5. Морт. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ. **Мен. салмағы** 4,03–4,36. Танталды түрлестерінің меншікті салмағы жоғары (4,9-ға дейін). **Қалған қасиеттері.** Кейде күшті радиобелсенді болады. Өзгерген түрлестері қыздырған кезде жарқыл береді (500°C температура шамасында).

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының октаэдрлік келбеті, түсі, майлы алмасша жалтырлығы, ұлуша омырылымы тән. Сондай-ақ сілтілі интрузиялық таужыныстарға (нефелинді сиенит және сиенит пегматиттері) байланысымен сипатталады. Цирконға өте ұқсас, онымен кейде кіріккен күйде болады; шеелитке де ұқсайды, бірақ одан қаттылығымен және жіктілігінің болмауымен өзгешеленеді.

Кейбір түрлері қыздырған кезде сарғыш-жасылға айналады. Бурамен тотықтырушы жалында қызғылт-сары және тотықсыздандырушыда – күңгірт-қызыл шыны береді. Күшті H_2SO_4 мен HF қышқылдарында ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Нефелинді сиенит пегматиттерінде далашпаттармен, негізінен альбитпен, кейде цирконмен, эгириноммен, амфиболмен, биотитпен, апатитпен, ильменитпен, сфенмен, кальцитпен және пегматитжаралудың ең соңғы флюорит-гидротермалық сатысында жаралатын басқа да минералдармен бірлестікте кездеседі (*Шиелі тау* кенорындары, Оңтүстік Орал). Көбінесе онымен тығыз кірігетін альбиттің өзіндік қоңырқай-сары түске боялуы байқалады. Пироклор және де карбонатит массивтеріне де тән: мысалы, *Белая Зима* (Шығыс Сібір) мен *Татарка* (Енисей бұйраты), мұнда ол кальцитпен, флогопитпен, TR фторид-карбонаттары бастнезитпен және паризитпен бірге кездеседі. Микролит ұсақ кристалдар түрінде *Мурзинканың* гранит пегматиттерінде (Оңтүстік Орал) белгілі, мұнда ол ең соңғыларының бірі болып альбит пен лепидолиттің бетіне өседі. Стронциопироклор лопарит бойынша псевдоморфозалар түрінде цирконмен бірге альбиттенген нефелинді сиенит пегматитінде және *Ловозерск* тундрасындағы Mn-ильменитте анықталған. *Плоская* тауының (Кейва қырқасы, Кола түбегі) сирекметалды-амазонитті пегматиттерінде қырында 5 см болатын плюмбомикролит кубоктаэдрі кездеседі. Бетафит *Пичехола* (Сангилен тауы, Тыва Республикасы) сілтілі пегматиттерінде мозандритпен, лопаритпен, торитпен және бастнезитпен бірге байқалған. Күңгірт-қошқылдан қараға дейінгі октаэдрлер түріндегі бетафит астрофиллитпен, галенитпен және полилитионитпен бірге *Дарач-Пиоз* (Алай жотасы, Тәжікстан) массивінің сілтілі-гранит пегматиттері осьтік зоналарының гранулиттенген кварцында байқалған.

Пироклордың туынды өнімге ең соңғы айналулары пироклордың октаэдрлік кристалдары бойынша псевдоморфозалары түрінде анықталған. Бұл псевдоморфозалардың кейде күмпью жарықшақтары болады және кристалдардың өзі мұнда біршама бұрмаланған октаэдрлік келбетті қабылдайды. Осы қайта жаралатын минерал оптикалық изотропты. **Түсі** ашық-сары. *N* шамамен 2,1.

Пироклор жаңажаралым ретінде кейде ильменорутилдің $(Ti,Fe,Nb)O_2$ эндогендік ыдырауы кезінде пайда болатын ильменит агрегатында байқалады.

Шетел кенорындарынан тек қоры бойынша ірі *Тапираны* ғана атаймыз (Серра да Канастра штаты, Бразилия).

Практикалық мәні. Өлшемі мен қоры бойынша айтарлықтай кенорындар болған жағдайда ниобий, тантал және уранға шикізат ретінде өнеркәсіптік қызығушылыққа ие болады. Ниобийдің қолданылуы туралы *лопаритте* айтылған.

ЭШИНИТ ТОБЫ – $(TR,Ca,Th,Fe\dots)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$. Атауын И.Я. Берцелиус грекше *эсхине* – ұят деген сөзбен берген (химиялау талдау жүргізгенде осы минералдың құрамындағы компоненттерді бөліп алу мүмкін

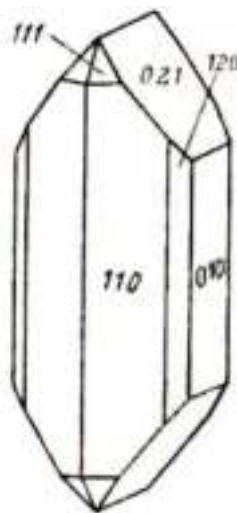
болмаған). Эшиниттер құрамы бойынша сирек жерлер мен кальцийдің титан-тантал-ниобаттары болып табылады.

Топта сегіз минералдық түр болады, олар бірінші және екінші позициялардағы басым элементтері бойынша бөлінеді. Титандоминантты түрлерінде басым сирекжер элементі бойынша ажыратылатындар: *эшинит*-(Ce), *эшинит*-(Nb) және *эшинит*-(Y), ол бұрын «приорит» деген атпен белгілі болған. Екі Nb-доминантты сирекжер түрі болады: *ниобозэшинит*-(Ce) және *ниобозэшинит*-(Nd). Бірінші позициясында Ca басым болатын екі түрі және әр түрлі толтырымды екінші позициясы белгілі: *виджециит* (Ca,TR...)(Nb,Ta)₂O₆ және *ринерсонит* (Ca,TR...)(Ta,Nb)₂O₆; соңғысының сирекжерлі баламасына *танталэшинит*-(Y) жатады.

Аталған түрлер аралығында көпшілік бөлігінде жетік изоморфизм байқалады.

Сингониясы ромбылық. Құрылымы таспалы-координациялы қаңқалыға жақын. Оттек октаэдрлері Ta, Nb-мен *c* осі бойынша созылған тізбектері ортақ төбелері арқылы байланысқан, мұндай тізбектер жұптары ортақ көлбеу қырлары арқылы таспаларға байланысқан, ал олар басқа таспалармен ортақ төбелерге ие болады. Таспалараралық түтік тәрізді бос жерлерінде сирек жерлер катиондары орналасады. **Кристалдары** жалпайған-призма, кейде олардың ұзындығы 12 см-ге жетеді (176-сурет). Түсі қара, қоңыр-қара. **Сызық түсі** күңгірт-қошқылдан қоңырға дейін. **Жылтырлығы** алмасша, майлы. Метамиктілік ыдырауға ұшыраған түрлестері изотропты. $N=2,26$.

Қаттылығы 5-6. **Омырылымы** ұлуша. **Мен. салмағы** 5,16-5,23. HF қышқылынан басқаларда ерімейді.



176-сурет. Эшинит кристалы

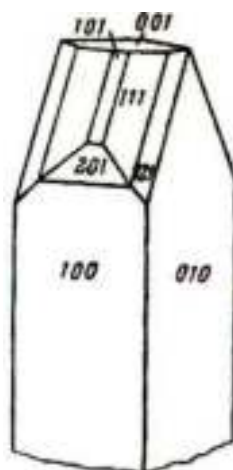
Эшинит тобының минералдары нефелинді сиенит пегматиттерінде нефелинмен, дала шпаттармен, биотитпен, мусковитпен, магнетитпен, цирконмен және басқа минералдармен бірлестікте, сондай-ақ карбонатиттерде кездеседі. Эшинит-(Ce) мен эшинит-(Y) *Ильмен* қорығының кеніштерінде, ниобозэшинит-(Ce) – *Шиелі* тауларда (Оңтүстік Орал), сондай-ақ *Хиттере* кенорнында (Оңтүстік Норвегия) және басқа жерлерде

анықталған. Эшинит-(Y) *Абчада* (Прибайкалье), ал ниобозшинит-(Nb) *Биря* кенбілімінде (Патома тауында) белгілі.

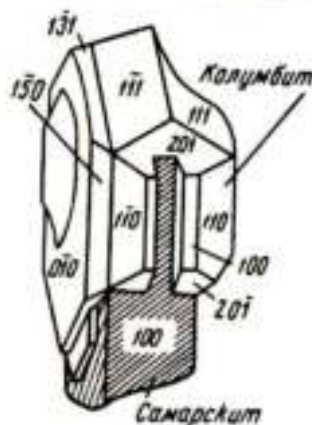
САМАРСКИТ – $(Y,Er,Fe,U\dots)_4[Nb,Ta)_2O_7]_3$. Сингониясы ромбылық. Кен инженерлері корпусының штаб бастығы В.Е. Самарскийдің (1803-1870) фамилиясы бойынша аталған. Химиялық құрамы аса күрделі. Басты компоненттердің мөлшері мынадай шамаларда ауытқиды, %:

Y_2O_3	...6,41–14,49;	Nb_2O_5 ...	27,77–46,44;	ThO_2 ...	0–4,23;
Er_2O_3	...2,72–13,37;	Ta_2O_5 ...	1,81–27,03;	UO_2 ...	4,02–16;
Ce_2O_3 ...	0,25–3,82;	TiO_2 ...	0–1,42;	PbO ...	0–0,98;
La_2O_3	...0,37–1,07;	ZrO_2	...0–2,29;	CaO ...	0–2-3,79;
$(Pr, Nd)_2O_3$...	0,74–4,17;	SnO_2	...0–0,95;	FeO ...	0–11,15.

Призмалық, кейде қалақша кристалдарда кездеседі, жақтары күңгірт болады (*177-сурет*). Жақтарынан ең жиісі пинакоидтар $\{100\}$, $\{010\}$ және призма $\{101\}$. Бұрыс пішінді түйірлері де, кейде тұтас массалары да байқалады. Колумбитпен заңдылық кірікпелері қызғылықты (*178-сурет*). Колумбит кристалдарының барлық жағынан самарскиттің жұқа қабатымен көмкерілу жағдайлары белгілі, сонда колумбиттің сыртқы келбеті сияқты кристалдар жаралады.



177-сурет. Самарскит кристалы



178-сурет. Самарскиттің колумбитпен бағдарлана кірігуі. Үлкейтілген (Д.П. Григорьев бойынша)

Түсі барқыт-қара, қошқылдау-қара. **Сызық түсі** күңгірт қызғылт-қошқылдан қараға дейін. **Жылтырлығы** күшті шайырша тәрізді болады. Беймөлдір дерлік. Жұқа шлифтерде қоңыр жарық өткізеді. $N=2,21-2,25$ (метамиктілі күйдегі түрлестері үшін). Кейде күшті қосыну байқалады. **Қаттылығы** 5–6. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 5,6–5,8. Күшті радиобелсенді.

Диагноздаушы белгілерінен самарскитке кристалдарының күңгірт жақтарының барқыт-қара түсі, күшті шайырша жалтыр ұлуша омырылымы.

Фосфор тұзымен тотықтырушы да, тотықсыздандырушы да жалында изумруд-жасыл шыны береді. $KHSO_4$ құрамында балқиды. Тұзқышқылды ерітінді қалайымен немесе мырышпен бірге қыздырған кезде көкшіл түске боялады (ниобийге реакция).

Уралда *Ильмен* қорығы сиенит-пегматит желілерінде оның маңында қызғылт-қошқыл түске боялған далашпаттармен (самарскит элементтерінің радиобелсенді ыдырау өнімдері әрекетінің нәтижесі), және де колумбитпен, эшинитпен, корундпен, монацитпен, анартастармен, турмалинмен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі.

Шетелдіктерден *Солтүстік Каролина* (колумбитпен) және *Мэриленд* (АҚШ), Мадагаскар аралы (*Антанамалаза*), Мосс маңы (Норвегия) кенорындарын айтуға болады.

11. Уранинит тобы

Мұнда төртвалентті U, Th және Zr металдардың қостотығы жатады: *уранинит* (UO_2), *торианит* (ThO_2) және *бадделеит* (ZrO_2). Бұл жерде біз тек уранинитті ғана сипаттаймыз.

УРАНИНИТ - UO_2 . Атауы құрамы бойынша берілген. Уран мен радийдің ең маңызды көзі болып табылады.

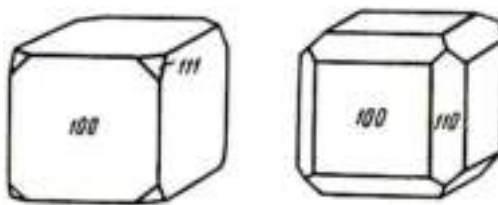
Химиялық құрамы – кездесетін кристалдарында жазылған формулаға сәйкес келмейді; ол UO_2 мен UO_3 аралығындағы өтпелі болады да U_3O_8 қосылысына жетуі мүмкін. Химиядан ескертеміз, уран оттегімен мынадай қосылыстар береді: UO_2 – уран закисі, сондай-ақ қара түсті уран қостотығы деп те аталады, және UO_3 – уранның сары түсті аморфты ұштотығы.

Уранинит құрамында U^{+6} болуы тотығу процесіне байланысты болуы ықтимал. Құрамында радиобелсенді түрленудің Ra, Ac, Po және басқа өнімдері болады. U мен Th радиобелсенді ыдырауының ақырғы өнімі ретінде уранинитте әрдәйім радиогендік Pb (Pb^{206} , Pb^{207} және Pb^{208} изотоптары) болады. Оның мөлшері көбінесе 10-20 % шамасына жетеді. Бірақ уран рудаларында кәдімгі қорғасын да жиі кездеседі (галенит қоспасы болуынан), оның құрамында аталған изотоптардан басқа тұрақты мөлшерде (10 % шамасында) басқа изотоптарға қатысты Pb^{204} изотопы да болады. Арнайы клевет немесе нивенит деп аталатын ураниниттің кейбір түрлестері құрамында сирек жерлер (Ce, La, Er,...), және де Y болады. Олардың мөлшері

бірнеше процентке (12 %-ке дейін) жетеді. Пегматиттерде кездесетін ірі кристалды түрлестері құрамында Th болуы тән.

Кейде елеулі мөлшерде (7,5 %-ке дейін) Zr болады. Сондай-ақ He, Ar, N, CO₂ және басқа газдар да анықталады. Гелий барлық жағдайларда радиобелсенді ыдырау нәтижесі болып табылады. Әрдайым дерлік зат өзгергенде оның құрамына кіретін H₂O болады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік $Fm\bar{3}m(O^5_h)$. $a_0=5,47$. **Кристалдық құрылымы** флюорит типті (135-суретте). **Кристалдарының келбеті** кубтық, октаэдр мен ромбылық додекаэдр жақтары бағынышты дамыған (179-сурет). Октаэдр, кейде ромбододекаэдр кристалдары кездеседі. Олардың өлшемдері әдетте шағын (кейде 1 см-ге дейін). Таужынысқа енген түрде байқалады. Кірігу қосақтары флюорит заңы бойынша сирек. **Агрегаттары.** Көбінесе сферолит құрылысты колломорфты бүйрек пішінді түрде байқалады. Мұндай түрлестері уранның шайыр рудасы, уран шайыршасы, настуран (грекше *настое* – тығыз) деп аталады. Ақырында, уран креукесі деп аталатын күңгірт күйе тәрізді жұғындылары және ұнтақ массалары байқалады.



179-сурет. Уранинит кристалы

Түсі қара, кейде шамалы күлгін реңді. Жұқа шлифтерде өтетін жарықта беймөлдір немесе күңгірт-қошқыл жарық өтеді, ал өзгерген бөлікшелерінде жасылтым реңді. Сызық түсі қошқыл-қара, шамалы жылтырауық. **Жылтырлығы** шаламеталша, көбінесе нағыз шайырша, ал өзгеріске ұшыраған түрлестерінде балауызша немесе күңгірт.

Қаттылығы 5-6, күшті өзгеріске түскен түрлестерінде 3-ке дейін төмендейді. Морт. Омырылымы бейтегіс, ұлушаға жақындайды. **Мен. салмағы** 10,3-10,6, күшті өзгерген түрлестерінде одан төмен. Әдетте 8-ден 10-ға дейін ауытқиды, кейде 6,5-ға дейін, және тіпті 4,5-ға дейін жетеді. **Басқа қасиеттері.** Күшті радиобелсенді.

Диагноздаушы белгілері. Қара түсі, омырылымында шайырша күшті жалтырлық, жоғары меншікті салмағы және күшті радиобелсенділігі тән. Тотыққан үлгілеріне аса тәні және де гумиттермен жирен және сары түске ашық боялған ураниниттің немесе уран шайыршасының полиминералды қирау өнімдерімен бірлестігі.

Ураниниттің айтарлықтай тотыққан түрлестері HNO₃, H₂SO₄ және HF қышқылдарында біршама оңай ериді. Тұз қышқылы оны өте баяу ерітеді. Ең оңай ерігіштікке құрамында сирекжерлер бар түрлестері ие болады. Бура перлі тотықсыздандырғыш жалында жасыл, ал тотықтырғышта – сары.

Ерітіндіні аммиакпен бейтараптандырған кезде сары тұнба $(\text{NH}_4)_2\text{UO}_2$ – уранат аммонийі отырады.

Жаралуы және кенорындары. Уранинит кенорындары арасында мынадай басты генетикалық типтері ажыратылады.

1. Гранит және сиенит *пегматиттеріндегі* уран минералдарының шоғырлары, мұнда уранинит біршама сирек кездеседі және әдетте торий, сирек жерлер, ниобий, тантал (стриверит, фергюсонит, монацит және басқа) минералдарымен және де турмалинмен, цирконмен, далашпаттармен, слюдалармен парагенезисте, кейде уранды көміртектілі қосылыстармен: «тухолитпен», «карбуранмен» және құрамы анық емес басқа минералдармен бірлестікте өте әркелкі таралған. Микроскоптық зерттеулер бойынша, «тухолит» пен «карбуран» дербес қосылыстар түрінде кездеспейді, тек көміртектілі заттың уранинитпен механикалық қоспасы болып табылады.

Жоғары температура жағдайларында жаралған уранинит құрамында әдетте торий және сирекжерлер болады. Уранинит Россияда қырында 2 см-ге дейінгі куб кристалдары түрінде *Хитострова* (Солтүстік Карелия) кварц-плагиоклаз пегматит желісінде байқалған.

2. Уран окиселдері айтарлықтай көп мөлшерде *гидротермалық* кенорындарда таралған. Уран шайыршасы осы типті кенорындарда кейде Ni және Co арсенидтерімен (никелин, скуттерудит, раммельсбергит), сомтума висмутпен, кейде висмутинмен, сомтума күшәламен, сомтума күміспен, аргентитпен, басқа жағдайларда – гематитпен, бірақ көбінесе кальций мен темір карбонаттарымен, ыдыраған қара флюоритпен және басқа минералдармен бірлестікте болады. Дегенмен басты массада уран шайыршасы карбонат желілерде және желішіктерде сирек сульфидтермен, кейде қара флюоритпен және басқа минералдармен бірлестікте дербес бөлінімдер жасайды.

Бұл типті кенорындардан кең белгілісі *Яхимов* кенорны (Чехия), мұнда настуран карбонат желілерде күшәламен, күміспен, раммельсбергитпен бірге кездеседі. Колорадодағы *Джиллин* ауданы (АҚШ) кенорындарында уранинит кварц-сидерит желілерде колломорфты бөлінімдер түрінде пиритпен, халькопиритпен, сфалеритпен, галенитпен, сирек сомтума висмутпен және басқа минералдармен бірлестікте болады. Уранинит *Гвадалупе* алтын рудалы кенорнында (Чиуауа, Мексика) кальцит желілерінде алтынмен және пиритпен бірге байқалған.

3. Уран окиселдері уран қарасы түрінде және де уран кенорындарының *экзогендік* процестерде мору кезінде тотығу белдемінің төменгі жағында немесе цементтелу белдемі деп аталатынында (грунт суы деңгейінен төмен) руда денесі арасындағы жарықшақтарда немесе сыйыстырушы таужыныстарда және тіпті жекелеген минералдардың жарықшақтарында жаралады. Уран қарасының жаралуы жоғарыдан сіңетін сумен цементтелу белдеміне жететін алты валентті уран қосылыстарының оттегі жеткіліксіз жағдайларда тотықсыздануымен түсіндіріледі. Уранның төменгі окиселдері төтенше төмен ерігіштікке ие болады, олардың ерітіндіден тұнуы осыған байланысты.

Уран қарасы жаралуы тотықсыздану жағдайларында жүрген кейбір *шөгінді* таужыныстарда да кездеседі, әсіресе органикалық қалдықтар болған кезде. Онымен бірлестікте көбінесе темір сульфидтерінің (пирит және марказит), фосфаттардың және басқа минералдардың сеппелері байқалады. Мұндай шөгінді кенорындарда көбінесе молибден мен ванадийдің де жоғарылау мөлшері болады. Айта кету керек, бұл кенорындарда мөлшері төмен болғанымен, уранның ең мол қоры болады.

Уранинит кенорнының генетикалық типі мен жасына қарамай белгілі бір шамада әрдайым кейінгі өзгерістерге ұшырайды. Оның құрамында әрдайым уранның жоғары окиселдерінің болуы оның біршама жеңіл тотығу қабілетін көрсетеді. Тотығу белдемдерінде ол эндогендік жағдайларға қарағанда біршама жеңіл ыдырайды да уранның көптеген әр түрлі экзогендік минералдарының көзі болады (мору жағдайларына, бастапқы рудасының және жер беті суының құрамына байланысты): гидроокиселдердің, сульфаттардың, карбонаттардың, уранванадаттардың, уранфосфаттардың және урансиликаттардың. Олардың барлығы ашық сары, жасыл немесе жирен түсті болады. Олардың орналасу жағдайлары уран қосылыстары тотығу белдемінде белгілі бір жылыстауға ұшырайтынын көрсетеді. Мұнда оның бір бөлікшелері жұтаңдайды, басқалары уранға мольғады, бірақ жалпы оның елеулі бөлігі шашырап кетеді.

Ураниниттің ашық-қызыл, жирен және сары түсті жұғындыларын немесе қабыршақтар түріндегі аморфты өзгеру өнімдерін гуммит деп атаған. Зерттеулер көрсеткендей, бұл зат жирен-қызыл кюриттің (уран мен қорғасын гидраты) және сары соддииттің (уран силикаты) қоспасы болып табылады.

Ең ірі кенорындарының бірі Полюс шеңберінің арғы жағында *Үлкен Аюлы көлінің* маңында (Канада) орналасады. Кенорын ашық сары-жирен түске боялған дәл жер бетінде орналасқан туынды уран минералдарының түсі бойынша ашылған. Көптеген рудалы карбонат және кварц желілері, линзалары мен желішіктері өте ұзаққа созылады да құрамында карбонаттар, гематит, уран шайыршасы, кобальт пен никельдің сульфидтері мен арсенидтері, сомтума висмут және олардан кейінірек жаралған сомтума күміс, аргентит, пирит, халькопирит, галенит және басқалар болады. Руда минералдардың колломорфты сферолит агрегаттары кең дамыған. Кенорын прекембрий таужыныстарында орналасқан. Әр түрлі әдістермен анықталған жасы 1300 млн жыл шамасын көрсетеді.

Бай руданың басқа кенорны *Шаба* провинциясында (Конго Демократиялық Республикасы), ол *Казоло* және *Шинколобве* деген аттармен белгілі. Кендену линзалар және желілер түрінде доломитті таужыныстар мен тақтатастарда (гранит массивтерінен алшақта) анықталған. Руда мен сыйыстырушы таужыныстар құрамында кварцтан басқа кейде турмалин, монацит, апатит, содан соң сульфидтер (пирит, линнеит, халькопирит және басқалар), сондай-ақ никель, кобальт селенидтері және басқалар болады. Уран шайыршасы кейде өте елеулі шоғырларда кездеседі және әдетте ірі түйірлі агрегаттарға кристалданған. Және уранинит кристалдары да таралған. Мұнда тотығу зонасында айтарлықтай мөлшерде уранның сан қилы туынды

минералдары байқалған: торбернит, беккерелит
($\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_4[(\text{UO}_2)_6\text{O}_2(\text{OH})_6]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, казолит $\text{Pb}(\text{UO}_2)[\text{SiO}_4]\cdot \text{H}_2\text{O}$, соддиит
($\text{UO}_2)_2[\text{SiO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ және басқалар. Оның жасы 610 млн жыл шамасында.

Практикалық мәні. Бір қызығы, күміс өндіргенде ілеспе түрде алынған уранинит рудасы ерлі-зайыпты Кюри радийді ашқан сәтке дейін ұзақ уақыт бойы тек сары, жирен және қара бояу даярлау үшін пайдаланылып келген. 1900-шы жылдардан осы мақсат үшін бұл рудаларды радий препараттарын алуға өңдеуден өткен соң, уран тастандылары да жүрген. XX ғасырдың ортасынан орасан зор ішкі ядролық энергияны босатып алу және пайдалану проблемасы шешілген соң, бұл рудалардың айрықша құндылығы анықталған.

Радий уранинит рудаларында уран массасына қатысты проценттің жүз мыңдық бөліктеріндей мөлшерде ғана болады. Уран рудаларын өңдегенде алынатын радий препараттары әр түрлі салада қолданылады: медицинада қатерлі ісіктерді емдеуге (радийдің ыдырау өнімі – радон), ол радиозенбірек деп аталатын арнайы приборлар қолданылады; содан кейін радийдің гамма-сәулесі металл құймалардағы, темірбетон қондырғылардағы және басқалардағы ақауларды бақылау мақсатында сәулелендіру үшін пайдаланылады.

12. Кремнийтотық әулеті

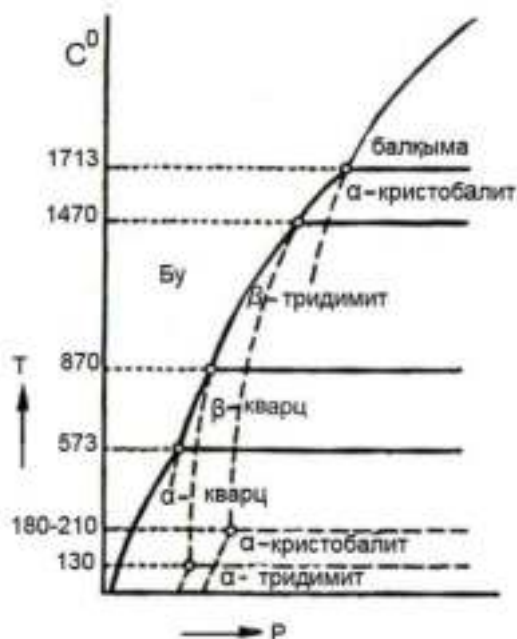
Бұл әулетке кіретін минералдардың барлығының құрамы бірдей қарапайым – SiO_2 . Олар полиморфты модификациялар қатары болып табылады. Бұл минералдар кристалдық құрылымы бойынша окиселдер арасында өте ерекше жағдайды алып жатады. Біз кейінірек олардың кристалдық құрылымы силикаттарға тікелей қатысты екенін көреміз. Бірақ кварц өзінің химиялық табиғаты бойынша нағыз окисел болып табылатындықтан, біз өзіміз қабылдаған ереже бойынша оны осы бөлімде қарастыруымыз керек.

Мұнда жататын SiO_2 полиморфты модификациялары ішінде басты төрт формасы дербес атауларға ие: кварц, тридимит, кристобалит және коэсит.

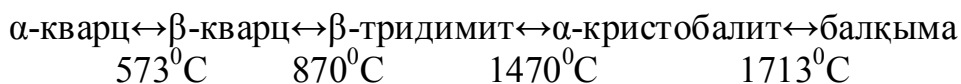
Олардың екінші текті өтулерге байланысты модификацияларын грекше α және β әріптер қосымшасымен белгілеу қабылданған. Кейбір авторлар, атап айтқанда П.Ниггли, Ф. Ринне, А.Е. Ферсман және басқалар, керісінше белгілеуді ұстанған: төмендеу температуралы α -кварц модификациясын олар β -кварц ретінде, α -кристобалитті – β -кристобалит ретінде және тағы басқалар ретінде белгілеген.

Метеориттер жер бетіне соғылғанда жаралатын ең үлкен жоғарықсымдық кремнийтотық модификациясы – стишовит айрықшаланып тұрады. Табиғатта және де гидратталған кремнийтотық – опал $\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ да болады, оны біз айрықша қарастырамыз.

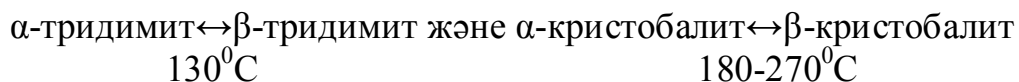
SiO_2 полиморфтық айналуларының жалпы картинасы 180-суретте күйдің РТ-диаграммасы түрінде бейнеленген. Энантиотроптық айналулардың мынадай қатары анықталған:



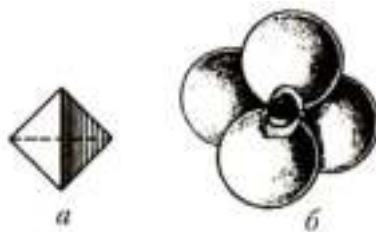
180-сурет. SiO₂ біркомпонентті жүйесі. Әр түрлі модификациялар буының серпімділік қисықтары. Әрбір берілген температурада буы серпімділігі төмендеуі модификациясы орнықтылау болады (яғни қисық ордината осіне жақындау)



Одан басқа, тридимит пен кристобалит үшін төмен температура алқабында өте күшті салқындаған күйде және де энантиотроптық айналулар белгілі:



Кварцтың кристалдық құрылымы басқа да полиморфтық модификацияларының сияқты, кремнийдің октоэдрлік координациялы стишовитті айтпағанда, мынадай ерекшелігімен сипатталады – Si⁴⁺ катионы әрдайым тетраэдр төбелері бойынша орналасқан O²⁻ иондарының төрт еселенген қоршауында орналасады (181-сурет). Мұндай тетраэдрдің әр төбесі бір мезгілде басқа көршілес тетраэдрдің төбесі қызметін атқарады. Осылайша, бұл минералдардың кристалдық құрылымы бір-бірімен ілініскен тетраэдрлер қаңқасы сияқтыдан тұрады. Ілінісу тәсілі барлық модификацияларда дәл бірдей (тетраэдрлер төбелері арқылы), бірақ олардың орналасу бағдары және жалпы симметриясы әр түрлі. Жалпы алғанда кислород иондарының жайласуы тығыз емес: қаңқаларында тетраэдрлер аралығында «қуыстар» болады.



181-сурет. Кристалдық құрылымы: *a* – қырына қойылған тетраэдр; оның төбелері SiO_4 тетраэдр тобындағы (*б*) оттектен иондарының центрі болып табылады, оның ішінде Si^{4+} ионы орналасады. Масштабы *a* және *б* үшін бірдей

Төмен температуралы модификацияларда олардың өлшемдері шағын болса, ал жоғары температуралы «болбырлау» тұрғызылған модификацияларда – ірілеу. Меншікті салмақтары да және де шағылыстыру көрсеткіштері де осыған тікелей тәуелді болады.

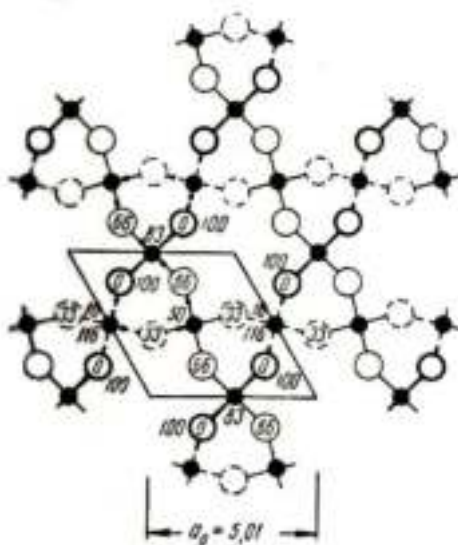
Оттектің әр ионы «көпірше жалғастырушы» - екі көршілес SiO_4 тетраэдрі үшін ортақ болатындықтан, ол барлық жерде кремнийдің екі ионы аралығында орналасады, ал әр Si^{4+} ионы болса оттектен иондарының төрт жақты координациясында болады. Осыдан келіп 2 және 4 координациялық сандары шығады. SiO_4 тетраэдрлерін Полингтің екінші ережесі жақтауында қарастырған кезде оңай байқалатыны, әрбір оң таңбалы SiO_4^{4+} ионы оны қоршаған әр O^{2-} ионының теріс валентті күшінің тек жартысын ғана өтемелейді, бірақ оттектің әр ионы бір мезгілде басқа тетраэдрге қатысты болады да оның зарядының екінші жартысы да өтемеленеді. Осылайша, жалпы алғанда қосылыстың химиялық формуласы SiO_2 болатынына оңай көз жеткіземіз.

α -КВАРЦ – SiO_2 . Төмен температурада орнықты осы модификациясын әдетте жай кварц деп атайды; атауының шығуы белгісіз. Кварц жер қыртысында ең көп таралған және ең жақсы зерделенген минералдардың бірі.

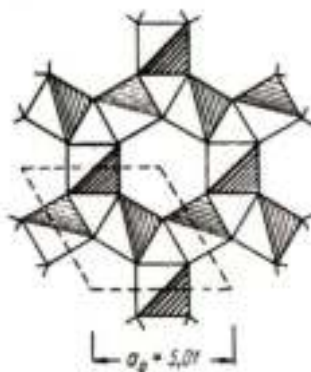
Химиялық құрамы. Теориялық құрамына түссіз мөлдір түрлестері сай келетіні көрінеді. Изоморфтық түрлестері ішінде Al^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} атауға болады. Сүттей ақ немесе басқа түске боялған түрлестерінің құрамында механикалық қоспалар түрінде әр түрлі мөлшерде газ тәрізді, сұйық және қатты заттар бола алады: CO_2 , H_2O , көмірсутектер, NaCl , CaCO_3 , ал бірқатар жағдайларда рутилдің, актинолиттің және басқа минералдардың көзге көрінетін өте ұсақ кристалшалары кездеседі.

Сингониясы. β -кварцтың жоғарылау температуралы модификациясы гексагондық сингонияда кристалданады; симметрия түрі гексагон-трапецоэдрлік L_66L^2 . 573°C градустан төмен температурада орнықтылау α -кварц модификациясы тригондық сингонияда тригон-трапецоэдрлік L^33L^2 симметриясы түрінде кристалданады. Кеңістіктік тобы $P3_121(D^4_3)$ немесе $P3_121(D^5_3)$ (оң және сол энантиоморфты модификациялар). $a_0=4,904$, $c_0=5,397$. **Кристалдық құрылымдары** құрылымдық сұлбасы бойынша біршама қарапайым. *182-* және *183-суреттерде* бірдей масштабта β -кварцтың кристалдық құрылымы және c осі бойымен (0001) жазықтығына проекциясы бейнеленген. Әр SiO_4 тетраэдрінде екі оттектен ионы біршама жоғары орналасады, ал басқа екеуі – кремний ионына қарағанда біршама

төмен. Тетраэдрлер тобы үш қабатта әр түрлі биіктіктерде жатады; олардың сызба жазықтығы үстіндегі салыстырмалы қалыңдығы әр түрлі сызықтармен және шеңберлер ішіндегі цифрлармен көрсетілген (182-суретте). 183-суретте байқауға болатындай, тетраэдрлер спиральдар жасайды, олардың әрқайсысы дәл бір бағытта ширатылады. Оң және сол кварц деп аталатындар дәл осысымен ажыратылады, яғни осы спиральдардың ширатылуы оң немесе сол жаққа қарай болады. Алтылық ось бойынша 60^0 -қа бұрылуы және элементар ұяшықтың c осі бойымен үштен бір биіктігіне тасымалдануы тетраэдрдің бұрынғы позициясымен сәйкес келуіне әкеледі (183-суретте).



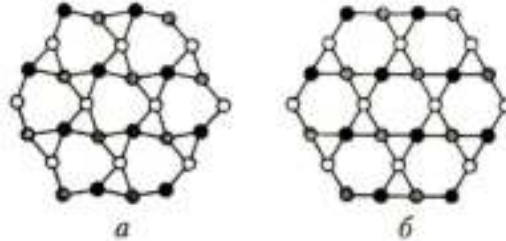
182-сурет. (0001) жазықтығы проекциясындағы жоғарылау температуралы β -кварц модификациясының кристалдық құрылымы. Цифрлар иондардың сызба жазықтығы үстіндегі салыстырмалы биіктігін көрсетеді



183-сурет. Дәл 182-суреттегі кристалдық құрылымның өзі, бірақ тетраэдрлер түріне бейнеленген. Әр түрлі дәрежедегі қалыңдықты сызықтармен (тетраэдрлердің көлеңкеленген жақтарында) осы тетраэдрлердің сызба жазықтығы үстіндегі салыстырмалы жағдайы көрсетілген. Оңай байқалатыны, ішкі алтыбұрышқа жанасатын тетраэдрлер алтыншы реттік бұранда ось бойынша орналасқан (екі қадымды винт бойынша) α -кварцтың төмен температуралы модификациясы өзінің кристалдық құрылымы бойынша β -кварцтан тек біршама ғана айрықшаланады

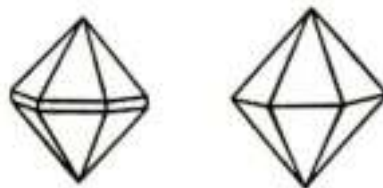
184-суретте олардың (0001) жазықтығы проекциясындағы арақатынасы бейнеленген, мұнда тек қана кремний иондары көрсетілген. Бұдан

көретініміз, жоғары температуралы модификацияның төмен температуралыға полиморфтық айналуы кезінде кремний–оттек тетраэдрлерінің центрлері шамалы ығысады, осының нәтижесінде тордың тығыздалуы және оның симметриясының төмендеуі орын алады: алтылық осьтер үштіктерге айналады. Мұнда тетраэдрлік топтар аралығындағы байланыс типі өзгермейді. Өзгеру процесіне спиральдардың ширатылу бағытында (оң немесе сол жаққа) өзгерістер болмайды.

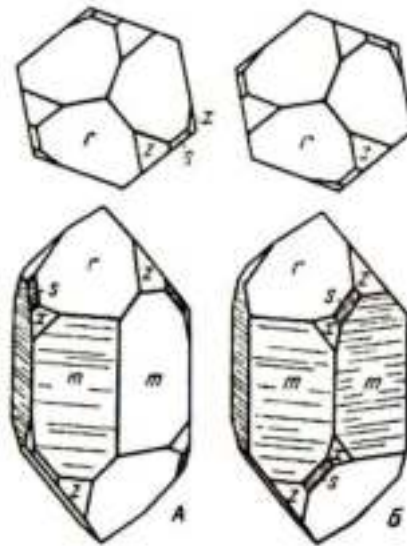


184-сурет. β -кварц (а) және α -кварц (б) кристалдық құрылымдарының ара қатынасы. Тек қана кремний иондары көрсетілген, олардың биіктік жағдайы дөңгелекшелердің әр түрлі дәрежеде көлеңкеленуімен белгіленген

Кристалдарының келбеті. β -кварц кристалдары, дәлірек айтқанда сол бойынша α -кварц параморфозасы кремний тотыққа бай эффузивтік таужыныстарда (риолит, кварцты порфир және басқа) сұйық магмадан бастапқы бөлінімдер ретінде гексагондық дипирамидалар келбеті болады. Мұнда призма жақтары қатты қысқарған немесе тіпті болмайды (*185-сурет*). Олар әдетте өте ұсақ, бірақ кейбір таужыныстарда көлденеңінде 1-2 см-ге жетеді. Төмен температуралы α -кварц жақсы жаралған кристалдар түрінде тек қана бос қуыстарда немесе болбыр орталарда кездеседі. Өлшемдері өте ірі, 1 м-ге дейін және салмағы тіпті 40 т болатын жекелеген кристалдары белгілі. Кристалдарының пішіні аса әр түрлі болғанымен, бірақ призманың $m(10\bar{1}10)$ жағы көбінесе көлбеу айғызды, ромбоэдрлердің $r(10\bar{1}1)$ $z(01\bar{1}1)$, тригон дипирамиданың $s\{11\bar{2}1\}$, тригон трапецоэдрдің $x\{51\bar{6}1\}$ және басқалардың болуы төтенше тән. Басты ромбоэдрлерінің жақтары бірдей дамыған дарақтары кездеседі және кристалдары мұндай жағдайларда гексагон дипирамида келбетін қабылдайды. Тапталған кезде бір ромбоэдр жақтары жылтыр күйінде қалса, басқасының – күңгірт тартады. Таптау фигуралары да бірдей болмайды. Тригон трапецоэдр $\{51\bar{6}1\}$ және дипирамиданың $\{11\bar{2}1\}$ жақтары орналасуы бойынша оң және сол кварц ажыратылады (*186-суретте*). Бұл жақтар призманың қырларына қатысты (120° сайын) болады да үстінде және астында, бірақ қырдың әр жағы бойынша орналасады.



185-сурет. β -кварц кристалы. Гексагонды дипирамида (оң жағында) гексагонды призмамен (сол жағында) комбинацияда

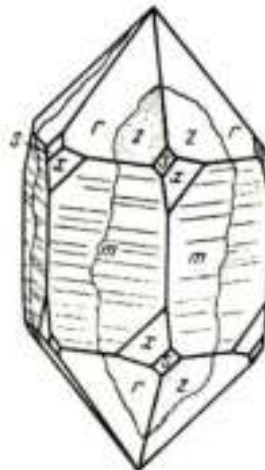


186-сурет. Сол (А) және оң (Б) кварц: $m\{10\bar{1}0\}$, $r\{10\bar{1}1\}$, $z\{01\bar{1}1\}$, $s\{11\bar{2}1\}$, $x\{51\bar{6}1\}$

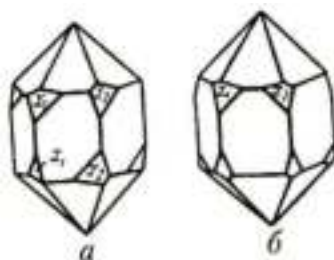
Айқын кристалды α -және β -кварц модификацияларынан басқа талшықты құрылысқа ие болатын жасырын кристалды тығыз түрлері белгілі: *халцедон* (талшықтары L^2 остерінің бірі бойымен созылған) және *кварцин* (талшықтары L^3 бойымен созылған), олар бір-бірінен тек оптикалық қасиеттері бойынша (атап айтқанда, ұзару белгісі бойынша) ғана сенімді ажыратылады.

Қосақтары аса жиі байқалады және әр түрлі заңдар бойынша.

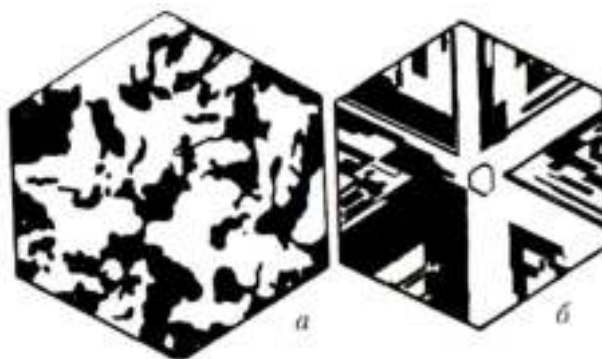
1. *Дофине* қосақтары (187-сурет) бір-біріне өте жетік кірігетіні сондай, олар жай кристалдарға ұқсайды, бірақ жай кристалдардан трапецоэдрдің x жақтары екі еселенген мөлшерде байқалады да (188-сурет) бір-бірінен тік осі төңірегінде 120° емес, 60° -қа бұрғанда шығарылады. Екі дарақ призмасының жақтары бірігіп кетеді, r ромбоэдрдің жақтары z ромбоэдрдің жақтарына сай келеді (187-сурет). Екі дарактың оптикалық осьтері параллель болады, сондықтан қосақтанған құрылысты тек қана таптау жолымен анықтауға болады (189 а-сурет). Қосақ жымдары ирелең.



187-сурет. Дофине қосағы (сұлба). Екі дарақ аралығындағы шекара сутуралық сызық бойынша байқалады.



188-сурет. Дофине (а) және бразилия (б) қосақтары (сұлба)



189-сурет. Кварц кристалдарының тапталған қималары (оптикалық осіне перпендикуляр): а – дофине қосағы; дарактар шекарасы өте бұрыс; б – бразилия қосағы, қосақталған дарактарының шекарасы тура

2. Бразилия қосақтары (188-суретте) дофинеліктерден олардағы екі еселенген мөлшерде байқалатын трапецоэдр жақтары басқаша шығарылады: тік жазықтықта шағылысуымен. Қосақтанған құрылыс таптау жолымен байқалады (189 б-суретте). Дофине құрылысынан айырмашылығы, мұнда біз тура сызықты қосақтық жымды байқаймыз. Одан бөтен, бразилия қосақтары оптикалық та бола алады.

3. Жапон қосақтары тригон дипирамида $\{11\bar{2}2\}$ бойынша; дарактары біріне бірі $84^{\circ}34'$ бұрыш бойынша еңіс.

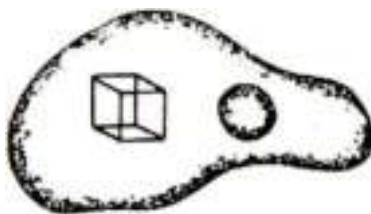
Агрегаттары. Қуыстарда кварц кристалдарының друзасы кең таралған (45-суретте), кейде басқа минералдар кристалдарымен кірігеді. Кварцтан тұтас массаларын түйірлі агрегаттар құрайды. Тығыз агрегаттарының құрылысы жұқа шлифтерде микроскоп астында қиылысқан никольдерде оңай анықталады. Жасырын талшықты құрылысты халцедон қабыршақ, бүйрек тәрізді пішіндер немесе сферолиттер түрінде жиі байқалады, жалбырлар түрінде жиі кездесетіндері кремень (шақпақ) деп аталады. Агаттар (кремнийлі жеодалары) кремнийлі-зоналы құрылысқа ие, ол халцедонның, кейде кварцтың әр түрлі боялған қабаттарының кезектесіп орналасуына байланысты. Жеоданың орталық бөліктері көбінесе кристалды-түйірлі кварцпен (47-суретте), кейде кристалдар щеткасы түрінде толады.

Түсі. Кварц сан қилы түске бояла алады, бірақ әдетте кең таралғандары түссіз, сүттей ақ және сұр түстілері. Мөлдір немесе шала мөлдір әсем боялған түрлестері айрықша атауларға ие: 1) *тау хрусталі* – түссіз су-мөлдір кристалдар; 2) аметист – күлгін түрлестері; 3) *раухкварц* (*раухтопаз*) – сұрғылт түтін мөлдір түрлестері, сұрғылт немесе қошқыл реңдерге боялған;

4) *морион* – кварцтың қара түске боялған кристалдары; 5) *цитрин* – алтын-сары немесе лимон-сары кристалдары. Арнайы атауы жоқ қызғылт кварц Ті қоспасы болуынан осылай боялуы мүмкін.

Аталған мөлдір кварц түрлестерінен басқа бөтен минералдар кірінділеріне байланысты айқын аллохромалы кварц кристалдары байқалады, олар да арнайы атауға ие болады: *празем* – жасыл актинолит инелерінің кірінділері бар жасылтым кварц, *авантюрин* – жарқылды реңді сары немесе қошқыл-қызыл кварц, оның түсі слюданың, Fe_2O_3 темір слюдкасының және басқалардың өте ұсақ кірінділері болуына байланысты.

Гидротермалық кенорындарда кең таралған сүттей ақ түсті кварц массалары бір жағдайларда олардың құрамында көп мөлшерде микроскоптық сұйықтар мен газдардың болуына байланысты. Әрдәйім дерлік сұйық кірінділерде жылжымалы газ көпіршігі байқалады, ал кейде тіпті NaCl кристалшалары да кездеседі (190-сурет). Белгілі бір температураға дейін қыздырған кезде бұл кристалшалар ериді, содан кейін газ көпіршіктері жойылып кетеді де біркелкі сұйық фаза жаралады. Салқындаған кезде ол қайтадан әркелкі күйге түседі. Осындай жолмен кварцтың кристалдану процесінде бұл сұйық фазалардың қандай температурада ұсталып қалғанын шамалап анықтауға болады. Басқа жағдайларда кварц кристалдарының сүттей ақ түсі жиі жарықшақтылығымен байланысты, ол динамикалық әрекет кезінде пайда болады (нағыз мөлдір мұзды балғамен соққан кезде, осы зақымданған жерінің сүттей ақ болып кететіні сияқты).



190-сурет. Кварцқа кірінді сұйық тамшысындағы газ көпіршігі және галит кристалшасы

Халцедон кристалл кварцқа қарағанда жиірек сан қилы түске және реңге боялған болып келеді: сүт-сұр, көкшіл-қара (*сапфирин*), сары, қызыл, жирен (*сердолик*), қоңыр, қошқыл (*сардер*), жасыл (*плазма*), алма-жасыл никель қосылыстарынан (*хризопраз*), қызыл таңдақтары бар жасыл (*гелиотрон*) және басқа. Ақық (агат) немесе оникс көбінесе өте майда әр түрлі боялған концентрлі-зоналы немесе жазық параллель халцедон қабаттарынан тұрып (191-сурет), сан қилы түстер бірлестігіне ие болады: ақ реңді қара (*араб ониксі*), ақ реңді қошқыл (*сардоникс*), ақ реңді қызыл (*карнеолоникс*) және басқа.

Жылтырлығы шыныша, омырылымында сәл майлы, халцедон – балауызшадан күңгіртке дейін. **Оптикалық константалары.** Кварц оптикалық бір осьті, оң. $N_g=1,553$ және $N_m=1,544$. Ол үйектелу жазықтығын бір немесе екінші жағына қарай біз оң немесе сол кварцпен істес болуымызға байланысты айналдыру қабілетіне ие.



191-сурет. Ақық (агат) – концентрлі-зоналы халцедон

Қаттылығы 7. Жіктілігі кварцтың көпшілік дарақтарында жоқ болады немесе ромбоэдр бойынша аса жеткіліксіз. Кристалдық құрылымы жоғары дәрежеде жетік кристалдарында (моноблоктар деп аталатындарда) ромбоэдр бойынша жіктілігі орташадан айқынға дейін. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 2,5-2,8, ал таза түрлестері үшін 2,65; β -кварц тығыздығы төмен жайласуға ие болатындықтан, меншікті салмағы да төмендеу болады. **Басқа қасиеттері.** Кварц ультракүлгін сәулелер өткізуге қабілетті. Пьезоэлектрлену қабілетіне ие: механикалық кернеу ықпалынан онда электр зарядтары пайда болады. Электрлік осьтері қосарланған, мұнда әр қосарланған осьтің қырына тірелетін әрі трапецоэдр жақтарымен кесілген шеті теріс электрленеді, ал қарама-қарсы шеті – оң. Кварцтың балқу температурасы 1713°C . Балқыма қатқан кезде кварц шынысы оңай жаралады (аморфты кварц), ол бірқатар айрықша қасиеттерге ие болады (қышқылтөзімді, ұлғаюдың төмен коэффициентіне, ультракүлгін сәулелер өткізуге және басқа).

Диагноздаушы белгілері. Кварц кристалдары оған тән пішіндері мен ұзындығына көлденең айғызы бойынша оңай танылады. Тығыз агрегаттардағы кварц жоғары қаттылығы, ұлуша омырылымы және жіктілігінің болмауы бойынша анықталады.

Халцедон өзіне ұқсас минералдардан (опал, смитсонит – $\text{Zn}[\text{CO}_3]$, жасырын кристалды флюорит және басқалардан) негізінен қаттылығы бойынша ажыратылады. Оптикалық қасиеттері бойынша да оңай ажыратуға болады.

Қышқылдармен әрекеттеспейді, HF қышқылын санамағанда – онымен ұшпа SiF_4 қосылысын оңай жасайды. Сілтілердің ықпалына беріледі. Халцедонға KOH күшті әсер етеді.

Жаралуы және кенорындары. Кварц табиғатта кең таралғандықтан, генезисі бойынша түрлі таужыныстар мен руда кенорындардың құрамына кіреді.

1. Ол көптеген интрузиялық және эффузиялық қышқылды *магмалық* таужыныстарда, далашпаттар мен слюдалар сияқты, негізгі құрамдас бөлігі болады (гранитте, гнейсте, кварцты таужыныстарда және басқаларда). Қышқылды эффузиялық таужыныстарда кварцтың порфир кристалдары кристалды-зоналы құрылысқа ие, көбінесе жанартау шынысы да олардың құрамына кіреді.

2. Ірі кристалдарда (раухтопаз, морион, аметист және басқа) ол *пегматиттер* арасындағы бос қуыстарда да далашпаттармен, мусковитпен,

кейде топазбен, берилмен, турмалинмен және басқа минералдармен бірлестікте болады. Оның калийлі дала шпаттардың ірі дарактарымен – ортоклазбен немесе микроклинмен заңдылықпен кірігуі жиі байқалады, олар жылтырланған штуфтерде еврей жазуына ұқсас келеді. Оларға тәні, кварцтың әрбір берілген далашпат кристалындағы осы кірінділері бірдей оптикалық бағдарланған.

3. Тұрақты желілік минерал ретінде және де айтарлықтай массаларда, кварц жер шарындағы төтенше көп *гидротермалық* кенорындарда сан қилы минералдармен: касситеритпен, вольфрамитпен, алтынмен, молибденитпен, пиритпен, халькопиритпен, турмалинмен, кальцитпен, хлориттермен және басқалармен бірлестікте таралған. Әрдәйім дерлік кварц құрамында газдардың, сұйықтардың және қатты минерал заттардың кірінділері болады.

Агат пен оникс бадамшалар түрінде (секрециялар) сан қилы пішінде және өлшемде көптеген эффузиялық таужыныстарда – мелафирде, базальтта, андезитте және басқаларда (өзгерген көпіршікті лаваларда) кең таралған. Олардың жаралуы кремнийтотықтың қаныққан ерітіндісінің гидротермалық әрекеттің аяққы кезеңінде осы таужыныстар арасына енуіне байланысты.

4. *Экзогендік* процестер кезінде кварц пен халцедон майда түйірлі агрегаттар түрінде кремнийтотықтың салқын сулы ерітінділері сіңіп, кристалданған кезде жаралады. Мұнда кварц кристалдары қуыстарда жаралған оқиғалар белгілі, мысалы жер беті маңы процестерінде кремнийленген таужыныстар арасындағы жарықшақтарда (эктас, серпентинит және басқа).

Мұндай жағдайларда халцедон әлдеқайда кең жаралады. Оның опалдан кейін оның колломорфты бөлінімдері аралығындағы бос жерлерде жаралған жағдайлары белгілі. Халцедон эктаста және де мору қыртысындағы жалбырларда кремний түрінде кең таралған, ол сыртқы кейпі бойынша эффузиялық таужыныстардағы гидротермалық жаралымды біркелкі халцедон бадамшалары мен жеодаларын еске салады.

5. *Метаморфтық* процестерде кварц айтарлықтай массаларда құрамында опал бар шөгінді таужыныстар сусызданған кезде жаралады да яшма және қабатталған мүйізтас деп аталатындарды жасайды (төтенше майда түйірлі кварцты және кварц-халцедонды таужыныстар).

Бірақ минералогиялық та, практикалық та көзқарас бойынша ең үлкен қызығушылықты альпілік типті желілер туындатады. Олар таужыныстардың метаморфизмі және тақталануы кезінде пайда болатын линза тәрізді жарықтарда жаралады (*60-суретте*). Тек жарым-жартылай ғана минералдық заттарға толған үлкен қуыстар мен жарықшақтарда («хрустальды ұралар») олардың қабырғалары бетіне өскен тамаша таралған кристалдармен көмкеріледі. Мұнда кварцтың ірі кристалдары хлоритпен, далашпатпен, рутилмен, брукитпен, кальцитпен және басқалармен сүйемелденеді. Бұл желілер және кристалдардың өзі көптеген өзіндік ерекшеліктерге ие болады. Тау хрусталінің кристалдары қуыстар қабырғасына қатысты сан қилы бағытта бағдарлана береді. Анықталғандай, бұл бағдарлану қапталдас таужыныстар қабырғасында ашылымданған кварцтың таужыныс жасаушы

түйірлерінің бағдарлануына байланысты болады және бұл түйірлер қуыстарда өскен ірі кристалдарға ұрық болып табылады. Деформациялармен бүлінбеген монокристалды құрылысты тау хрусталі кристалдары (моноблоктар) ең жақсы пьезоэлектрлік қасиеттерге ие.

Мору процестерінде кварц химиялық төзімді болады, сондықтан сынықты түйірлер түрінде шашылымдарда және шөгінді таужыныстарда (құмтас, кварцит) жиналады.

Кварцтың псевдоморфозалары әр түрлі минералдар бойынша анықталған: кальцит, барит, гипс, далашпаттар, оливин және басқа, сондай-ақ жануарлар мен өсімдіктер қалдығы бойынша да.

Кенорындары төтенше көп; олардың мысалдары ретінде тек кейбіреулерін ғана көрсетеміз.

Россия кенорындары ішінде үлкен минералогиялық қызығушылық туындататындарынан ежелден белгілі мыналарды атау керек: *Мурза*, *Липовск*, *Шайтан* және басқа пегматит кеніштері (Екатеринбургтен солтүстік-шығысқа қарай), оларда тау хрусталінің, түтінді кварцтың және аметистің далашпаттармен, турмалинмен, лепидолитпен және басқалармен бірлестіктегі тамаша кристалдар друзасы болады. Жоғары сапалы тау хрусталі бар гидротермалық желілер Астафьев (Оңтүстік Орал) кенорындарында бар. Кварц пьезошикізаты бар «альпілік желілер» Полюс маңы Оралда белгілі (*Додо*, *Неройка*, *Пеленгичей*). Морионды және аметисті пегматит желілері *Адун-Чилон* (Забайкалье) жотасында және басқа жерлерде таралған. Тау хрусталі бар кварц желісі кенорындары және де Алданда белгілі (*Перекастное*). Жақсы аметист *Кедон* (Магадан облысы) өзені аңғарында және *Обман* кенбілінімінде (Алдан), ал цитрин – *Ольхович* кенорнында (Полюс маңы Оралда) бар.

Сургуч-қызыл қабатталған яшма әшекей тас ретінде Примагнитогорск ауданында таралған (Орал). Кең танымдыққа ие болғандар - жасылтым-сұр түске біркелкі боялған қалған яшмасы және суреті бойынша әр түрлі Өр ауданындағы (Оңтүстік Орал) яшма.

Жақсы ақық Тиманда (*Чаицын* мүйісі), Охотск жағалауында (*Ольск* үстірті), Камчаткада (*Тевы* мүйісі) және *Чукоткада* (*Рывеем* және *Каненмывеем* өзендерінің алабы) кездеседі. Түсті халцедон (сердолик, сардер) мен агат кенорындары бай аллювийлік шашылымдар түрінде Приамурьеде белгілі (*Норск* және *Бурундинск*).

Техникалық агат деп аталатындардың кенорындары Закавказьеде *Ахалцих* және басқа аудандарда кездеседі. Арменияда *Иджеван* әшекейлік ақық кенорны белгілі. Олар жамылғы эффузиялық таужыныстармен генетикалық байланысты.

Кварцтың асыл түрлестерінің шетелдік кенорындары ішінде *Бразилияның* Минас-Жерайстағы және *Уругвайдың* (негізінен аметист), *Мадагаскардың* (тау хрусталі), *Швейцария Альпісіндегі* және басқа елдердің кенорындарын айту керек. Осы кенорындардың барлығы көп бөлігінде пегматиттерден немесе альпілік типті кварц желілерінен тұрады. Ең жақсы

ақық Индия, Бразилия, Уругвай, Германия (*Оберштайн, Рейнланд және басқа*) кенорындарында белгілі.

Практикалық мәні. Кварц пен халцедонның қолданылуы сан қилы.

1. Бұл минералдардың мөлдір әсем боялған түрлестері безендіру үшін әшекей тастар ретінде қолданылады.

2. Түссіз тау хрусталі оптикалық аспаптар даярлау үшін тұтынылады.

3. Дәл механикада бұл минерал түрлестерінің кейбіреулері әсіресе техникалық ақық) механизмдердің, тірек призмалардың, сағат тастарының және басқалардың тіреуіштерін даярлау үшін пайдаланылады.

4. Радиотехникада пьезокварц қалақшаларын радиотолқын, резонатор және басқалар жиіліктерін тұрақтандырушы элементтер ретінде даярлау үшін айқын білінген пьезоэлектрлік қасиеттерге ие (тау хрусталінің моноблоктары) жетік біркелкі қосақтанбаған кристалдары қолданылады; бұл мақсат үшін призманың қарама-қарсы жақтары аралығындағы өлшемдері 3,5 см-ден кем болмайтын кристалдары жарамды болады. Қазіргі кезде пьезокварц кристалдары көп көлемде жасанды жолмен ерітінділерден сілтілерде өсіріледі; өсіру кезінде шихта ретінде мүмкіндігінше қоспасыз табиғи кварц пайдаланылады, мұндай шикізатқа қойылатын талап да төтенше жоғары.

5. Балқытылған кварцтан оттөзімділігімен және қышқылтөзімділігімен айрықшаланатын химиялық ыдыс, сондай-ақ медицинада ультракүлгін сәулемен емдеу үшін қолданылатын кварц шамдары даярланады, ол үшін кварц (аздаған минералдардың бірі) мөлдір болады.

6. Шыны-керамика өнеркәсібінде шыны қайнату үшін және фарфор мен фаянс жасау үшін таза азтемірлі (0,002 %-ке дейін) кварц құмы қолданылады.

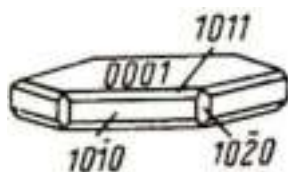
7. Кремний карбиді – карборунд (SiC) өндірісі үшін қолданылады, ол жоғары қаттылыққа ие (корундтан да жоғары) және бірінші класты түрпі материал ретінде тұтынылады.

8. Майда кварц құмы құмсорғалама аспаптарда металл және керамика бұйымдар бетін жылтырлауға және де таужыныстарды кесуге және бірқатар басқа мақсаттарда пайдаланылады.

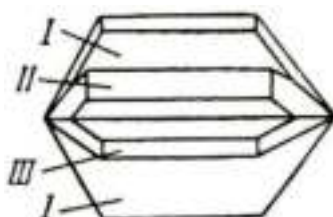
9. Цементтелген кварцтың жұмыр түйірлерінен тұратын құмтас және олардың метаморфталған түрлестері – кварциттер (таужыныс) құрылыс материалы ретінде қолданылады.

ТРИДИМИТ – SiO₂. Грекше *тридимос* үш дүркін дегеннен (жиі байқалатын үшемдері салдарынан аталған). Жоғарылау температуралы модификациясы – β-тридимит гексагондық сингониясы орнықсыз күйі алқабында төмендеу температуралыға, кристалдық құрылымы бойынша оған жақын модификацияға – ромбылық сингониялы α-тридимитке оңай өтеді. Атмосфералық қысымда α-тридимит уақыт өте келе орнықты формаға - α-кварцқа өтуге қабілетті. β-тридимиттің β-кварцқа, яғни гексагондық сингониялы болғанымен бірақта кристалдық құрылымы бойынша айтарлықтай айрықшаланатын модификацияға айналуы әлдеқайда баяулау жүреді де көлемі мен меншікті салмағының (β-кварцтың меншікті салмағы 2,51, ал β-тридимиттің – 2,26) елеулі өзгеруімен сүйемелденеді.

Төмен температурада орнықтылау α -тридимит кристалдары жалған гексагон қалақшалар (192-сурет) немесе көбінесе қалақшалары аралығындағы бұрыш $35^{\circ}18'$ үшемдер түрінде (193-сурет) байқалады. Сондай-ақ табақшалар немесе қыш қаптама түріндегі агрегаттары кездеседі.



192-сурет. Тридимит кристалы



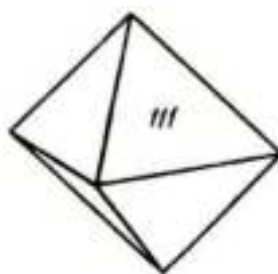
193-сурет. Тридимит үшемі

Түсі. α -тридимит ақ, сұрғылт-ақ; кейде ол түссіз. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,473$, $N_m=1,470$, $N_p=1,469$. **Қаттылығы** 6-7. **Жіктілігі** жетілмеген. **Мен. салмағы** 2,3.

Негізінен қышқылды эффузиялық таужыныстардың бос қуыстарында кездеседі: Зигенгебирге (Германия) трахитінде, Сан-Кристовале (Мексика) андезитінде, Везувий атындылары өнімдерінде және басқа жерлерде кездеседі.

КРИСТОБАЛИТ – SiO_2 . Атауы Сан-Кристовал (Мексика) мекені бойынша берілген. Полиморфты модификациялары: жоғарылау температуралы – кубтық сингониялы β -кристобалит және төмен температуралы – α -кристобалит. Осы соңғысы тетрагондық сингонияға жатады да сонымен қатар жалған кубтық болады.

β -кристобалит кристалдары октаэдрлік келбетке ие болады (194-сурет), кейде олар кубтық немесе қаңқалы пішінді болып келеді. Қосақтары (111) бойынша кездеседі. **Түсі** сүттей ақ. **Жылтырлығы** шыныша. $N_m=1,49$. **Қаттылығы** 7. **Мен. салмағы** 2,27.



194-сурет. Кристобалит кристалы

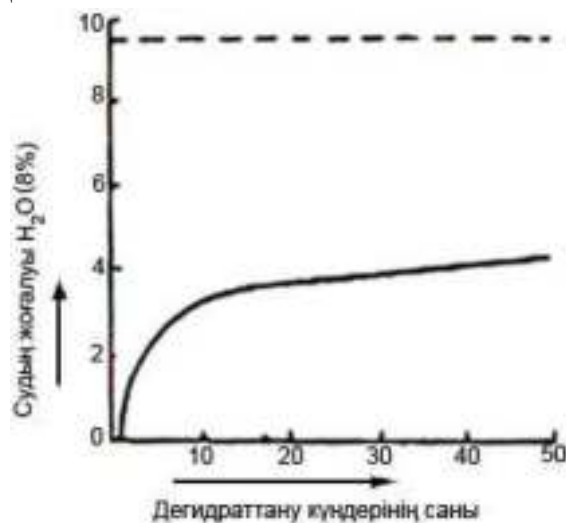
Кварц шынысы жаралған кезде оңай алынады және динас кірпіштерін өртеген кезде де кристалданады. Жылдам суынған эффузиялық

таужыныстарда кездеседі, көбінесе α -тридимитпен: Сан-Кристовал андезитінде (Мексика) Рейнландтағы Майн лавасында (Германия), Йеллоустон паркінде (АҚШ) – обидианда (жанартау шынысында) 1 мм-ге дейінгі шариктер түрінде (сферолит), сондай-ақ бос қуыстарда, кейде кристобалит кристалшаларында өскен тридимит қалақшаларымен.

β -кристобалит жаралуының басқа тәсілдері де белгілі, атап айтқанда базальт магмасының кварцұстамды шөгінді таужыныстарға (құмтасқа) әсер еткен кезде. Кристобалит мұндай жағдайларда кварц есебінен жоғары температурада жаралады. Мұндай жаралымдар (бухит) мысалы Батыс Грузиядағы соңғы неоген сазды құмтасында сипатталған.

ОПАЛ – $\text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$. Нағыз қатты гидрогель. Атауының шығуы белгісіз. Физикалық қасиеттері бойынша түрлері: 1) *асыл опал*, опалесценция қасиетіне ие (құлпырмалы); 2) *гидрофан* – жеңіл түрлесі, өте кеуек, құрғақ күйінде күңгірт және суда мөлдір; 3) *гиалит* – тассүңгі жаралымды немесе сферолит құрылымды шариктер.

Химиялық құрамы өте тұрақсыз. Судың мөлшері 1-5, өте сирек жағдайларда 34 % шамасына жетеді. Эксикаторда кептірген кезде опалдың барлығы суының бір бөлігін жоғалтуға қабілетті. Әсіресе судың жоғалуы бірінші күндері қарқынды жүреді (195-сурет). Қыздырған кезде кейбір опал суының басты бөлігін 100°C -қа дейін, ал басқалары бұл температурадан асқаннан кейін ($100\text{--}150^\circ\text{C}$) береді. Сумен байланысының мұндай әр түрлі себептері толық анықталмаған.



195-сурет. Опалдың суының жоғалуының пайызын дегидраттану күндерінің санына қарай (H_2SO_4 қышқылы үстінде)

Ішкі құрылысы. Опалдың ішкі құрылысы аса өзгеше болады: опал аморфты кремний тотықтың полимерленген жіптерінен тұрады, дұрыстау құрылымды кварц фрагменттері, ал кейде тридимит те болады. Жіптері ширатылған немесе глобулаларға – диаметрі 1000\AA шамасындағы өлшемді тұрақты шар тәрізді жаралымдарға жиналған. Глобулалар өз кезегінде тұрақты ретпен конфигурациясы ең тығыз кубтық жайласуға жақын болады, кейде гексагондық; глобулалар аралығында су орналасып, оларды қосымша байланыстырады. Осылай жаралған тұрақты құрылым периодтылығының масштабы бойынша көрінетін жарықтың ұзын толқындарына сай келеді де

зергерлік-әшекейлік опалда құлпыру әсері бойынша аса жоғары бағаланатын интерференциялық құбылысты қамтамасыз етеді.

Морфологиялық ерекшеліктері. Әдетте тығыз шыны сияқты массаларда ақпа сыртқы пішінді түрде байқалады. Кейбір организмдердің басты құрамдас бөлігі болып табылады: диатомейлердің қалқандарын, губкалардың спикулаларын, радиолярийдің қаңқасын, кейбір фораминифералар мен мшанкілердің кремнийтотық коллоид ерітінділері (зольдері) оларға тамақ болып табылатын түрлерінің қаңқасын құрайды. Осы организмдердің қаңқасы құрамында кремнийтотық болуына байланысты қазба күйде өте жақсы сақталады, тіпті ең көне түзілімдердің өзінде. Кремнийтотық гидроокиселдері сондай-ақ дәнді дақылдар сабаны, көпбуындылардың қатты түйіншектері және әсіресе бамбуктың және өсімдіктердің буындары құрамына кіреді. Олар кремнийтотық золін топырақтан өздерінің тамырлары арқылы сіңіреді. Кремнийтотық золі қурап қалған ағаш діңдеріне сіңіп, опал түзеді де осы ағаштарды толық алмастырып, олардың барлық құрылысын сақтап қалады («ағаш опал»).

Түсі. Опалдың өзі түссіз. Әр түрлі қоспалар болуына, әсіресе темір және басқа хромофоралар ұстамдылығына байланысты ол түрлі реңге: сарыға, қошқылға, қызылға, жасылға және қараға боялады. **Жылтырлығы** шыныша (кеуек массаларында балауызша немесе күңгірт). Шала мөлдір түрлестеріне түстерінің құбылуы, яғни опалесценция тән (бұл атаудың шығуы дәл осы минералға байланысты). $N=1,40-1,46$.

Қаттылығы 5-5,5 (суға өте жұтаң түрлестерінде 6-ға дейін көтеріледі). Морт. **Мен. салмағы** 1,9–2,5 (құрамындағы судың және опталған ауыр заттардың мөлшеріне байланысты).

Диагноздаушы белгілері. Тығыз опалға шыны тәрізді түрі және массаларының ақпа пішіні, тұтас қабыршақтары тән. Опалдың сыртқы белгілері бойынша халцедонмен ортақтығы көп. Ол төмен қаттылығымен және құрамында су болуымен айрықшаланады.

Қышқылдарда ыдырамайды. КОН пен HF қосылыстарында біршама оңай ериді. Сусызданған опал содада ысылдап ериді (CO_2 бөлінуі салдарынан).

Жаралуы және кенорындары. Опал көбінесе жанартаулы алқаптарда *гидротермалық* көздерден және гейзерлерден қақ түрінде (кремнийлі туф, гейзерит), кейде інжуше құбылмалы ақ мөлдір ақпалар түрінде түзіледі. Сондай-ақ эффузиялық таужыныстар арасындағы қуыстар мен жарықшақтарда, кейде жеодалар мен бадамшалар түрінде таралған.

Бірақ оның негізгі массасы экзогендік жағдайларда құрамы бойынша сан қилы таужыныстардың, көбінесе ультранегізділердің *мору процесінде* силикаттар ыдыраған кезде жаралады. Силикаттардың кристалдық құрылымы ыдыраған кезде босап шығатын кремнийтотық бастапқыда зольге өтеді де ол коагуляцияланған кезде элювий белдемінде ақпа пішінді жалбырлар түрінде отырады немесе метасоматоздық жолмен түзіледі. Көбінесе темір, алюминий және басқа элементтер гидроокиселдерімен бірге әр түрлі түбірлік таужыныстарға отырады.

Опалдың зор массалары *шоғу* жолымен қабаттар түрінде өзендер суы әкелетін кремнийтотық золінің коагуляциясы процесінде, теңіз алабының жағалау маңы белдемдерінде жаралады. Оларға опока, трепел, диатомит, кизельгур (кремний ұны) деп аталатындар және жатады. Олар қопсық немесе майда кеуек, кейде біршама берік таужыныстар, жер бетінде көбінесе оларға сіңіп қататын судың механикалық әрекеті салдарынан бор сияқты массаларға айналады.

Ақыр соңында кремнийтотық ерітінділерінің метасоматоз кезінде өсімдік қалдықтарын, атап айтқанда ағаш діндерін тасқа айналдырушы рөлін айта кету керек. Опал қандай жолмен жаралмасын, ол ақыр соңында біртіндеп халцедонға немесе кварцқа өтеді.

Шөгінді опалұстамды таужыныстар (опока, трепел және диатомит), әсіресе саяз сулы неоген түзілімдерінде кең таралғандығымен сипатталады: Россияның еуропалық бөлігіндегі Ульянов, Саратов және басқа облыстарында, сондай-ақ Орал жотасының шығыс беткейі бойында және басқа жерлерде. Шетел кенорындары ішінде Богемия, Италия, Ливия (*Триполи*, трепел деген атау осыдан шыққан) және басқа елдер кенорындарын айту керек. Асыл опал кенорындары Карпаттың оңтүстік беткейінде, Кошице маңында (эффузиялық таужыныс – андезит қуыстарында), Австралияда – Жаңа Оңтүстік Уэллс және Квинсленд (байтақ ауданды алып жатқан құмтаста) және басқа жерлерде белгілі.

Практикалық мәні. Асыл опал әсемтас ретінде қолданылады. Трепел металдарды, тастарды жылтырлауға және басқа мақсаттарда тұтынылады. Кизельгур болса сүзгі, қыш даярлауға, жеңіл кірпіштерді әрлеуге және басқа салаларда пайдаланылады.

Қорытындылау. Осылайша, барлық табиғи модификациялары, опал мен лешательеритті (аморфты кварц шынысын) санамағанда, бір-бірімен төбелерімен қосылған кремнийқышқыл тетраэдрлерінің қаңқасы болып табылатын кристалдық құрылымымен сипатталады, яғни кремнийдің әр ионы оттектің төрт ионымен қоршалыда да әр оттектің ионы екі кремний ионын байланыстырады. Құрылымдарындағы айырмашылық осы тетраэдрлердің кеңістіктегі бағдарлануына және қаңқаның өзінің өрнегіне байланысты. Кристалдық құрылымдарының ерекшелігі минералдардың физикалық қасиеттерін қамтамасыз етеді (9-кесте).

9-кесте. Әр түрлі SiO₂ модификациясының ең басты қасиеттері

Модификация	Сингониясы	Меншікті салмағы	Шағылыстыру коэффициенті		
			Ng	Nm	Np
Шыны (кварц)	-	2,204	-	1,46	-
β-кристобалит	Кубтық	2,21	-	-	-
α-кристобалит	Тетрагондық	2,27	-	1,487	1,484
β-тридимит	Гексагондық	2,26	-	-	-
α-тридимит	Ромбылық	2,3	1,473	1,47	1,469
β-кварц	Гексагондық	2,51	-	-	-
α-кварц	Тригондық	2,655	1,553	1,544	-
Опал	-	1,9-2,5	-	1,44	-

КЛАСС 2. Гидроокиселдер немесе құрамында гидроксил бар окиселдер

Осы класқа жататын минералдар арасында ең үлкен мәнге гидраттар немесе гидроокиселдер деп аталатындар ие болады, яғни олар металдардың бұл қосылыстарында ОН гидроксил тобы окиселдердегі оттегі иондарын толық немесе жартылай алмастырады. Мысалы, магний окиселіне (MgO) сай келетіні $Mg(OH)_2$, алюминий окиселіне (Al_2O_3) тиістісі $2AlO(OH)$ немесе $2Al(OH)_3$ және т.б.

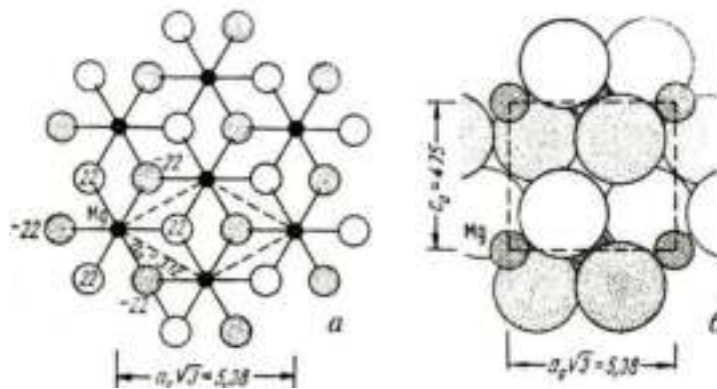
Мұндай қосылыстардың көпшілігі гексагондық немесе соған жақын ең тығыз $(OH)^{1-}$ иондарының жайласуымен сипатталатын қабатты құрылымда кристалданады. Бұл минералдар физикалық қасиеттерінің көпшілігі оларға ортақ болуы осымен түсіндіріледі. Қабатты құрылымды бұл қосылыстарға оңтайлы катиондарға жататындар: Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} және Cr^{3+} .

1. Брусит тобы

Бұл топ тригондық немесе гексагондық сингонияда кристалданатын екі валентті Mg, Fe, Mn металдарының гидраттарынан тұрады. Мұнда біз тек жалғыз бруситті ғана қарастырамыз.

БРУСИТ – Mg $[OH]_2$. **Химиялық құрамы:** MgO–69 %, H_2O –31 %. Изоморфты қоспалар түрінде кейде Fe (темірлі брусит) және Mn (марганецті брусит) болады.

Сингониясы тригондық; сингония түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_63L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $P3m(D^5_{3d})$. $a_0=3,125$, $c_0=4,72$. Кристалдық құрылымы нағыз қабаттылы. Мұнда анион ретінде дипольді гидроксил тобы $[OH]^{1-}$ қатысады. Кристалдық құрылымда бұл топтар ең тығыз гексагондық жайласу принципі бойынша орналасады да будалар жасайды (*196-сурет*). Әр буда (0001) жазықтығына параллель гидроксил иондарынан құралған екі жазық қабаттан тұрады. Бұл қабаттар аралығында Mg^{2+} катиондары парағы жатады. Бұл катиондар екі ОН қабаты аралығындағы *барлық октаэдрлік* қуыстарды алып жатады, яғни әр Mg ионы алты гидроксил анионы аралығында орналасады, бір қабаттың үш $[OH]^{1-}$ ионымен және басқа қабаттың үш $[OH]^{1-}$ ионымен байланысты болады. Магниймен центрленген октаэдрлік қабаттар ортақ бүйірлік (еңіс) қырлары арқылы әрқайсысы үш көршілесімен байланысады да катион қабатын жасайды. Құрамында Mg^{2+} бар октаэдрлік қабаттар октаэдрлер орналаспаған қабаттармен кезектесіп, әр біреуден кейін орналасады; жетік жіктілік бір-бірімен нашар қалдық байланыс күшімен ілініскен толған октаэдрлік қабаттар аралығында өтеді. **Кристалдарының келбеті.** Байқалатын кристалдары қалың тақталы келбетке ие. Әдеттегілері – парақталған талық сияқты агрегаттары. Және де бүйрек тәрізді және шоқтала топталған сияқты пішіндері кездеседі.



196-сурет. Бруситтің кристалдық құрылымы: *a* – құрылымның (0001) жазықтығына проекциясы. Бос дөңгелекшелер (ОН) жоғары, ал нүктелермен жабылғандары - Mg^{2+} катиондары қабатынан төмен орналасады; *б* – валенттілікке қаныққан екі буданың түрі, олардың әрқайсысы гидроксил иондарының екі қабатынан және олардың аралығында орналасқан магний иондары қабатынан тұрады

Түсі. Брусит ақ түсті, кейде жасылтым, көк немесе түссіз. Оның жылтырлығы омырылымында шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $Ng=1,580$ және $Nm=1,559$.

Қаттылығы 2,5. Жіктілігі аса жетік {0001} бойынша. Жұқа ажыратылған парақшалары майысқақ. **Мен. салмағы 2,3-2,4.**

Диагноздаушы белгілері. Талькке – $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$, пирофилитке - $Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2$ және гиббситке - $Al[OH]_3$ ұқсайды. Оларды HCl қышқылында жеңіл ерігіштігімен оңай ажыратылады.

Қышқылдарда қайнамай-ақ оңай ериді.

Жаралуы. Магнийдің еріген қосылыстарының күрт сілтілі ортада гидролизі кезінде жаралады. Көбінесе серпентиниттегі жарықшақтар бойынша майда желішіктер және жұғындылар түрінде кездеседі. Серпентинит – магнийге бай ультраанегізді интрузиялық таужыныстардың (дунит, перидотит) гидротермалық өзгеру өнімі. Серпентинитпен, магний гидрокарбонаттарымен, арагонитпен және басқалармен бірлеседі. Кейде доломиттенген әктаста кальцитпен, гидромагнезитпен және периклазбен, көбінесе солар бойынша гидротермалық жаралуы ықтимал псевдоморфозаларымен бірге кездеседі. Оның күшті сілтілі топырақта болатыны туралы да белгілер бар.

Жер беті жағдайларында қышқылдылау ортада брусит оңай карбонатталады.

Практикалық мәні. Көп массаларда болған жағдайларда магний алу үшін шикізат ретінде қызығушылық туындатады.

Оралда, Кавказда және Сібірде мұрағатталған серпентинит массивтерінің барлығында кездеседі. Талшықты асбест түрлесі – немалит хризотил-асбесттің *Баженов* (Асбест қаласы, Екатеринбургтен шығысқа қарай) және *Ақ-Довурақ* (Тыва Республикасы) кенорындарында, Лаба өзені аңғарында (Краснодар өлкесі) гидротермалық өзгерген дунит арасындағы *Белое Осыпище* кенорнында белгілі.

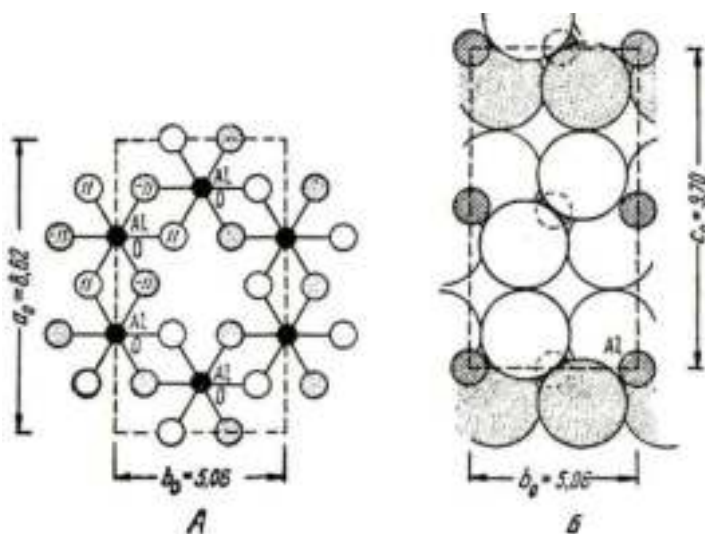
2. Гиббсит тобы

Мұнда кейбір үш валентті металдардың тригидраты жатады. Табиғатта ең көп таралғаны $\text{Al}[\text{OH}]_3$. Темір тұздарының гидролизі кезінде алғашқы сәттерде жаралатын окистік темір гидраты $\text{Fe}[\text{OH}]_3$ орнықсыз және сусыздануға жылдам ұшырайды. Fe^{3+} ионы шамалы мөлшерде кейде изоморфты түрде ғана $\text{Al}[\text{OH}]_3$ құрамына кіреді. Алюминий гидраттарында изоморфты қоспа түрінде Ga^{3+} оның кларк мөлшерінен әлдеқайда асық шамада кездеседі.

ГИББСИТ - $\text{Al}[\text{OH}]_3$. АҚШ минералогы Д. Гиббсит (1776-1833) құрметіне аталған. Алғаш рет XIX ғасырда Оралда анықталған. Синонимі: гидраргиллит, грекше *гидор* – су және *аргиллос* – ақ саз дегеннен.

Химиялық құрамы. Al_2O_3 – 65,4 %, H_2O – 34,6 %. Изоморфты қоспалар түрінде Fe_2O_3 (2 %-ке дейін), сондай-ақ Ga_2O_3 (0,006 % шамасына дейін) анықталады. Химиялық талдаулар теориялық формуласы құрамына дәл дерлік сәйкес келетінін байқатады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/n(C^2_{2h})$. $a_0=8,624$; $b_0=5,060$; $c_0=9,700$; $\beta=94^{\circ}34'$. **Кристалдық құрылымы** қабатты, бұрмаланған брусит құрылымына жақын. Оның кейбір ерекшеліктері алюминий ионының магний ионымен салыстырғанда үлкен зарядқа және иондық радиусы шамасының кішілігіне байланысты. Гиббситте дәл бруситтегі сияқты, әр буда тығыз жайласқан гидроксил иондарының екі қабатынан тұрады, олардың аралығында Al^{3+} катиондарының қабаты орналасады (197-сурет). Алюминий ионының заряды магний ионы зарядынан үлкен болғандықтан, гидроксил иондарының теріс зарядын бейтараптандыру үшін Al^{3+} катиондарының аз саны қажет. Сондықтан Al^{3+} катиондары бруситтегі сияқты, ОН қабақтары аралығындағы барлық октаэдрлік қуыстарды толтырмайды, тек қана үштен екісін алып жатады.

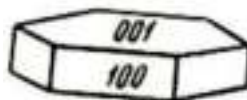


197-сурет. Гиббситтің кристалдық құрылымы

Осыған байланысты Al^{3+} иондары брусит құрылымындағы центрленген гексагондар түрінде емес, корунд мотиві бойынша қарапайым алтыбұрыштар

түрінде орналасады (196- және 197-суреттердегі қара нүктелердің орналасуын қараңыз). Егер мұндай алтыбұрышты контурласақ, онда оның үстіне брусит құрылымы будасында алты гидроксил ионының және үш толық Mg^{2+} ионының түсетінін оңай байқаймыз (бір орталық ион плюс алты шеткі, әрқайсысы 2/6 валентті бойынша), яғни гексагонның формуласы $Mg_3[OH]_6$ болады. Ал гиббсит құрылымы үшін гидроксил иондарының саны сондай болғанда, гексагон формуласында тек қана екі Al^{3+} ионы болады, яғни ол $Al_2[OH]_6$ түріне ие. Айырмашылығы будалардың бір-бірімен бірлесу тәсіліне де байланысты. Ал брусит құрылымына келсек әр $[OH]^{1-}$ ионы келесі қабаттың үш $[OH]^{1-}$ ионы аралығындағы центріне қарай орналасады, гиббсит құрылымында бір қабаттың әр $[OH]^{1-}$ ионы келесі қабаттың келесі әр $[OH]^{1-}$ ионына қарама-қарсы тұрады (196- және 197-суреттің оң бөлігін қараңыз).

Кристалдарының келбеті алтыбұрышты – тақталы (198-сурет). Күрделі қосақтанған кірікпелері бірнеше заң бойынша, әдетте (100) және (110) бойынша таралған. Көбінесе сәуле-парақша агрегаттарда, кейде сферолит қабықшалар немесе ноқат түрінде немесе шар тәрізді конкрециялар (тасберіштер) түрінде байқалады. Өзінің негізгі массасында жер бетінде майда қабыршақ немесе жасырын кристалды массаларда таралған.



198-сурет. Гиббсит кристалы

Түсі. Гиббсит ақ немесе ол сұрғылт, жасылтым және қызғылт реңдерге шамалы боялған. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,587$; $N_m=1,566$ және $N_p=1,566$.

Қаттылығы 2,5-3,5. **Жіктілігі** базопинакоид {001} бойынша аса жетік. **Мен. салмағы** 2,43. **Басқа қасиеттері.** Қыздырған кезде алғашында бемитке – $AlOON$ айналады, содан кейін $950^{\circ}C$ -қа дейін қыздырғанда $\gamma-Al_2O_3$ – шпинель типті кубтық құрылымға өтеді.

Диагноздаушы белгілері. Гиббситке тән белгілерге мыналар жатады: аса жетік жіктілік, шыныша жылтырлық пен аз меншікті салмағы. Өзіне ұқсас диаспордан қаттылығымен ажыратылады (диаспорда 6-7). Слюдадан меншікті салмағы және оптикалық қасиеттері бойынша айрықшаланады (слюдадар оптикалық теріс таңбалы).

Алдымен Co ерітіндісіне батырылып, қыздырылған гиббсит ашық-көк түске боялады. Басқа да металдардың гидраттары сияқты, тұзқышқыл сорылымында ерітіндіге өтеді.

Жаралуы және кенорындары. Алюминийұстамды силикаттар ыдыраған және гидролизі кезінде жаралады: жарым-жартылай гидротермалық процестер кезінде (біршама төмен температурада), ал бірақ негізінен *морудың экзогендік* процестерінде және басым жағдайда ыстық климатты тропик және субтропик елдерде.

Гидротермалық жаралымды гиббсит біршама сирек және өте шағын мөлшерде кездеседі. Ол кейбір эндогендік кенорындарда төмен температуралық гидротермалық ерітінділерден жаралған минералдардың ең соңғыларының бірі ретінде байқалады.

Мору процестерінде ыстық елдерде алюмототық гидраттары, соның ішінде гиббсит, әдетте темір гидраттарымен бірге жаралады. Гиббсит айтарлықтай үлкен мөлшерде *латерит*¹ деп аталатындарда (латынша *латер* – кірпіш, яғни мору өнімдері түсі бойынша жақсы күйдірілген кірпіш сияқты), яғни мору өнімдерінде болады. Олар қазіргі тропик елдер ауқымында түбірлік таужыныстарда жамылғы түрінде кең таралған және негізінен құрамында Fe_2O_3 және аз дәрежеде Al_2O_3 пен SiO_2 бар гидроокиселдерден тұрады. Ол және де негізінен Al гидраттарынан тұратын *бокситте* байқалады. Боксит те *шөгінді* жолмен су алаптарында, таужыныстар мору қыртысы шайылуынан жаралады.

Бірқатар кенорындар үшін бокситтің жаралуын әктас пен доломиттің экзогендік жағдайларда ыдырау процестерімен байланыстырады. Мұнда саз қалдықтар шаймаланудан сілтілі ортада ары қарай ыдырауға ұшырап, босап шыққан кремнийтотықтың шығып кетуінен болады деп есептеледі.

Аймақтық метаморфизм процестері кезінде гиббсит сусызданады да диаспорға өтеді, ал тереңдеу жағдайларда – корундке (түрпі) немесе SiO_2 болған кезде – алюминий силикаттарына немесе алюмосиликаттарға өтеді.

Гиббсит диаспордың серігі ретінде *Тихвин* ауданындағы (Ленинград облысы) боксит кенорындарында және басқа жерлерде анықталған. Көлденеңінде 5 см-ге жететін минералогиялық мәнге ие гиббсит кристалдары гидротермалық жаралымдар арасында кездескен: Златоуст ауданындағы (Оңтүстік Орал) *Шишим* және *Назым* тауларында метаморфтық тақтатастар арасында, сондай-ақ нефелиннің өзгеру өнімдері түрінде *Шиелі тау* (Орта Орал) пегматиттерінде.

Практикалық мәні. Гиббсит дәл диаспор мен бемит сияқты бокситтің құрамына кіреді, алюмототықтың көзі болып табылады да одан ең жеңіл металдардың бірі – алюминий қорытып алынады. Бұл мақсатта құрамындағы кремнийтотық мөлшері 10-15% шамасынан аспайтын боксит пайдаланылады.

Химиялық өнеркәсіпте аз темірлі (ашық түсті) боксит алюминий тұздарын, негізінен сульфаттар алу мақсатында қолданылады. Төмендеу сортты боксит түрпілер (алунд және алоксит) өндірісі үшін пайдаланылады. Олардан сондай-ақ жоғары температуралы пештер үшін (балқу температурасы $2000^{\circ}C$ -тан жоғары) оттөзімді материалдар даярланады. Арнайы сортты бокситтің қолданылуы мұнай және өсімдік майын тазарту үшін адсорбент (оптауыш) ретінде, бояу даярлау үшін, катализатор ретінде және басқаларда артуға.

САССОЛИН – $V[OH]_3$. **Сингониясы** триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық С. Майда қабыршақты, алты жақты-тақталы түссіз немесе шамалы боялған кристалшалары байқалады. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. Оптикалық теріс. $N_g=1,459$; $N_m=1,456$ және $N_p=1,340$.

Қаттылығы 1. Жіктілігі аса жетік $\{001\}$ бойынша. **Мен. салмағы** 1,48. Оңай балқиды. Жалыны жасыл түске боялады. Салқын суда нашар ериді, шамалы тұздылау салқындататын дәмге ие.

Ақ таңдақтар түрінде жанартаулы аудандарда фумарола әрекетінің өнімдері ретінде бөлінеді: көп мөлшерде *Вулкано* аралында (Липар аралдары, Сицилия аралының солтүстік-шығыс шетінде), Камчаткадағы *Авача* жанартауының жарықшақтарында және басқа жерлерде. Алғаш Тосканадағы (Италия) *Сассо* мекенінде табылған. Еріген күйде бор гидраты көбінесе мұнай суында және балшық жанартауы лақтырындыларында анықталады (Керчь түбегінде, Каспий теңізінің Кавказ жағалауында).

3. Лепидокрокит-гётит тобы

Мұнда үшвалентті Al, Fe, Mn және Co металдарының моногидраты деп аталатындар жатады. Бұл қосылыстар диморфты: екі полиморфты ромбылық сингонияда кристалданады.

Лепидокрокит (FeOOH) топшасына оның алюминийлі аналогы – бемит (AlOOH), ал гетит топшасына (HFeO₂) – диаспор (AlOOH) жатады. Мұнда манганитті де сипаттаймыз, оның эмпирикалық формуласы көрсетілген қосылыстарға ұқсас, ал бірақ қалған белгілері бойынша олармен ортақ ештеңесі жоқ.

БЕМИТ – γ -AlOOH. Неміс минералогы И. Бемит (1857-1938) фамилиясы бойынша аталған. Ол осы минералды рентгенметриялық зерттеулер жолымен бокситте болатынын анықтаған, ал боксит кристалдық құрылымы бойынша лепидокрокитке (FeOOH) ұқсас.

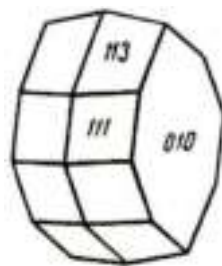
Химиялық құрамы диаспордыкі сияқты. Al₂O₃ – 84,97 % (формуласы бойынша). Құрамында сондай-ақ SiO₂, Fe₂O₃ (опал мен темір гидроокиселдерінің механикалық қосылысы түрінде екені байқалады) және де Ga₂O₃ бар.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы *Amm*(D_{2h}^{18}). $a_0=3,78$; $b_0=11,8$; $c_0=2,85$.

Кристалдық құрылымы лепидокрокит құрылымына ұқсас және ол төменде сипатталған. **Кристалдарының келбеті.** Боксит арасындағы жарықшақтар мен кеуектерде, және де нефелиннің ыдырау өнімдерінде өте ұсақ қалақша немесе жасымық тәрізді кристалшалар түрінде анықталады (*199-сурет*), олар әдетте (010), (111), (113), $\{110\}$ және басқалар комбинацияларынан тұрады. Оған тәні $\{010\}$ жақтары жылтырақ болса, ал қалған пішіндерінің жақтары күңгірт болады. Әдетте ол жасырын кристалды масса түрінде немесе колломорфты жаралымдарда (бокситте) таралған.

Түсі. Түссіз немесе сарғыш реңді ақ. Шағылыстыруының орташа көрсеткіші жасырын кристалды түрлестері үшін 1,640-1,645.

Қаттылығы 3,5. Жіктілігі $\{010\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 3,01-3,06. Қыздырған кезде γ -Al₂O₃ модификациясына айналады (шпинель құрылымында кристалданатын кубтық модификациясы).



199-сурет. Шиелі таулардағы бемит кристалы (Э.М. Бондгитедт-Куплетская бойынша)

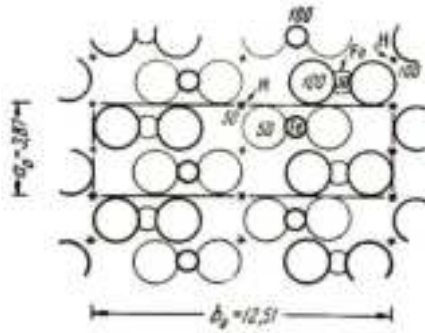
Диагноздаушы белгілері. Кристалшаларының өлшемі өте ұсақ болуынан, рентген әдістерімен ғана ең сенімді анықтала алады. Диаспордан шағылыстыру көрсеткіштігінің аздығымен және төмендеу қаттылығымен ажыратылады. Қышқылдарда ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Біраз уақыт бемит тек бокситтің *экзогендік* кенорындарында ғана белгілі болып келген. Ол *Яковлев* кенорнында көне мору қыртысында метаморфтық тақтатастардағы темір-магнезит-алюмототық құрамды каолинитпен бірлестікте кездескен. Кейінірек ол төмен температуралық гидротермалық минерал ретінде ұсақ кристалшалар түрінде (199-суреттегідей) сілтілі таужыныс пегматиттері арасындағы қуыстарда *Шиелі тауда* (Орта Орал) су-мөлдір гиббситпен бірлестікте цеолиттің (натролиттің) ине тәрізді кристалдарында анықталған. Оның нефелиннің гидротермалық өзгеруі нәтижесінде жаралғаны көрінеді.

ЛЕПИДОКРОКИТ – γ -FeOОН. Грекше *лепидос* – қабыршақ, *крокос* – шафран (запрангүл) дегенінен. Синонимі: рубин (жақұт) слюдкасы.

Химиялық құрамы гетиттің құрамымен бірдей. Бар талдауларға сәйкес, оның құрамындғы қоспалар гетиттегімен салыстырғанда әлдеқайда аз. Дәл гетиттегідей опталған су ұстамды түрлестері болады (майда кристалды колломорфты массаларда), олар гидролепидокрокит - FeOОН·ақ деген атауға ие.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $A_{\text{тат}}(D_{2h}^{17})$. $a_0=3,87$; $b_0=12,51$; $c_0=3,06$. **Кристалдық құрылымы.** 200-суретте көрінетіндей, Fe^{3+} катиондары оттегі иондарының алтыланған қоршауында орналасады (тек алдыңғы және артқы аниондары ғана көрсетілмеген). Соңғылары бұрмаланған октаэдрлердің төбелері бойынша орналасып, олар бір-бірімен тізбекке байланысады да a осіне параллель созылады. Бұл тізбектер бүйірлік байланыстарымен (октаэдр қырлары арқылы) бір-бірімен (010) параллель үзіліссіз қосарланған қабатқа біріккен, яғни сызба жазықтығына перпендикуляр тік бағытта). 200-суретте бейнеленгендей, қосарланған қабаттар бір-бірімен нашар сутекті байланыстармен үзіліссіз зигзаг тәрізді таспаларға: -О-Н-О-Н-О- біріккен. Н-иондарына жапсарласатын әр O^{2-} ионы бір жағынан екі Fe^{3+} катионымен байланысады да олардан $1/2$ валенттіліктен алады, екінші жағынан екі Н-катионымен байланысады, осының нәтижесінде оның валенттілікке толық қанығуы орын алады.



200-сурет. Лепидокрокиттің FeOOH кристалдық құрылымы. Ірі дөңгелекшелер – оттектік иондары, ұсақ дөңгелекшелер – Fe³⁺ иондары. Жұлдызшалармен Н¹⁺ ионының ықтимал орналасуы көрсетілген

Қосарланған қабаттар ішінде орналасқан О²⁻ аниондарына қатысты айтсақ (*200-суретте*), мұнда олардың валенттілігі де Fe³⁺ катиондары беретін валенттіліктер үлесімен толық қанағаттандырылады (әр О анионы төрт Fe катионымен қоршалған). Осылайша, лепидокрокит құрылымының құрылысына оттектік иондарының екі типі қатысады, сондықтан бұл минералдың формуласын FeOOH түрінде жазуға тура келеді. Ал гетиттің (HFeO₂) құрылымында оттектік иондарының барлығы химиялық эквивалентті. Лепидокрокит құрылымындағы иондар жайласуының тығыздығы төмендеу, бұл оның төмендеу меншікті салмағында көрініс табады. **Кристалдарының келбеті.** Лепидокрокит қуыстарда (010) бойынша қалақша кристалшалар түрінде кездеседі (*201-сурет*), бірақ көбінесе майда қабыршақты немесе талшықты агрегаттар түрінде болады. Жеодалар қабырғаларында бүйрек тәрізді агрегаттары да байқалған.

Түсі. Лепидокрокит күңгірт-қызылдан қызғылт-қараға дейін, кейде алтын реңді (қабыршақ массаларда). **Сызық түсі** жирен немесе кірпіш-қызыл. **Жылтырлығы** алмасша. Жұқа шлифтерде мөлдір. $N_g=2,51$, $N_m=2,20$, $N_p=1,94$.

Қаттылығы 4. Жіктілігі {010} бойынша аса жетік және {001} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 4,09-4,1.

Диагноздаушы белгілері. Көбінесе гематит деп жаңсақ қабылданады, әсіресе тығыз агрегаттарда. Лепидокрокиттің жекелеген қабыршақтары кристалшалар пішіні, қызыл түсті жарық өткізуі, жирен-қызыл немесе қызыл сызық түсі және аз меншікті салмағы бойынша (гематиттен айырмашылығы) оңай танылады.



201-сурет. Лепидокрокит кристалы: $a\{100\}$, $b\{010\}$, $c\{001\}$, $d\{201\}$, $w\{031\}$

Жоғары температурада қарайып, магнитті болады. Шыны түтікшеде су бөледі. HCl қышқылында ериді.

Жаралуы және кенорындары. Лепидокрокит қабыршақ кристалшалар түрінде (жақұт слюдкасы) кейде *гидротермалық* кенорындардың ең соңғы минералдарының бірі ретінде байқалады, мысалы: Вестфалиядағы *Зиген* (Германия) кенорнында, *Ангара-Илим* ауданының желілік теміррудалы кенорындарында (майда кварц желішіктері қуыстарында) және басқа жағдайларда. Ол біршама жиірек экзогендік қошқыл теміртастарда қабыршақ агрегаттардың концентрлі қабаттары түрінде немесе жербеттік жаралымды жеодалардың қабырғаларында байқалады: *Полетаев* кенорындарында (Челябинскден оңтүстік-батысқа қарай), *Линецк* төңірегінде және басқа жерлерде.

Микроскопиялық зерттеулер деректері бойынша да, жүйелі қыздыру кезінде жаралатын өнімдерді рентгенметриялық зерделеу деректері бойынша да лепидокрокит гетитке өтуге қабілетті екені көрінеді. Бұл өзгерулер жүретін жағдайлар, сондай-ақ темір окисі моногидратының әр түрлі модификацияларының табиғатта жаралу жағдайлары әлі зерделенбеген. Мұнда темір окисі гидраттарының жаралуы жүретін ортаның қышқылдылық дәрежесі (*pH*) рөл атқаруы ықтимал.

ДИАСПОР - HAlO_2 . Грекше *диаспор* – шашылу (кейбір үлгілер қыздырған кезде шытынайды да ұсақ бөлшектерге ыдырайды) дегеннен. Алғаш осыдан екі ғасыр бұрын Оралда анықталған.

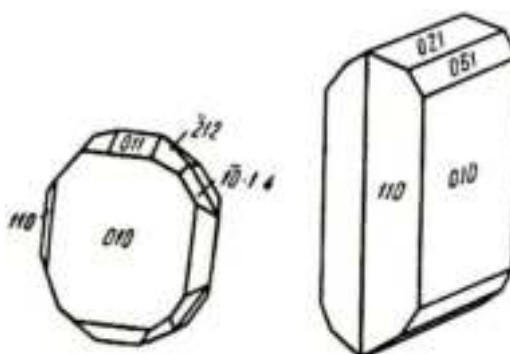
Химиялық құрамы. Al_2O_3 – 85 %, H_2O – 15 %. Құрамында изоморфты қоспалар түрінде Fe_2O_3 (7 %-ке дейін), Mn_2O_3 (Mn-диаспор), Cr_2O_3 (5 %-ке дейін) және SiO_2 (4 %-ке дейін) болатын түрлестері белгілі. Сондай-ақ Ga_2O_3 мөлшері жоғарылау (бірнеше жүздік процент) болатындары да анықталған.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pbnm(D_{2h}^{16})$. $a_0=4,40$; $b_0=9,36$; $c_0=2,84$. **Кристалдық құрылымы** *202-суретте* бейнеленген. Ол O^{2-} иондарының тығыз гексагондық жайласуымен сипатталады, мұнда Al^{3+} иондары октаэдрлік қуыстарда, яғни алты O ионы аралығында орналасады. Оттектің әр ионы үш Al ионымен байланысқан, яғни Al мен O үшін координациялық саны рутил кристалдық құрылымындай (6 и 3). H^{1+} протондары оттектен иондары жұптарының аралығында орналасуы ықтимал (*202-суретте*) және өздерінің өлшемдері өте кішкентай болуына байланысты, кристалдық құрылымында қандай да бір айрықша кеңістікті қажет етпейді. Осылайша, іс жүзінде диаспор құрылымы Al және O иондарынан 1:2 қатынаста (рутилдегі сияқты) тұрады. Н.В. Белов көрсеткендей, рутилмен ұқсастығы осы минералдар құрылысының өзінде болады, тек айырмашылығы диаспорда (гетитте) рутил құрылымынан бір бағаналар орнына *c* осі бойымен қосарланған бағаналар – ең тығыз жайласудың фрагменттері созылады. Кристалдарының тақта тәрізді келбеті, жіктілігі және бұрышы 122° болатын тізе сияқты бүгілген қосақтары осымен түсіндіріледі.



202-сурет. Диаспордың полигов полиэдрлеріндегі кристалдық құрылымы

Кристалдарының келбеті. Кездесетін кристалдары жұқа қабыршақ, кейде (010) бойынша тақталанған пішінді болады (203-сурет), көбінесе *c* осі бойынша бағана тәрізді. Жақтарының тік айғыздалуы байқалады. Әдетте парақша немесе жұқа қабыршақ агрегаттарда таралған.



203-сурет. Диаспор кристалдары. Сол жақтағы фигурада екінші ось байқаушыға бағытталған

Түсі. Диаспор түссіз, ақ, сарғыш-қошқыл, ашық-күлгін, жасыл, жасылтым-сары болады. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. Сызық түсі ақ. $N_g=1,750$; $N_m=1,722$; $N_p=1,702$.

Қаттылығы 6-7. өте морт. **Жіктілігі** {010} айқын. **Мен. салмағы** 3,3-3,5. Қыздырған кезде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корундка) өтеді.

Диагноздаушы белгілері. Диаспорға парақталған агрегаттар, жоғары қаттылық (гиббситтен, слюдалардан және басқалардан айырмашылығы) тән. Тек кейбір хлоритоидтың (Fe, Mg және Al ортосиликаты) сыртқы белгілері бойынша ажыратыла алмайтын түрлестерімен шатастыруға болады, олар кейде диаспормен және корундпен бірге метаморфтық таужыныстарда кездеседі. Одан айырмашылығы, диаспор H_2SO_4 қышқылында ыдырамайды және, одан басқа, кейбір оптикалық қасиеттері бойынша айрықшалаанады.

Қышқылдарда және КОН-та ерімейді. H_2SO_4 қышқылында қатты қыздырғаннан кейін ғана ыдырайды. Түтікшеде қыздырған кезде ұсақ ақ қабыршақтарға ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Кейде кейбір жапсарлық-метасоматоздық және гидротермалық кенорындарда мәрмәрленген әктас арасында корундпен, мусковитпен, гематитпен, рутилмен және басқалармен бірлестікте кездеседі.

Үлкен массаларда майда қабыршақ агрегаттар түрінде, бокситтің экзогендік кенорындарында гиббситпен, бемитпен және басқалармен парагенезисте таралған.

Көбінесе метаморфтық таужыныстарда корундпен, хлоритоидпен және басқа минералдармен бірге (түрлі кенорындарында, мүмкін боксит метаморфизмінің өнімі ретінде), кейде кристалл тақтатастарда таужынысжасаушы минерал ретінде кианиттің және басқа минералдардың сүйемелдеуінде кездеседі.

Корундпен және алюмосиликаттармен бірлестікте Оралда түрпі кенорындарында: *Косой Брод* (Екатеринбург маңында) мәрмәрленген әктаста, *Борзовка* өзені бойынша (Қыштым ауданы) кездеседі.

Сондай-ақ *Ақташ* кенорнында (Өзбекстан) дюмортьеритпен, пирофиллитпен, алунитпен және корундпен бірлестікте, басқа жерлерде де байқалады.

Ірі қабыршақтар мен кристалдарда Массачусетстегі Честер түрпі кенішінде (АҚШ), Наксос аралында (Грекия) және *Милас* пен *Селжук* кенорындарында (Түркия) таралған.

Бокситтің практикалық мәні туралы жоғарыда (*гиббситте*) айтылған.

ГЁТИТ – HFeO_2 . Гётит ақын Гетенің (1749-1832) құрметіне аталған. Алғашында бұл минерал онегит деп (Онега көліндегі Қасқыр-аралда табылған жеріне қарай) аталған, бірақ оның қасиеттері сипатталмағандықтан бұл атау минералогия әдебиетіне тұрақталмаған. Синонимі: «ине тәрізді темір рудасы» (немісше әдебиетте). Лимонит (гидрогетит) – $\text{HFeO}_2 \cdot \text{aq}$ сияқты, әрқелкі, бірақ кең таралған және жалпыға белгілі минерал жаралымының басты құрамдас бөлігі болып табылады.

Лимонит деген атау грек сөзі *лемон* – көгарал (мұнда көгарал және балшықты жерлердегі темір гидроокиселдері рудасына байланысты) дегеннен шыққан.

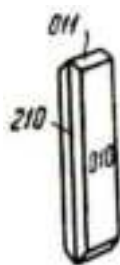
Химиялық құрамы. Fe_2O_3 – 89,9 %, H_2O – 10,1 %. Судың мөлшері көбінесе формула бойынша мөлшерінен жоғары: 12-14 % шамасына дейін (лимонит). Осыған байланысты, бұрын бір-бірінен судың мөлшері және кейбір физикалық қасиеттері бойынша ажыратылатын бірнеше минералдық түр бөлінген. Рентгенметриялық анықталғандай, шын мәнінде $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 1:1$ қатынасындағы бір қосылыс болады, ол белгілі бір кристалдық құрылымға ие. Темір гидроокиселдерінің суға біршама бай түрлестері шын мәнінде гидрогель болып табылады да оның құрамында әр түрлі мөлшерде опталған су болады (дегидратация дәрежесіне байланысты). Сондықтан лимонит жеке минералдық түр емес, гётиттің гидратталған түрлесі болып табылады.

Турьит деп аталатын қосылыс рентгенметриялық және термикалық зерттеулер бойынша гетиттің гидрогематитпен қоспасы болып шыққан және дербес минералдар қатарына жатпайды.

Темір гидроокиселдерінің табиғи шоғырлары өзінің массасында әдетте гетиттің лепидокрокитпен, сондай-ақ кремнийтотық гидроокиселдерімен, саз

заттармен және басқалармен гидратталған қоспасы болып табылады. Мұндай қоспаларды әдетте *қошқыл теміртастар* деп атайды.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pbnt$. $a_0 = 4,64$; $b_0 = 10,0$; $c_0 = 3,03$. **Кристалдық құрылымы** диаспор құрылымына ұқсас. **Кристалдарының келбеті және агрегаттары.** Сирек кездесетін кристалдары ине немесе бағанаша тәрізді келбетке ие (*204-сурет*). Ол рутилдің (011) бойынша тізеше бүгілген қосақтарына ұқсас қосақтар бере алады. Әдетте қабық сияқты, бүйрек тәрізді немесе тассүңгі (сталактит) пішіндерде (*45-суреттегідей*), омырылымында майда радиал немесе параллель талшықты құрылысты («ине тәрізді темір рудасы») немесе тұтас тығыз, кеуек танауша, қож тәрізді, ұнтақша массаларда байқалады. Пириттің және темірдің басқа сульфидтері кристалдарының псевдоморфозалары таралған. Сондай-ақ оолит, ноқат, конкреция және жеода түрінде де кездеседі.



204-сурет. Гётит кристалы

Түсі. Лимонит пен гетит күңгірт-қошқылдан қараға дейін. Ұнтақталған немесе жоса лимонит көбінесе физикалық мору кезінде тығыз қара лимонит пен темір силикаттары есебінен жаралады да біршама ашық сары-қошқыл түске ие болады. Салыстырмалы химиялық және рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, бұл жоса түрлесі ешқандай ерекшелігімен тығыз лимониттен айрықшаланбайды. **Сызық түсі.** Гётит қошқыл қызғылт реңді дақ қалдырады. Лимонит көпшілігінде ашық-қошқыл немесе сары-қошқыл бояуға ие. **Жылтырлығы** алмасшадан шала металшаға дейін. Бүйрек тәрізді немесе тассүңгі лимонит массаларының бетінде көбінесе гётит жылтырақ шайыр-қара жұқа қабыршақ түрінде байқалады. $Nm = 2,35 - 2,39$.

Қаттылығы: гётиттің – 4,5-5,5; лимониттің – 4-1 (физикалық күйіне байланысты). Гётиттің жіктілігі {010} бойынша жетік. **Мен. салмағы:** гётиттің – 4-4,4; лимониттің – 3,3-4 аралығында ауытқиды.

Диагноздаушы белгілері. Гётит пен лимонит бөлінімдерінің айқын емес кристалл пішіндері, қошқыл сызығы және сары-қошқыл жоса жұғындылары бойынша біршама оңай анықталады.

Ұзақ қыздырған кезде күшті магниттіге айналады. Шыны түтікшеде су бөледі, қызарады, сусыз Fe_2O_3 -ке айналады. HCl қышқылында баяу ериді.

Жаралуы және кеноындары. Гётит ине және бағанаша кристалшалар түрінде эндогендік минерал ретінде өте сирек байқалады: мелафир қуыстарында, аметист жеодаларында *Қасқыр-аралда* (Онега көлі, Карелия); *Волынь* пегматит желілерінің қуыстарында (Украина); кейде гидротермалық кенорындарда ең төмен температуралық минералдардың бірі ретінде

қуыстарда, мысалы *Пришибрамда* (Чехия) бұрынырақ жаралған моруға ұшырамаған сфалеритпен және пиритпен бірлестікте болады.

Негізгі массасында гётит пен лимонит экзогендік минералдар ретінде және мұнда тек қана дерлік колломорфты немесе жер тәрізді массалар түрінде таралған. Олар негізінен темірұстамды минералдардың: сульфидтердің, карбонаттардың, силикаттардың және басқалардың тотығуы мен ыдырауы кезінде пайда болатын тұздардың гидролизі нәтижесінде жаралады. Оларда темір екі валентті формада болады. Жер бетінде темір гидроокиселдерінің жаралуын біз барлық жерде дерлік және мұнда сан қилы түрлерде байқаймыз. Айтарлықтай массаларда қошқыл теміртас сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде жаралады. Олар темір телпектер деп аталып қопсық, жентек және тығыз массалардан тұрады, құрамына негізінен лимонит, гётит, кейде лепидокрокит және басқалар кіреді.

Темір гидроокиселдерінің үлкен массалары қошқыл теміртастың жас (неогендік) шөгінді кенорындарында орналасқан, олар теңіз және көл алаптарында жаралған. Темір гидроокиселдері шөгінділерінің жаралуы осы алаптар жағалау белдемдеріндегі басқа да темір гидроокиселдері сияқты жүреді – жер беті су ағындары әкелетін коллоид ерітінділердің теңіздер суында электролиттер ықпалынан коагуляциялану жолымен, ал тұщы сулы көлдерде мүмкін ферробактериялар тіршілік әрекеті нәтижесінде жүретіні көрінеді. Бірақ та темір гидроокиселдері шөгінді кенорындарының бірқатарында, олардан басқа, тотығу белдемінде түскен карбонат және силикат темір рудаларының қазіргі тотығу нәтижесінде қосымша жаралады.

Осылайша, лимонит пен гётит тек қана дерлік жер бетінің өзінде оттек пен ылғалдың толық әрекет етуі жағдайларында жаралады.

Аймақтық метаморфизм кезінде темір гидраттары сусызданады да сусыз окиселдерге (гематит пен магнетитке) айналады.

Генетикалық жағынан қошқыл теміртастың аса көптеген және сан қилы кенорындары ішінде біз тек кейбір ең бастыларын ғана көрсетеміз.

Россия ауқымында белгілі Бакал қошқыл теміртас кенорны (Оңтүстік Орал, Златоусттан оңтүстік-батысқа қарай) ірі темір телпектер түрінде кристалл сидерит рудасының (оның гидротермалық жаралымды екені көрінеді) тотығу нәтижесінде жаралған. Жұмсақ қопсық рудалармен қатар қошқыл теміртастың жеодалары кең таралған, көбінесе өте ірі болып келеді. Қуыстарының қабырғалары лимонит пен гётит бүйректерімен көмкерілген. Бұл рудалар аз фосфорлы, жоғары сапалы. Қошқыл теміртастың *Халилов* кенорны (Оренбург облысындағы Халилов т.ж. бекеті маңында) юра дәуірінде ультранегізді таужыныстар (серпентинит) массивтерінің моруы және шайылуы нәтижесінде жаралған. Сондықтан қошқыл теміртастар никель және хром сияқты элементтерге біршама байыған, олар болаттың құнды легирлеуші компоненттері болып табылады. Никельді қошқыл теміртастар серпентиниттің қалдық мору өнімі ретінде Оралда кең таралған, мысалы Екатеринбург маңындағы *Елизаветинское* кенорнын атайық.

Негізінен ірі оолит қоңыр теміртастың ірі кенорны *Керчь* түбегінде орналасқан (Украина). Қалың руда қабаты неоген түзілімдері арасында

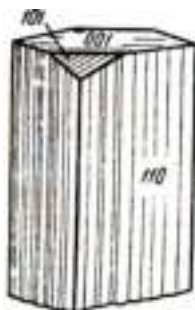
мульдаларда жатады. Бұл рудалардағы темірдің мөлшері 34-42 % және фосфорға байыған. Рудаларының құрамы бойынша осындай, бірақ ауқымы айтарлықтай шағын жатындар көршілес Россияда *Тамань* түбегінде бар. *Эльзас* рудалары да (Франция) қошқыл теміртастан тұрады.

Практикалық мәні. Қошқыл теміртастар, гематит және магнетит рудалары сияқты, домна пештерінде шойын мен болат қорыту үшін ең маңызды шикізат болып табылады. Осы рудаларды қыздыру процесінде пештерде олар толық сусызданады да төтенше майда кеуек массалар жаралады. Рудалардың тотықсыздану жылдамдығы массаның меншікті бет ауданына байланысты болғандықтан, бұл рудалар магнетит және гематит рудаларымен салыстырғанда әлдеқайда тиімді болып табылады. Сондықтан олардағы темірдің минимал мөлшеріне деген талап 35-40 % шамасына дейін төмендетіледі (тығыз магнетит және гематит рудаларындағы 50-60 % орнына).

МАНГАНИТ – $Mn^{2+}Mn^{4+}_2O_4[OH]_2$ немесе $MnO_2 \cdot Mn[OH]_2$. Екі және төрт (үш емес) валентті марганецтің болуы иондардың магниттік анизотропиясын зерделеу жолымен анықталған.

Химиялық құрамы, %: MnO – 40,4; MnO_2 – 49,4; H_2O – 10,2. Қоспалары: SiO_2 (бірнеше процентке дейін), Fe_2O_3 (1 %-ке дейін), мардымсыз мөлшерде Al_2O_3 , CaO және басқалар. H_2O мөлшері жасырын кристалды және оолит манганит массаларында, гетиттегі сияқты формуласы бойынша деп санағанға қарағанда көп (гидроманганит). Судың артық бөлігі сусыздану қисығы бойынша анықталғандай опталған болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $B2_1/d(C^5_{2h})$. $a_0=8,86$; $b_0=5,24$; $c_0=5,70$; $\beta=90^\circ$. **Кристалдық құрылымы** гетиттің құрылымынан айтарлықтай айрықшалаанады және бұл әлі шешілмеген мәселе. Кристалдарының келбеті призмалық (*205-сурет*), c осі бойынша бағаналық. Тік бағытта $\{110\}$ жақтары күшті айғыздалған. **Агрегаттары.** Гидротермалық кенорындар қуыстарында көбінесе бағана кристалдарының друзасы түрінде кездеседі. Шөгінді кенорындарда майда кристалды агрегаттары кең таралған. Оолит, кейде ақпа пішіндер түрінде де байқалады.



205-сурет. Манганит кристалы

Түсі. Манганит қара. **Сызық түсі** қошқыл. **Жылтырлығы** шала металша. $Ng=2,53$; $Nm=2,24$ және $Np=2,24$.

Қаттылығы 3-4. Морт. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 4,2-4,33.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдары бағана келбеті, призма жақтарының өзіндік айғызы және қошқыл сызық түсі бойынша оңай танылады. Суға бай колломорфты түрлестері үшін минералдың өзіне де, сызығына да қошқыл түс тән. Дәл диагноздау үшін рентгенограммалар қажет.

Жабық шыны түтікшеде мол су бөледі. Бура перлі мен фосфор тұзы тотықтырушы жалында күлгін (марганец болуынан). Қаныққан HCl қышқылында хлор бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Жалпы оттег жетімсіз кезінде жаралады. Марганецтің кейбір *гидротермалық* кенорындарында минералдардың бөліну уақыты бойынша ең соңғыларының бірі ретінде баритпен және кальцитпен парагенезисте кристалды друзасы түрінде кездеседі.

Үлкен массаларында *шөгінді* кенорындарда оолит және тұтас массалар түрінде кездесіп, псиломелан-пиролозит рудалары (төрт валентті марганец қосылыстары) мен жаға сызығынан біршама алыстау құрамында екі валентті марганец бар карбонат рудалары фацияларының аралығында аралық жағдайда орналасады.

Саздарда кейде радиал-сәуле құрылысты жалбырлар түрінде анықталады.

Тотығу белдемінде төзімсіз. Жасырын кристалды, сусыз дерлік MnO₂-ге оңай айналады, яғни марганецтің барлығы төртвалентті күйге дейін тотығады. Сондықтан марганец телпектерінде манганит біршама сирек кездеседі.

Манганит елеулі массаларда *Чиатура* кенорында (Грузия) қошқыл түсті оолит рудалар түрінде белгілі. Қара түсті шар тәрізді конкрецияларда *Никополь* кенорында (Украина) да кең таралған.

Көбінесе ірі кристалдар түрінде ол *Ильфельд* (Гарц, Германия), *Ильменау* (Тюрингия, Германия) кенорындарында және басқа жерлерде белгілі.

Практикалық мәні. Пиролозит – псиломелан рудаларымен қатар ферромарганец және басқа темір қорытпаларын (шпигель, силикошпигель) алу үшін маңызды шикізат болады. Бұл қорытпалар болат балқытқанда колданылады.

4. Псиломелан тобы

Бұл топқа жасырын кристалды және колломорфты түрде байқалған марганецтің күрделі әрі тұрақсыз құрамды әр түрлі гидроокиселдері кіреді. Бұрын оларды тұтастай аморфты заттарға жатқызған. Бірақ рентгенметриялық зерттеулермен анықталғандай, олардың көпшілігі кристалды. Және құрылымы бойынша бұрын қарастырылған марганец окиселдері мен гидроокиселдерінің біреуіне де ұқсамайды. Тіпті В.И. Михеевтің толық аяқталмаған рентгенметриялық зерттеулері бойынша, олардың өздері де кристалдық құрылымы бойынша құрамына кіретін катиондарға байланысты бір-бірінен айрықшаланады.

Бұл гидроокиселдердің көпшілігі үшін химиялық конституциясы нақтыланған. Олар күрделі гидраттар болып табылады. Құрамы бойынша ең қарапайымға марганецтің қостотығы «моногидрат» - $MnO_2 \cdot H_2O$ болады. Ол В.И. Вернадскийдің пікірінше, лабораториялық жағдайларда шоколад-бурыл гель түрінде оңай алынатын табиғи H_2MnO_3 метамарганец қышқылына жатады. Күрделілеу қосылыстар құрамына марганецтің MnO_2 және MnO окиселдерінен басқа мынадай окиселдер кіреді: K_2O , BaO , CaO , кейде PbO , ZnO , CoO , NiO , CuO , Li_2O , WO_3 , P_2O_5 , As_2O_5 және басқа. Марганец гидроокиселдерінің SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 гидроокиселдерімен және органикалық заттармен коллоидтық қоспалары да анықталады. Бұл қосылыстарға олардың құрамына қандай металл окиселдері кіретініне байланысты көптеген әр түрлі атаулар берілген.

Осы минералдық түрлердің барлығы далалық жағдайларда қарапайым жинақтауыш атаумен «псиломелан» деп аталады. Минералдық түрді дәл анықтау рентгенограммалардың негізінде және химиялық талдаулар деректері бойынша жасалына алады.

Қошқыл немесе қара бояулы псиломеланның жұмсақ ұнтақша түрлестерін бұрын вад деп атаған. Қазіргі кезде бұл термин өзінің мәнін жойды, өйткені бұл түрлестері химиялық талдаулар мен рентгенография көмегімен түбегейлі зерделеу көрсеткендей, бұл түрде құрамы бойынша әр түрлі минералдар бола алады екен: псиломелан тобының минерал түрлері, сондай-ақ манганит, рамсделлит және басқа.

ПСИЛОМЕЛАН - $mMnO \cdot nMnO_2 \cdot lH_2O$. Белгілі бір формуламен сипаттала алмайды. Грекше *псилос* – таз, *мелас* – қара («қара шыны бас»). Америкалық әдебиетте бұл терминмен елеулі барийлі түрлесін атау ұсынылады, басқа авторлар *романешит* деп атайды (қазіргі кезде – формуласы $(Ba, H_2O) (Mn^{4+}, Mn^{3+})_5O_{10}$) болатын минерал түрі. Оған негіз болғаны, псиломелан деп аталған алғашқы үлгілері кейін анықталғандай барийге бай болып шыққан. Бірақ псиломелан тобындағы барлық түрлестері ішіндегі ең кең таралғаны барийге жұтаң болып табылады. Қазіргі кезде «псиломелан» термині түрлік атау статусына ие емес, өйткені ол жиынтық атау және қосық әрі жұмсақ вадтан айырмашылығы, жоғары тығыздыққа ие болатын марганец минералдары мен олардың қоспаларының кең шеңберін қамтиды.

Химиялық құрамы тұрақсыз. MnO және MnO_2 қатынасы марганецтің төменгі окиселінің тотығу дәрежесіне байланысты біршама кең ауқымда ауытқиды. MnO_2 мөлшері әдетте 60-80% құрайды, MnO онша көп емес 8-25 %, H_2O – 4-6 % (оның көп бөлігі 110^0C -тан жоғары температурада жоғалады). Мардымсыз мөлшерде көбінесе BaO (бірнеше процентке дейін), кейде сілтілер, CaO , CoO , MgO , ZnO және де SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 бөтен қоспалар түрінде болады. Өте сирек WO_3 анықталады (1, ал кейде 5-8 %-ке дейін) – *тунгомелан*.

Сингониясы бір мәнді анықталмайды, псиломеландардың көпшілігінде ромбылық құрамдасының үлесі зор. Әдетте бүйрек тәрізді пішіндерде

концентрлі-зоналы немесе майда кристалды агрегаттарда байқалады. Дендрит тәрізді жұғындары да жиі кездеседі (51-суретте).

Түсі. Псиломелан қара, кейде қошқылдау-қара. **Сызық түсі** әдетте қара. **Жылтырлығы** шаламеталшадан алмасшаға дейін, қопсық түрлестерінде күңгірт.

Қаттылығы 4-6 (тығыз түрлестері үшін), судың мөлшеріне және физикалық күйіне байланысты өзгереді. Морт. **Мен. салмағы** 4,4-4,7.

Диагноздаушы белгілері. Псиломелан тобына жататындығы агрегаттарының пішіні, қара сызығы және марганецке реакциясы бойынша анықталады. Дәл диагноздау әзірше тек химиялық талдау көмегімен ғана мүмкін.

Тұз қышқылында еріткен кезде хлор бөлінеді. Жабық түтікшеде су мен оттегі бөледі. Бура мен фосфор тұзында тотықтырушы жалында күлгін перл береді.

Жаралуы және кенорындары. Псиломелан деген атаумен біріктірілетін барлық жаралымдарға ұқсас, негізінен экзогендік жағдайларда: марганец рудасы кенорындарының *тотығу белдемдерінде* және *шөгінді* жаралымды кенорындарда жаралады. Екінші дәрежелі минерал ретінде *гидротермалық* генезисті марганец рудаларында да кездеседі.

Тотығу белдемдерінде ол негізінен браунит, гаусманит, кейде марганец силикаттары мен карбонаттары сияқты минералдар есебінен жаралады (вернадитпен бірге), сондай-ақ дербес жолмен марганец гидроокиселдері коагуляцияланғанда қуыстарда ақпа пішіндер түрінде және тығыз массалар түрінде жаралады.

Псиломелан марганецтің шөгінді кенорындарында тығыз рудалардың немесе оолиттердің қабатшалары түрінде және концентрлі-зоналы құрылысты шар сияқты конкрецияларда кездеседі.

Морыған кезде псиломелан тотығуға және дегидратацияға ұшырайды. Мұнда оның есебінен негізінен қуыстар мен кеуектер бетінде көбінесе қара күйе тәрізді масса түрінде пиролюзит жаралады. Құрамында псиломелан кездесетін өте ірі шөгінді марганец кенорындарына *Чиатура* (Грузия) мен *Никополь* (Украина) жатады.

Практикалық мәні. Пиролузитпен және марганецтің оксистік басқа минералдарымен бірге қара металлургияда ферромарганец қорытпасын алу үшін пайдаланылатын басты руда болып табылады. Марганецке жұтаңдау рудалар темір рудасынан кәдімгі шойын балқытқан кезде шихталау үшін пайдаланылады.

Қорытындылай келе айтылатыны, полиминералды қоспаларды, сонымен бірге марганецтің біршама таза оксид минералдарын диагноздау электрондық микроскопия және ИҚ-спектроскопия сияқты күрделі әдістемелер қолдануды талап етеді. Сонымен бірге көзмөлшермен диагноздаған кезде мұндай жаралымдар оңай анықталатын қасиеттері мен өзіндік морфологиясын ескере отырып, қандай да бір алдын-ала қорытынды жасауды қажет етеді; дәл осындай жағдайларда «псиломелан» деген атау қолданылуы мүмкін.

V БӨЛІМ

ОТТЕК ТҰЗДАРЫ (ОКСИТҰЗДАР)

Жалпы ескертпелер. Бейорганикалық минералдардың осы соңғы бөлімінде біз химиялық көзқарастан әр түрлі оттеқ қышқылдарының тұзы болып табылатын күрделі қосылыстарды қарастырамыз. Сандық құрамы бойынша бұл тарау ең үлкені – оған барлық белгілі минералдардың үштен екіге жуығы жатады. Көрсетілген қосылыстардың минералогиядағы мәні осымен анықталады.

Олардың арасында силикаттар басым орын алады. Сульфаттар мен фосфаттар да аса көп санды. Жер қыртысында, әрине, тек қана қатты күйде таралған және әр түрлі геологиялық жағдайларда өтетін химиялық реакциялар өнімі болып табылады.

Біз оттеқ тұздарының жалпы химиялық ерекшеліктері сипаттамасына толық тоқталып жатпаймыз. Олар химия курсында түбегейлі талқыланған және табиғи тұздар принциптік тұрғыдан олардан ешнәрсесімен айрықшаланбайды.

Тек айта кететіні, бұл тұздар арасында ең алдымен *сусыз* және *сулы* (яғни өзінің құрамында H_2O молекулалары болатындар) тұздар ажыратылады. Біріншісінің де, екіншісінің де арасында мыналарды да ажырату маңызды:

1) *қышқылды тұздар* (мысалы, $NaHCO_3$ – нахколит, натрийдің қышқылды карбонаты), яғни құрамында бір металл катионы орнына H^{+1} протоны болады. Табиғи жағдайларда қышқылды тұздар біршама сирек кездеседі;

2) *қалыпты* немесе *орташа тұздар*, олар табиғатта ең көп таралған. Мысалы: $Ca[CO_3]$ – кальцит (әкті шпат), $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$ – гипс;

3) *негізді тұздар*, яғни өзінің құрамында катиондардың асыңқы оң зарядын бейтараптандыратын $[OH]^{1-}$ гидроксил иондары болады. Бұл тұздар табиғатта кең таралған. Мысалдарына жататындар: $Cu_2[CO_3][OH]_2$ – малахит және $Al_2[SO_4][OH]_4 \cdot 7H_2O$ – алюминит.

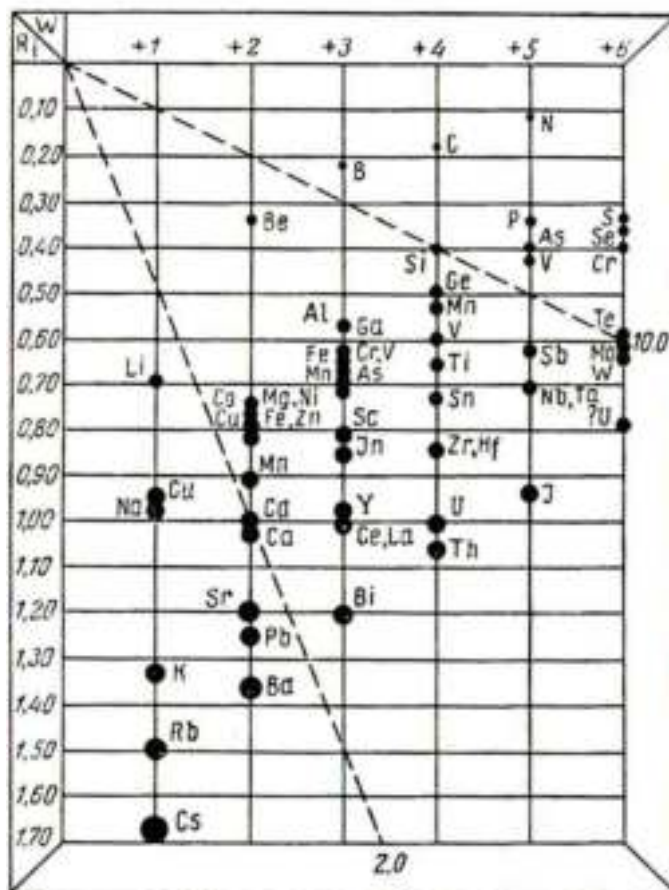
Негізді тұздарда $[OH]^{1-}$ анионы бір қатар мысалдарда анықталғандай, басқа аниондармен, көбінесе тең шамалы F^{1-} анионымен, кейде O^{2-} және Cl^{1-} аниондарымен жартылай немесе толық алмастырыла алады (қосылыстың жалпы құрылымын өзгертпей). Мұндай тұздардың барлығын, құрамында ОН барларды қоса алғанда, біз қосымша аниондары бар тұздар деп атайтын боламыз.

Қосарланған және күрделілеу тұздар белгілі бір қосылыстар ретінде қарапайым тұздардан мыналарымен ажыратылады – катиондары немесе аниондары, немесе екеуі де бірге изоморфты алмаспаған немесе бір-бірін шектеулі алмастыратын түрлі иондардан тұрады. Мысалдары: $CaMg[CO_3]_2$ – доломит, $Na_6Mg_2[CO_3]_4[SO_4]$ – тихит және басқалар.

Өзгермелі құрамды тұздарда изовалентті де, гетеровалентті де изоморфизм орын алады. Соңғы жағдайларда қосылыстардағы оң және теріс

зарядтардың теңгерілуі әрдайым анықталады. Мысалдары: $(\text{Mn,Fe})[\text{CO}_3]$ – Ферродохрозит, $\text{Ca}_5[\text{PO}_4, \text{SiO}_4, \text{SO}_4]_3[\text{F, OH}]$ – силикат-сульфат фторапатит (вилькеит) және басқалар.

Қосылыстардың кристалхимиялық ерекшеліктері. Оттек тұздары кристалхимиясына тән ерекшеліктерге олардың кристалдық құрамында $[\text{NO}_3]^{1-}$, $[\text{CO}_3]^{2-}$, $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{PO}_4]^{3-}$ және басқа *комплекті* аниондар болуы жатады. Осы топ центрлерінде орналасатын катиондар иондық радиустарының шағын өлшемдерге, жоғары зарядтарға ие болады (206-сурет) және оттек иондарымен ковалентті байланысқан.



206-сурет. Табиғи қосылыстарда таралған ең басты катиондар диаграммасы

Бұл топтарда орталық катионды оттек иондары байланысының беріктігіне назар аудару өте маңызды, ол электрстатикалық валенттілік аталатынмен, яғни катионнан оны қоршайтын әр оттек ионына келетін зарядтың шамасымен анықталады. Мәселен, N^{5+} катионынан және оны қоршайтын үш O^{2-} ионынан тұратын $[\text{NO}_3]^{1-}$ комплексті анионында әр оттек 5:3 зарядтының жарнасын алады, ал $[\text{CO}_3]^{2-}$ анионында бұл 4:3 шамасын құрайды, $[\text{SO}_4]^{2-}$ анионында – 6:4, $[\text{PO}_4]^{3-}$ анионында – 5:4 және тағы басқалар.

Көріп отырғанымыздай, бұл қатынас барлығында 1-ден асады (яғни оттек валенттілігінің жартысынан астамы орталық катионымен байланысқа кетеді), тек $[\text{BO}_3]^{3-}$ және $[\text{SiO}_4]^{4-}$ үшін ғана ол 1-ге тең. Бұдан шығатыны, оттек иондары комплекстер ішіндегі шағын катиондармен кристалдық құрылымдарда комплексті аниондардан тыс орналасқандарға қарағанда

беріктеу байланысқан. Бұл жағынан оттект тұздары күрделі окиселдерден аса айтарлықтай айрықшалаынады. Күрделі окиселдерде катиондар мен оларды қоршайтын оттект иондары аралығындағы байланыстың электрстатикалық валенттілік шамасы әрдәйім 1-ден аз.

Осылайша, комплексті аниондар біртұтас нығыз топтарға берік байланысқан, кристалдық құрылымдарда дербес құрылымдық бірліктер ретінде қатысатындар болып табылады. Олардың дербестігі бұл топтар тұздар еріген кезде ыдырамайтындығымен айрықшалаынады. Қарапайым аниондардан олар пішіні бойынша, және әрине өлшемдері бойынша айтарлықтай өзгешеленеді. XO_4 типті аниондар тетраэдрлік координацияға ие және пішіні бойынша изометрлі денелерге жақын. XO_3 типті аниондар жазық үшбұрыштар (CO_3 , BO_3), кейде доғал пирамидалар (AsO_3 және басқа) пішіндеріне ие, оларда оттект иондары үшбұрыш бұрыштары бойынша, ал оларды байланыстыратын катион – осы үшбұрыш центрі үстінде «отырады».

Кейін біз көретіндей, конфигурациясы бойынша қарапайым комплексті аниондардан басқа күрделілеу радикалдар да болады. Олар әдетте бораттар мен силикаттарға, яғни өте нашар қышқылдар тұзына тән.

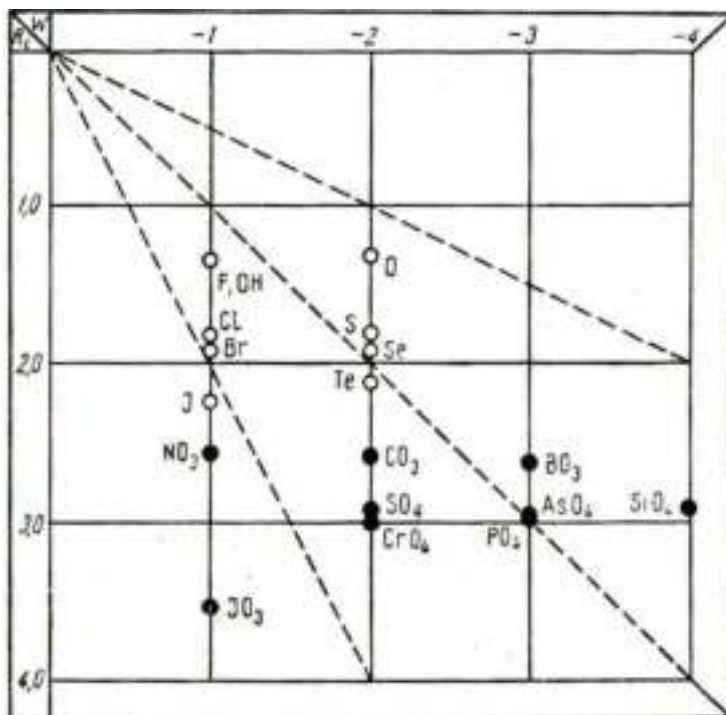
Күштілеу басқа қышқылдардың тұзы нағыз иондық байланысқа тән кристалдық құрылымдарымен сипатталады. Олардың айырмашылығы, мұнда қарапайым аниондар рөлін комплексті аниондар атқарады. Сондықтан, олар бірқатар физикалық қасиеттері бойынша хлоридтер мен фторидтерге жататын минералдарды өте жақын еске түсіретіні ғажап емес.

Табиғи оттект тұздарында таралған, құрылысы бойынша ең басты қарапайым комплексті аниондар тізімі 10-кестеде иондық потенциалдары мәнінің артуы бойынша ретпен келтірілген. Осында аниондардың иондық «радиустар» түріндегі өлшемдері де (А.Е. Ферсман бойынша) берілген. Айта кету керек, дәл мағынасында қандай да бір комплексті аниондардың радиусы туралы ешқандай сөз болмауы керек. Кестеде келтірілген мәндерді А.Е. Ферсман есептеу жолымен және жуықтап қана алған. Бірақ минералдардың қасиеттері туралы жалпы түсінік үшін бұл жуықтап алынған шамалар пайдалы болып табылады. Әсіресе, егер кристалдық құрылымның энергиясымен байланысты қаттылық, балқығыштық, ұшпалық, салыстырмалы ерігіштік және басқалар сияқты қасиеттерін ескерсек, оларды біз іс жүзінде дәлдігі өте төмен шкалалар бойынша бағалаймыз.

10-кесте. Ең маңызды табиғи оттект тұздарының комплексті аниондары

Анион	«Ri»	ВЭК	Иондық әлеует	Анион пішіні
$[NO_3]^{1-}$	2,57	0,19	0,39	үшбұрыш
$[CrO_4]^{2-}$	3,00	0,34	0,67	тетраэдр
$[SO_4]^{2-}$	2,95	0,34	0,68	-/-
$[CO_3]^{2-}$	2,57	0,39	0,78	үшбұрыш
$[PO_4]^{3-}$	3,00	0,50	1,00	тетраэдр
$[AsO_4]^{3-}$	2,95	0,51	1,02	-/-
$[BO_3]^{3-}$	2,68	0,56	1,12	үшбұрыш
$[SiO_4]^{4-}$	2,90	0,69	1,38	тетраэдр

Кестеде берілген мәндер көрнекілеу формада диаграммада көрсетілген (207-сурет). Салыстыру үшін окиселдер, сульфидтер, селенидтер және теллуридтер құрамына кіретін екі валентті қарапайым аниондар мен бұрынырақ қарастырылған галогенидтердің бір валентті қарапайым аниондары да бос дөңгелекшелер түрінде түсірілген.



207-сурет. Комплексті аниондардың жуықтатылған өлшемдері (қара дөңгелекшелер) табиғи қосылыстарда таралған қарапайым аниондар өлшемімен салыстыра көрсетілген

Оттек тұздарының басым массасы нағыз иондық қосылыстар болып табылатындықтан, әрине, кристалдық құрылымдарының орнықтылығы айтарлықтай шамада катиондар мен аниондардың құрылымдық бірліктер ретіндегі өлшемдері арақатынасына тәуелді болуы тиіс. Оттек тұздары үшін бұл қатынасты қандай да бір цифрлық мәндермен көрсету мүмкін емес. Өйткені комплексті аниондар өлшемін біз радиустармен көрсете алмаймыз, оның себебі олар өзінің конфигурациясы бойынша шар пішінінен айтарлықтай өзгешеленеді, ал біз қарапайым иондарды шартты түрде осындай деп қабылдаймыз.

Дегенмен $[SO_4]^{2-}$, $[PO_4]^{3-}$, $[SiO_4]^{4-}$ және басқалар сияқты изометрлі комплексті аниондар өздерінің өлшемдері бойынша қарапайым иондарға қарағанда (мысалы, O^{2-}) әлдеқайда үлкен болуы тиіс екені шүбә келтірмеуі тиіс. Сондықтан бұл аниондар AX типті қарапайым қосылыстарда (мұнда X комплексті анион болып табылады) ең орнықты кристалдық құрылымды тек ірі катиондармен бірлесе ғана бере алатыны кездейсоқ емес. Бұл қосылыстар шындығында қиын еритіндер, қиын балқитындар және қиын ұшпалар болады. Мысалдарға жүгінейік.

Екі валентті $[SO_4]^{2-}$ анионы AX типті қосылыстарда (яғни катион:анион қатынасы тең 1:1 болатын) мынадай ең орнықты қосылыстар (сульфаттар)

жасайды: $BaSO_4$ – барит және $PbSO_4$ – англезит, яғни ең ірі екі валентті катиондармен бірлеседі (206-суреттегі екі валентті катиондар бағанасы). Осы көзқарас бойынша кейде бариттерде анықталатын Ra^{2+} мен Ba^{2+} изоморфты қоспалар да түсінікті болады (Ra^{2+} иондық радиусы Ba^{2+} радиусына қарағанда біршама үлкен). Құрамында сульфидтер бар уран кенорындарының тотығу белдемдеріндегі сульфатты су әрекеті жағдайларында, радий концентрациясы уранға қатысты қарағанда жоғары болатыны таңдандырмайды, ал бастапқы рудаларда ондай емес (алты валентті уран қосылыстарының мұндай жағдайлардағы ерігіштігі радий сульфатымен салыстырғанда әлдеқайда жоғары).

Иондық радиустары шағын екі валентті катиондарға қатысты айтсақ, олар табиғи жағдайларда тек сулы сульфаттарды ғана түзуі мүмкін. Бұл сульфаттар төмен температурада және ерітінділер кристалдануының соңғы сатысында ғана кристалданады. Көпшілік жағдайларда сулы тұздарда 2, 4, 6 және 7 H_2O молекуласы болады. $Ni[SO_4] \cdot 6H_2O$ қосылысын рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, Ni^{2+} катионы кристалдық құрылымда тікелей алты электрондық бейтарап (яғни катион зарядын өтемелемейтін) су молекуласымен қоршалған. Осының салдарынан мұндай гидратталған катиондар көлемі жасанды түрде ұлғайған сияқты болады, осыған байланысты $[SO_4]^{2-}$ сияқты ірі аниондар қатысатын кристалдық құрылымның тұрғызылуы мүмкін болады. Кристалхимиялық көзқарас бойынша бұл қосылыстың формуласын $[Ni(H_2O)_6][SO_4]$ деп жазған дұрысырақ болады. Мұндай сулы тұздар айқын жоғарырақ немесе жоғары ерігіштікке және оңай сусыздануға ұшырайтын қабілетке ие, ал олардың кристалдық құрылымы қайта құрылымданады немесе тіпті қирайды.

Бір қызығы, өлшемдері бойынша орташа Ca^{2+} катионы (206-суреттегі) белгілі жағдайларда сусыз $Ca[SO_4]$ (ангидрит) сульфатын жасауға қабілетті болғанымен, бірақ ол орнықтылау сулы қосылыс $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$ – гипске өтеді. Рентгенметриялық деректер бойынша гипс қабатты құрылымға ие, мұнда H_2O молекулалары Ca^{2+} және $[SO_4]^{2-}$ иондарынан тұратын парақтар аралығында орналасады. Гипс кристалдарының берілген бағыттағы аса жетік жіктілігі осыған байланысты.

Егер біз үш валентті $[PO_4]^{3-}$ ионына өтсек, онда сульфаттарға ұқсас суретті көреміз. Үш валентті иондар арасында (206-суретте) ең ірі, осы ионмен орнықты кристалдық құрылым жасай алатынға сирек жерлер (Ce,...) және La жатады. Табиғатта шынында өте төзімді сирек жерлер фосфаты – $(Ce,La,...)[PO_4]$ (монацит) таралған. Тау жыныстар қираған кезде ол аса төзімді минерал ретінде шашылымға өтеді. Сирекжер элементтердің басты концентрациясы дәл осы минералмен байланысты екендігі кездейсоқ емес. Кейде басқа, төзімсіздеу фосфат $Y[PO_4]$ – ксенотим кездеседі. Үш валентті шағын катиондар (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{3+}) фосфаты табиғатта сулы тұздардан тұрады.

$[SiO_4]^{4-}$ анионы үшін ең төзімдіге ірі төрт валентті (Zr^{4+} , Th^{4+} , кейде уранның U^{4+} изоморфты қоспасы бар) қосылысы жатады: циркон – $Zr[SiO_4]$ және торит – $(Th,U)[SiO_4]$.

Ториттің және оның түрлестерінің кристалдық құрылымы тек радиобелсенді ыдырау салдарынан ғана қирайды. Құрамында радиобелсенді элементтер жоқ циркон аса төзімді минерал, оның куәсіне жұмырланған түйірлерінің шашылымдарда және жасы әр түрлі шөгінді жаралымдарда кең таралғаны жатады. Жер қыртысындағы цирконийдің басты массасы осы минерал түрінде бөлінеді. Тек кремний тотыққа жұтаң және сілтілерге бай магмаларда ғана ол басқа минералдар жасауға қабілетті.

Оттек тұздарының жіктелімі. Тұздарды жүйелеуді қышқылдық радикалдар бойынша немесе, ол да сондай болып шығады – комплексті аниондар бойынша беру қабылданған. Орналасу ретін ВЭК шамасы немесе иондық потенциалдар бойынша (*10-кестеде*) белгіленгендей етіп қабылдауға болады. Оттек тұздарын окиселдер артынша, атап айтқанда кварц тобы минералдарынан кейін қарастыруды кристалхимиялық жағынан оларға жақындау силикаттар мен бораттардан бастап, иодаттармен бітіру керек еді, яғни аниондар иондық потенциалының төмендеу реті бойынша. Бірақ материалды сіңіруді жеңілдету мақсатында біз мұнда жататын минералдарды зерделеуді кері рет бойынша қабылдаймыз, яғни «қарапайымнан күрделіге қарай» принципі бойынша (дегенмен карбонаттарды сульфаттарға дейін қарастырамыз).

Осылайша, оттек тұздарына жататын минералдар арасында мына кластарды бөлеміз:

- | | |
|-----------------|---|
| 1. Нитраттар. | 5. Молибдаттар және вольфраматтар. |
| 2. Карбонаттар. | 6. Фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар. |
| 3. Сульфаттар. | 7. Бораттар. |
| 4. Хроматтар. | 8. Силикаттар және алюмосиликаттар. |

КЛАСС 1. Нитраттар

Жалпы ескертпелер. Азот жер қыртысында тек қана $[\text{NO}_3]^{1-}$, $[\text{NH}_4]^{1+}$ комплексті аниондары және атмосфера газы түрінде белгілі.

Нитраттар күшті HNO_3 азот қышқылының суда оңай еритін тұздары ретінде тек қана дерлік қазіргі жаралымдарда ыстық шөл елдерде таралған. Олардағы азоттың көзіне ауа азоты жатады. Бұл элементтің тотығу реакциясы негізінен биологиялық санатқа ие, яғни топырақтағы бактериялық процестерге немесе мүмкін атмосферадағы электр разрядтарына (биік таулы жазықтарда) байланысты. Ең маңызды мәнге К және Na сілтілерінің нитраттары ие. Сілтіжерлер – Mg, Ca және Ba нитраттары бағынышты рөл атқарады. Мыс кенорындарының тотығу белдемдерінде шөлдегі мору жағдайларында күрделі құрамды сирек Cu нитраттары кездеседі. Нитраттардың гидраттармен және басқа қышқылдар тұздарымен де қосылыстары белгілі.

НАТРИЙ СЕЛИТРАСЫ – $\text{Na}[\text{NO}_3]$. Синонимі: Чили селитрасы.

Химиялық құрамы: Na_2O – 36,5 %, N_2O_5 – 63,5 %.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_6L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R3c(D^6_{3d})$. $a_0=5,07$; $c_0=16,81$. Кальцитпен

изокұрылымды. Ромбоэдрлерде, полюстік бұрышы бойынша кальцит ромбоэдрлеріне өте жақын кристалданады. Бірқатар басқа қасиеттері бойынша да кальцитке ұқсас болуы тән. Қосақтары (01 $\bar{1}$ 2), сондай-ақ (0001), (02 $\bar{2}$ 1), (10 $\bar{1}$ 1) бойынша. Әдетте тұтас түйірлі массаларда қабыршақтар немесе таңдақтар түрінде байқалады.

Түсі ақ, сұр, қызғылт-қошқыл, лимон-сары. **Жылтырлығы** шыныша. $Nm=1,585$.

Қаттылығы 1,5-2. Морт. **Жіктілігі** {10 $\bar{1}$ 1} ромбоэдр бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,24-2,29.

Диагноздаушы белгілері. Оңай балқиды, жалынды сары түске бояйды (Na). Суда оңай ериді. Дәмі шамалы тұздылау, салқындататын.

Жаралуы және кенорындары. Құрғақ ыстық, өсімдігі жоқ өңірлерде құрамында азот бар органикалық заттар (гуано және құстар мен жануарлардың басқа да қалдықтары), сондай-ақ микробалдырлар, нитробактериялар және басқалар биохимиялық ыдыраған (тотыққан) кезде жаралады. Сирек жауатын атмосфералық жауын-шашын жаралатын селитраны ойпаңдарға шайып апарды да уақыт өте келе бұл жерлерде селитра сортаңдары немесе тіпті тұтас селитра шоғырлары жаралады.

Селитрамен парагенезисте гипс, мирабилит (натрийдің сулы сульфаты), галит, кейде иодаттар және басқа минералдар кездеседі.

Натрий селитрасының айрықша ірі жатындары Кордильера тау тізбегінің етегінде биіктаулы *Чили* үстіртінде орналасқан. Бұл өңір көптеген миллион жыл ағымында, соңғы бор заманынан бастап төтенше ыстық құрғақ климатты шөл болып табылады (жаңбыр 4-5 жылда бір рет жауады).

Селитралы шағын кенорындар, негізінен калий селитралы, төбелер мен ойпаңдарда күмпиген селитралы сортаңдар түрінде *Қазақстан* (Каспий сырты) мен *Орта Азияда* кең таралған. Селитра қабыршақтары мен таңдақтары құрғақ айларда мезгіл-мезгіл пайда болады. Оның жаралуы көне қалалар мен бекіністер қалдықтарының, сондай-ақ көне құрылыстардың саздан тұрғызылған қабырғаларында дамиды микробалдырлар мен нитробактериялардың ыдырау процестерінің нәтижесі болып табылады. *Алтайдың, Қырымның* таулы бөліктеріндегі және басқа жерлердегі селитра шоғырлары анық жануарлар жаралымды, олар мал жайылымдарына және қораларына байланысты.

Практикалық мәні: 1) селитра минералдық тыңайтқыштар ішіндегі ең жақсысы болып табылады; 2) күшті тотықтырғыш ретінде металлургияда никель рудаларын өңдеген кезде пайдаланылады; 3) шыны өнеркәсібінде шыныны тазарту үшін қолданылады; 4) тамақ өнеркәсібінде – балықты, етті және басқаларды консервілеу үшін; 5) қара жарылғыш дәріні (порохты) және басқа әр түрлі жарылғыш заттарды даярлау үшін қолданылады.

Азот қосылыстарын (аммиакты және азот қышқылын) ауадағы азоттан катализатор қолданып жасанды (синтетикалық) жолмен алудың өнеркәсіптік тәсілі меңгерілген. Осыған байланысты селитра өндіру әр түрлі елдерде күрт құлдыраған. Бірақ жергілікті өнеркәсіп қажетін өтеу үшін селитра кенорындары әлі де өз мәнін жоғалтқан жоқ.

КАЛИЙ СЕЛИТРАСЫ – KNO_3 . Синонимі: Индия селитрасы.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pnma$. $a_0=5,42$; $b_0=9,17$; $c_0=6,45$. Натрий селитрасы сияқты копсық ақ қабыршақтар және таңдақтар түрінде кездеседі. $Nm=1,505$.

Қаттылығы 2. Жіктілігі (011) бойынша жетік. **Мен. салмағы 1,99.**

Калий селитрасы натрий селитрасына қарағанда кеңдеу таралған. Бұрын елеулі мөлшерде ол Индияда өндірілген (қазір кенорындары сарқылған). Таңдақтар және қабыршақтар түрінде көбінесе сол натрий селитрасы бар аудандарда кең таралған.

КЛАСС 2. Карбонаттар

Жалпы ескертпелер. Бұл класта біз енді минерал түрлерінің аса елеулі санын кездестіреміз, олардың көпшілігі табиғатта кең таралған. Әсіресе ол $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ – кальцитке қатысты, ол көбінесе шөгінді-теңіз жаралымды орасан қатқабаттарды құрайды. Карбонаттар көбінесе және де кенорындардағы руда минералдардың серігі болады, ал бірқатар жағдайларда өздері бірсыпыра маңызды металдар, мысалы марганец (родохрозит түрінде) және темір (сидерит түрінде) көзі ретінде өнеркәсіптік қызығушылыққа ие болады.

$[\text{CO}_3]^{2-}$ анионы орташа және үлкен иондық радиустарға ие екі валентті металдар катиондарымен біршама орнықты қосылыстар беруге қабілетті. Мұндай металдар саны көп емес. Олардың ең бастылары: Mg, Fe, Zn, Mn, Ca, Sr, Pb, Ba, сондай-ақ Cu, Pb, Mn және қосымша $[\text{OH}]^{1-}$ және Cl^{1-} анионды басқалар.

Өлшемдері бойынша оларға жақын бір валентті катиондар (Na, K, NH_4) сусыз карбонаттар жасай алады тек мынадай жағдайларда ғана, егер олармен бірге кристалдық құрылымына H^{1+} катионы кірсе, яғни қышқылды тұздар түрінде. Сулы карбонаттар жалпы алғанда сулы ортада гидратацияға бейім Mg^{2+} катионы үшін де тән.

Үш валентті металдар карбонаты сирек жерлер үшін қосымша F^{1-} анионымен белгілі. Карбонаттарда шағын үш валентті катиондар ішінен кейде тек Al^{3+} қана кездеседі, оның өзі қосарланған және сулы тұздар түрінде екі валентті металдармен (Cu, Pb) бірлесе.

Төрт және бес валентті металдар карбонаты болмайды. Алты валентті уран қосымша O^{2-} анионымен сирек сусыз карбонат – $\text{UO}_2(\text{CO}_3)$ (резерфордит) береді. Уранның қалған белгілі карбонаттары сулы болады.

Карбонаттар физикалық қасиеттері ерекшеліктерінен мыналарды атаймыз. Сусыз карбонаттар қаттылығы ешқашан жоғары болмайды. Әдетте ол 3 пен 5 аралығында өзгереді. Карбонаттардың суда ерігіштігі жоғарылау. Әсіресе бұл қасиет катиондары біршама шағын иондық радиустарға ие (мысалы, Mg^{2+} , Co^{2+}) немесе керісінше өте үлкен өлшемді (мысалы, Ba^{2+}) болатын элементтер бикарбонаттарына және сілтілер карбонатына тән. Cu^{2+} карбонаты тек негізді тұздар түрінде ғана кездеседі, бұл катионның өзінің құрылысы ерекшеліктеріне байланысты екені көрінеді. Мыс карбонаттарының жасыл және көк түсті қанық бояуы осымен түсіндірілуі

ықтимал. Қалған карбонаттардың барлығы түссіз, немесе солғын реңдерге боялады. Оптикалық қасиеттерден карбонаттарға өте тән болатыны аса жоғары қосыну (*Ng-Np*), ол CO_3 анионының жазық пішініне байланысты.

Бұл класс минералдары арасында біз ең алдымен *сусыз және сулы* карбонаттарды ажыратуымыз керек. Олардың екеуінің арасында да изокұрылымдық химиялық қосылыстар типі бойынша тиісті топтарын бөлеміз. Жекелеген минерал түрлерінен тұратын қалған карбонаттарды катиондары бойынша топтаймыз.

СУСЫЗ КАРБОНАТТАР

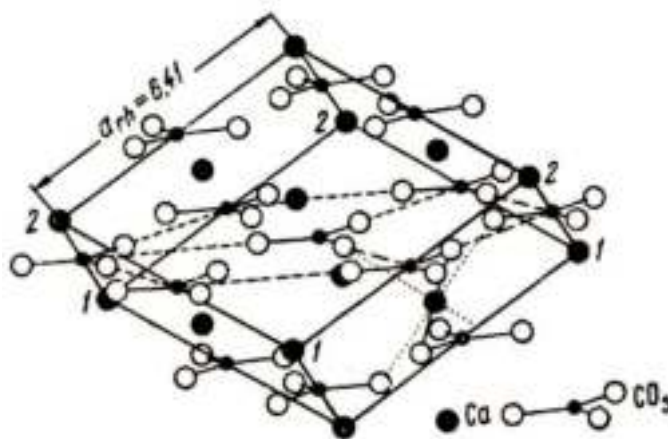
1. Кальцит әулеті

Әулетке екі валентті металдар карбонаты болып табылатын минерал түрлерінің көп саны кіреді. Олар мынадай морфотропты қатар жасайды (ион радиустарының артуы бойынша): Mg, Zn, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca, Sr, Pb және Ba. Радиусы Ca радиусына қарағанда кіші иондар тригондық сингонияда кристалданатын минералдардың кең изоморфты қатарын жасайтыны, ал Ca радиусынан үлкен иондар ромбылық сингониялы карбонаттар жасайтыны тән. Кальцийдің өзінің карбонаты диморфты болады, яғни бірінші де, екінші де сингонияда кристалдана алады.

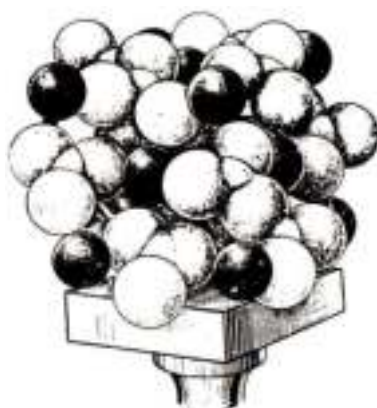
Карбонаттар:

тригондық сингониялы	Mg	Zn	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Ca			
	0,74	0,83	0,80	0,91	1,04			
ромбылық сингониялы					Ca	Sr	Pb	Ba
					1,04	1,20	1,26	1,38

Тригондық $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ модификациясының кристалдық құрылымы 208-және 209-суреттерде бейнеленген.



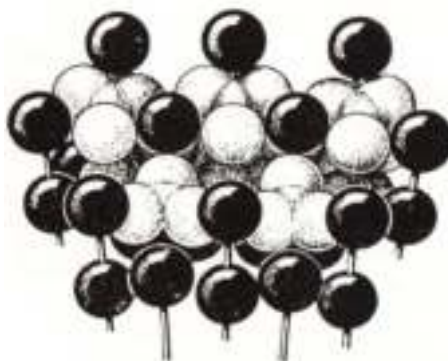
208-сурет. Жіктілік ромбоэдр {1011} ұяшығындағы иондардың орналасуы. Иондардың екі түрі де жақ центрленген құрылымдар ретінде орналасады



209-сурет. Кальцит кристалдық құрылымының моделі. Қара шариктер – кальцит катиондары; ақшыл үшбұрыштар – CO_3 аниондары

Егер NaCl кубтық құрылымын үштік осі бойымен жақтары аралығындағы бұрыштар $101^{\circ}55'$ -ке тең болатындай етіп қысатын болсақ, онда кальциттің ромбоэдрлік жақ центрленген құрылымы шығады (*209-суретте*), мұнда Ca иондары Na орнын алса, ал $[\text{CO}_3]$ топтары – Cl орнына жайласады. Осылайша, кальциттегі иондар жайласуы біршама бұрмаланған жайласуға сәйкес келеді, ол құрылымдық бірліктердің ең тығыз *кубтық* қаластырылуы тәсілі бойынша туындайды.

Ромбылық модификациялы $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ – арагонит кристалдық құрылымы кальцит құрылымынан $\text{Ca}^{2+}[\text{CO}_3]^{2-}$ иондары ең тығыз *гексагондық* қаластыру тәсілі бойынша жайласқандығымен ғана ажыратылады (*210-сурет*). Кристалдар үшемінде байқалатын жалған гексагондық симметрия осы жағдайға байланысты болады (бірлік кристалдардағы призма жақтары аралығындағы бұрыштар 60 және 120° -тан тек шамалы ғана айрықшаланады). Кальцит құрылымынан айырмашылығы, арагонит құрылымында әрбір $[\text{CO}_3]^{2-}$ ионы кальциттің тоғыз ионымен қоршалған. Меншікті салмақтарының айырмасы бойынша пайымдайтын болсақ, арагониттің кристалдық құрылымы кальциттің кристалдық құрылымына карағанда біршама тығыздау болады.



210-сурет. Арагонит кристалдық құрылымының моделі

Кальцит тобы минералдарының басқа өзіндік ерекшелігіне олардың изоморфты қоспалар мен қос тұздар жасауға бейімдігі жатады. Кальцит катарында, катиондар ионы радиустарының қатынасына сәйкес күтуге

болатындай, Mg^{2+} , Zn^{2+} және Fe^{2+} бір-бірін кеңінен алмастырады. Егер Са-ға келетін болсақ, онда бұл элемент оның иондық радиусының алдыңғы катиондар (Mn^{2+} ионын қоспағанда) радиусынан айтарлықтай өзгешеленуіне байланысты олармен тек қос тұздар ғана жасай алады. Кальций мен магний иондары (немесе басқа шағын иондар) кристалдық құрылымдарда үштік ось бойымен кезектесіп орналасады. Осыған байланысты кальцит қатарындағы қос тұздар симметриясы біршама төмендейді: дитригондық-скаленоэдрлік симметрия түрі ($L^3_63L^2_3PC$) орнына ромбоэдрлік (L^3_6C) болады, яғни көміртектің орталық ионы арқылы өтетін екілік остері және олармен байланысты оттегі иондары жоқ болып кетеді.

Бұл әулетте қарапайым және қосарланған тригондық (ромбоэдрлік) карбонаттар қарастырылады. Оларға кальцит пен доломит тобы, сондай-ақ қарапайым ромбылық карбонаттар (арагонит тобы) жатады. Мұнда паризит те шартты енгізілген, ол кальцийдің және қосымша F^{1-} анионы қатысатын сирек жерлер карбонаты болады және полисомалық құрылысқа ие.

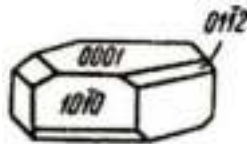
КАЛЬЦИТ – $Ca[CO_3]$. Синонимі: әкті шпат. Изоморфтық қоспалары бойынша түрлестері өте кең таралған. Түрлестерінен физикалық белгілері бойынша исландия шпаты туралы айта кету керек – кальциттің түссіз мөлдір түрлесі.

Химиялық құрамы: CaO – 56 %; CO_2 – 44 %. Қоспалары: Mg , Fe , Mn (8 %-ке дейін), біршама сиректеу Zn (2 %-ке дейін), Sr (стронциокальцит) және басқалар.

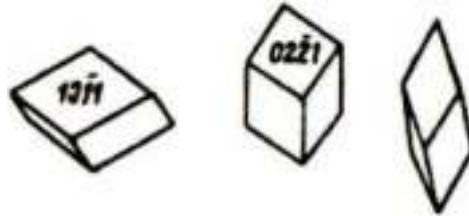
Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_6L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R\bar{3}c(D^6_{3d})$. $a_0=4,98$; $c_0=17,02$. **Кристалдық құрылымы** типикалық ретінде жоғарыда баяндалған. **Кристалдарының келбеті.** Олар тек қана қуыстарда кездесіп, сан қилы болуы мүмкін. Ең жиі кездесетіні скалеоэдр кристалдары (*211-сурет*), кейде тақталанған (*212-сурет*) немесе қалақша, призма, немесе бағана, ромб – көбінесе доғал емес, сүйір ромбоэдрлер (*213-сурет*). Кристалдарында анықталған қарапайым пішіндерінің саны жүздеген болады. Көбінесе призма $\{10\bar{1}0\}$, ромбоэдр $\{10\bar{1}1\}$ (жымдасқан ромбоэдр), $\{01\bar{1}2\}$, $\{02\bar{2}1\}$, $\{40\bar{4}1\}$, скаленоэдр $\{21\bar{3}1\}$, пинакоид $\{0001\}$ және басқа жақтары кездеседі. Әдетте қосақтық жазықтыққа жататыны, пинакоид жазықтығы (0001) (*214-сурет*) немесе доғал ромбоэдр жағы (01 $\bar{1}2$), сол бойынша көбінесе полисинтетикалық қосақтары мәрмәрде және мыжылған әктаста жаралады (мұндай қосақталуды жасанды жолмен пышақтың ұшы кальциттің жіктілігі бойынша бөліп алынған сынығы қырында алуға болады). Кейде мұндай жазықтыққа жымдасқан ромбоэдр жағы (10 $\bar{1}1$) жатады (*215-сурет*) және басқалар.



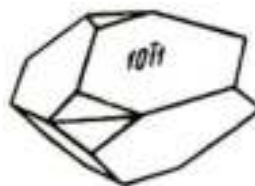
211-сурет. Кальциттің скаленоэдр кристалы



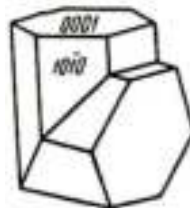
212-сурет. Кальциттің тақталанған кристалы



213-сурет. Кальциттің ромбоэдр кристалы



214-сурет. Кальциттің (0001) бойынша кристалы



215-сурет. Кальциттің (1001) бойынша кристалы

Агрегаттары. Кальцит кристалдарының друзасы басқа минералдармен бірге айтылып өткендей, қуыстарда байқалады. Мөлдір немесе шала мөлдір кальциттің ірі түйірлі агрегаттары біршама жиі кездесіп, жекелеген түйірлерінің жетік жіктілігімен көзге түседі. Кейде жібекше жылтырлы талшықты асбест кальцит (атлас шпат) байқалады, оның талшықтары таужыныстардағы жарықшақтар қабырғаларына перпендикуляр орналасады. Кальциттің тасқада (сталагмит) және тассүңгі (сталактит) түріндегі «ақпа» жаралымдары үңгірлерде әктас арасында кеңінен белгілі. Түйірлі тұтас агрегаттары үлкен тығыз массаларда *мәрмәр* деп аталады. Кальцит таужыныстардың жасырын кристалды тығыз түрлестері *әктас* деп аталады, олар көбінесе қабатталған және фаунаға бай болады. Құрамында өте ұсақ фораминифера жарғақтары бар қопсық әктас *бор* деген атпен белгілі. Сондай-ақ оолит әктас – «уылдырық тас» кездеседі. «Әкті туф» немесе травертин деп көмірқышқыл кальцийдің танаутас жаралымдарын атайды, олар салқын да, ыстық та әкке қаныққан минералды көздердің жер бетіне шыққан жерлерінде пайда болады (кальцит мұндай жағдайларда коллоидтардан тұнған CaCO_3 немесе арагонит кристалданған жағдайларда жаралады). Кейде көмірқышқыл әктің ыстық көздерден түзілуіне байланысты суреті бойынша керемет майда жолақты шала мөлдір тығыз түрлестері жаралады, олар «мәрмәр оникс»

деген атпен белгілі, кейде мұндай жаралымдар салқын процестермен де байланысты болады (карст).

Түсі. Көбінесе түссіз немесе сүттей ақ, бірақ кейде қоспалармен сан түрлі (әдетте ақшыл) сұр, сары, қызғылт, қызыл, қошқыл және қара түсті реңдерге боялады. **Жылтырлығы** шыныша. $Nm=1,658$; $Np=1,486$.

Қаттылығы 3. Морт. **Жіктілігі** $\{10\bar{1}1\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,6-2,8, ал химиялық таза кристалдары 2,72 (23⁰С температурада). **Басқа қасиеттері.** Сыққан кезде қосақталумен сүйемелденіп, электрленеді. Кейбір кенорындар үлгілерінде люминесценция құбылысы байқалады.

Диагноздаушы белгілері. Ірі кристалды түрлестерінде ромбоэдр бойынша жіктілігімен, біршама төмен қаттылығымен (пышақтың ұшымен немесе инемен оңай сызылады) және HCl тамшысынан бұрқылдап CO₂ бөлінуімен оңай танылады.

Сұйытылған тұз қышқылында тіпті салқынның өзінде ысылдап (CO₂ бөліп) оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Кальцит жер қыртысында ең көп таралған минералдар қатарына жатады, ол кейде тұтас массивтерді құрайды (эктас таулары). Бұл минерал сан қилы геологиялық процестер кезінде жаралады.

1. Эндогендік кальцит арасында карбонаттар кальциті назар аудартады. Карбонатит негізінен кальциттен тұратын таужыныс, құрамында форстерит, флогопит, пироксендер, кейде магнетит және сирек металдардың барлығы дерлік (бадделит, пироклор, перовскит және басқа) болады. Карбонатиттер сілтілі және ультранегізді таужыныстармен кеңістікте және генетикалық байланысты болып, орталық типті массивтер комплексін жасайды. Карбонатиттердің ең болмағанда бір бөлігі жаралуы бойынша магмалық болады, бірақ олар мүмкін метасоматоздық жаралымды болуы да ықтимал.

2. *Гидротермалық текті* кальциттің кристалдық жаралымдары кең таралған. Ол елеулі мөлшерде *жапсарлық-метасоматоздық* кенорындарда эктастың қайта түзілуі немесе кристалдануы жолымен жаралады. Пегматиттерде ол процестің гидротермалық сатысын сипаттайтын ең соңғы минералдардың бірі болады. Оған бір тәні, көптеген руда кенорындарында, негізінен сульфид, желілік кенорындарда кальцит әдетте ең соңғылардың бірі болып кристалданады.

Жаралымдардың осы санатына кристалл кальциттің эффузиялық магмалық таужыныстар арасындағы бадамшалар мен жеодаларда орналасады, ал арагонит пен кальцит кейбір минералды бұлақтардан «экті туф» түрінде түзіледі (олардан сыртқы қысымның күрт төмендеуі салдарынан CO₂ қарқынды бөлінеді).

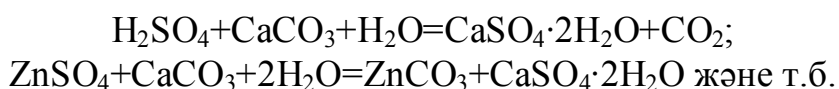
3. *Мору* процестерінде кальцит көп мөлшерде кездесе қоймағанымен, бірақ жаңажаралымдар түрінде руда кенорындары мен таужыныстардың тотығу белдемдеріндегі жарықшақтар мен қуыстарда біршама жиі байқалады. Мұндай жағдайларда оның жаралу көзіне мору қыртысында ыдырауға ұшырайтын эндогендік әкүстамды минералдар мен ауадағы көмірқышқылы жатады. Айта кету керегі, жалпы таужыныстардың мору

процесінде әктің аса елеулі массалары ерітіндіге бикарбонат түрінде өтіп, ол ағын сумен өте алысқа, егер жолында оны кристалл немесе коллоид $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ карбонаты түрінде мәжбүрлейтін жағдайлар кездеспесе, тіпті теңізге дейін кетеді.

Әкті гроттардағы (үңгірлердегі) тассүңгі (сталактит) жаралымдар көмірқышқыл әктің бос кеңістіктерге баяу сіңген қаныққан ерітінділерден тұну нәтижесі болады. Бұл ерітінділер төбеден тамшы түрінде ілінген кезде булану арқылы судан арылады, қатты қанығады және коллоид немесе майда дисперсиялы тұнбаларды ақпа массалар түрінде бөледі де ары қарай дегидратация (сусыздану) кезінде біртіндеп қатайды және кристалданады.

4. *Шөгінді* жолмен, әсіресе теңіз алаптарында $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ орасан зор массалары жаралады, алғашында әкті ұйық, өлген теңіз өсімдіктері мен әкті қаңқалы омыртқасыз жануарлары түрінде. Кейінірек осы заттардың барлығы әктасқа айналады. Оолит әктас суда қозғалатын жүзгін түйіршіктер мен газ көпіршіктері айналасына көмірқышқыл әк коллоид ерітінділерінің коагуляциясы жолымен жаралуы ықтимал. Теңіз алаптарында оолиттердің қазіргі жаралымы тропик және субтропик теңіздердің жағалау саязсулы зоналарында орналасқан. Бастапқыда бұл оолиттер арагониттен тұрады, кейінірек кальцитке айналады.

Кальцит қандай жолмен жаралмасын, ол мору қыртысында біршама нашар төзімді минерал болып табылады. Қышқылдарда оңай еритіндігіне байланысты ол элювий белдемінде, әсіресе рудалы сульфид кенорындардың тотығу белдемдерінде ерітіндіге өтеді. Алмаса ыдырау реакциялары кезінде кальциттің басқа минералдармен орын алмасуы (гипспен, доломитпен, смитсонитпен, малахитпен және басқалармен) жиі байқалады:



Әкке қаныққан грунт суы белдемінде әктастар бетінде темір гидроокиселдері, коллоидтық кремний-тотық коагуляттары түзілімдері жиі байқалып қана қоймайды, тіпті әктастардың өзі олармен алмасады.

Мөлдір кальциттің ірі кристалдары (исландия шпаты) Россияда эффузиялық таужыныстарда – траппта және мандельштейнде орналасқан *Төменгі Тунгуска* өзені бойындағы кенорындарда белгілі; мұнда ол пренитпен және целлиттермен бірге желілер және ұялар түрінде алып өлшемді монокристалл дарақтар жасайды. Мәселен, *Разлом* кенорнында жарты метрге дейінгі кристалдары, *Люку-Мункамба* кенорнында 2 м болатын кристалдары белгілі.

Исландия шпатының көптеген шағын кенорындары *Орта Азияда* Зеравшан-Гиссар, Пскем-Өгем және басқа аудандарда бар. Шетелдік кенорындар ішінде ең белгілілеріне *Исландияның* эффузиялық атқылама таужыныстардың арасындағы өте ірі кенорындары және басқалар жатады.

Бор таужыныс түрінде *Орыс платформасы* аумағындағы және Россияның басқа жерлеріндегі бор жүйесінің карбонат таужыныстары

катқабаттарында кең таралған. Ол үлкен ауқымда негізінен химия және цемент өнеркәсібі үшін *Белгород, Славянск, Краматорск* (Донбасс, Украина) және басқа жерлерде өндіріледі.

Әсем өрнектерімен айрықшаланатын мәрмәр қаптама тас ретінде Оралда *Уфалей, Златоуст* және басқа аудандарда, *Карелияда, Забайкальде* және басқа жерлерде өндіріледі. Сарғыш және жасылтым түсті оникс-мәрмәр кенорындары Закавказьеде Грузия мен Армения аумағында белгілі.

Шетелдік кенорындардан жоғары сапалы мәрмәрімен Генуя шығанағының шығыс жағасындағы *Каррара* кенорындары және Грекия кенорындары әйгілі, олар өз кезінде тамаша антикалық мүсіндер үшін материал болған.

Практикалық мәні. Кальцит, әсіресе таужыныстар түрінде, аса сан қилы.

1. Исландия шпаты өзінің жоғары қоссындырғыш қасиетіне байланысты әр түрлі оптикалық үйектеуші аспаптарда, негізінен микроскоп, поляриметр, колориметр және басқалар үшін николь даярлауға қолданылады. Бұл мақсатта түссіз, мінсіз, мөлдір, қосақталмаған кристалдары мен олардың сынықтары жарамды; олар жарықшақсыз әрі өлшемдері 1,5-2 см-ден кіші болмауы тиіс.

2. Асбест тәрізді атлас шпат және оникс-мәрмәр зергерлік бұйымдар және өнер заттары үшін пайдаланылады.

3. Эктастар өздерінің құрамына немесе физикалық-механикалық қасиеттеріне байланысты мына салаларда тұтынылады: а) химия өнеркәсібінде (таза эктастар) ауыл шаруашылығына қажет эктас алу үшін, кант, сода, жегіш натр, хлорлы әк және басқалар алу үшін, мұнда бір мезгілде өртеу кезінде сұйық немесе қатты көмірқышқылы алынады; б) металлургия өндірісінде (фосфор мен күкіртке жұтаң эктастар) домна пештерінде руда балқыту кезінде флюс ретінде; в) цементтің түрлі сорттарын даярлау үшін – сөндірілген әк, портланд-цемент, роман-цемент және басқалар; г) полиграфия өнеркәсібінде, мұнда литографиялық тастар деп аталатындар қолданылады, олар тығыз жасырын түйірлі эктас, омырылымы ұлуша, жұқа тақталарға жіктелуге қабілетті.

4. Мәрмәр жылтырланған түрде құрылыс материалы ретінде ғимараттардың ішкі қабырғаларын қаптау үшін, мүсін жасау жұмыстары үшін материал ретінде, сондай-ақ электротехникада (тарату қалқаны және басқа) пайдаланылады.

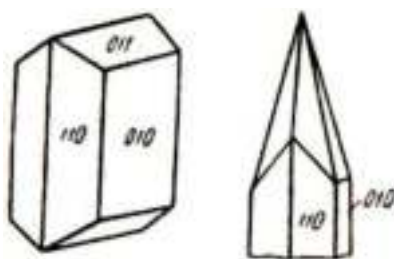
5. Бор жазатын, жылтырлаушы материал, цемент өндірісі үшін, лак-бояу, парфюмерия (тіс ұнтағы), резина (толтырушы) өндірісінде және басқа салаларда қолданылады.

АРАГОНИТ – $\text{Ca}[\text{CO}_3]$. Алғаш анықталған Арагония (Испания) мекені бойынша аталған.

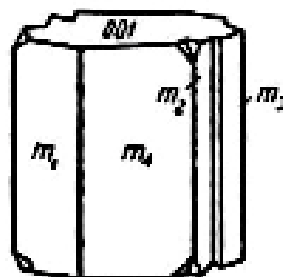
Химиялық құрамы кальциттікіндей: CaO – 56 %, CO_2 – 44 %. Көбінесе Sr (5,6 %-ке дейін), Mg, Fe және Zn болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $R\text{m}\overline{3}C(D_{2h}^{16})$. $a_0=4,94$; $b_0=7,94$; $c_0=5,72$. **Кристалдық**

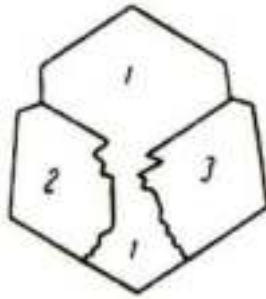
құрылымы (жоғарыда берілген). **Кристалдарының келбеті** призмалық, жиі жалған гексагондық, ине тәрізді. Кристалдары басының пішіні қашау тәрізді болады (216-сурет). Басты пішіндері: призма $\{110\}$, пинакоидтар $\{010\}$ және $\{001\}$. Соңғысы a осіне параллель айғыштармен көмкерілген болады. Көбінесе мынадай пішіндері кездеседі: призма $\{011\}$, қашау сияқты үшкірленген кристалдары, дипирамида $\{111\}$, кейбір жағдайларда үшкір дипирамиданың призмалармен комбинациясы, осының салдарынан кристалдары найза тәрізді пішін қабылдайды (216-суретте). Қосақтары жиі (110) бойынша байқалады. Сондай-ақ жалған гексагондық келбеті үшемдері (217- және 218-суреттер), төртемдері және күрделі полисинтетикалық қосақтары да таралған. Мұнда әдетте призмалар жақтары аралығына кіретін астаушалар түріндегі бұрыштар жаралады. Қосақталмаған кристалдары өте сирек. **Агрегаттары** көбінесе дарақтарының сырықша, радиал-сәуле және жұлдызша кірікпелерінен тұрады. Сондай-ақ кристалл қабыршақтар, ақпа, шар тәрізді пішінді және оолит құрылысты массалар («бұршақ тас» және «уылдырық тас») түрінде байқалады. Кейде үңгір жаралымдарында тоқылған және тармақталған «сабақтар» түрінде кездесетін қардай ақ түсті жаралымдары өте айрықша болады (219-сурет). Ақырында, моллюскілердің көпшілігінің ішкі інжуше бөліктері жарғақ бетіне параллель өте жұқа арагонит қабыршақтарынан тұрғызылған. Белгілі болғандай, жарғақ ішіне түсетін түйіршіктер немесе басқа бөгде денелер көмірқышқыл әкке ұқсас құрамында органикалық заттың қоспасы бар қабаттармен көмкеріледі де осының нәтижесінде інжу жалбырлары жаралады.



216-сурет. Арагониттің призма және ине кристалдары



217-сурет. Арагонит. Кірігу үшемі (110) бойынша



218-сурет. Дарақтар кірігуі шегарасының көлденең қимасы

Түсі. Арагонит ақ, сарғыш-ақ, кейде ашық-жасыл, күлгін және сұр түсті. Жекелеген кристалдары көбінесе мөлдір және түссіз. **Жылтырлығы** шыныша, омырылымында майлы. Катод сәулесінде шамалы солғын-күлгін, кейде жирен түсті сәуле шығарады. $N_g=1,686$; $N_m=1,681$ және $N_p=1,530$.



219-сурет. Арагонит геликтиттері кедергіні (кальцит тассүңгілерін) айналып өтеді. «Жасыл» үңгірі, Хайдаркан (Қырғызстан). В. Слетовтың суреті

Қаттылығы 3,5-4. Морт. **Жіктілігі** айқын $\{010\}$ бойынша және $\{110\}$ мен $\{011\}$ бойынша мардымсыз байқалады. **Омырылымы** көбінесе ұлуша. **Мен. салмағы** 2,9-3 (кальциттен жоғарылау, бұл оның атомдары тығыздау жайласатынын куәландырады). **Басқа қасиеттері.** Кәдімгі температурада төзімсіз; еріткіш болған кезде баяу кальцитке өтеді, осы себепті көнелеу таужыныстарда кездеспейді. Температура 400°C -қа дейін көтерілгенде бұл өте жылдам жүреді. Бір қызығы, полиморфтық кальцитке айналуға ұшырамаған арагонит түрлестері құрамында стронцийдің ірілеу иондары болады (бірнеше процентке дейін) бұл, Р.Ж. Гаюи мен Н.В. Беловтың пікірінше, осы модификацияның орнықтылығына тұрақтандырушы ықпал жасайтыны көрінеді. Суда кальцитке қарағанда ерігіштігі жоғарылау.

Диагноздаушы белгілері. Түсі және HCl ерітіндісімен әрекеті бойынша кальцитке өте ұқсас, бірақ одан ромбоэдр бойынша жіктілігінің болмауымен және кристалдарының пішінімен, кейде өзіне тән призма жақтарында астаушалар болуымен және жоғарылау қаттылығымен ажыратылады. Оған ұқсас цеолиттер (Na, Ca және басқалардың сулы силикаты) тұз қышқылында CO_2 бөлмейді. Витерит пен стронцианиттің меншікті салмағы жоғары.

Қышқылдарда көмірқышқылды қарқынды бөліп ериді. Арагониттің ұнтағы (стронцианит пен витерит сияқты) азотқышқыл кобальт ерітіндісінде қайнатқан кезде күлгінге айналады (Мейген реакциясы), ал кальцит ұнтағы

болса өзгере қоймайды немесе көкшіл мен жасылтым түске боялады, оның өзі ұзақ қайнатқан кезде ғана болуы мүмкін.

Жаралуы және кенорындары. Арагонит табиғатта кальцитке карағанда әлдеқайда сирек таралған. Ол ең төмен температуралық минералдардың бірі ретінде сөне бастаған *гидротермалық* процестер кезінде біршама жиі жаралады. Мысалы, оның серпентинденген ультранегізді таужыныстар арасындағы жарықшақтарда жер беті процестерімен ешқандай байланыссыз табылымдары осындай. Осындай жаралымдарға бүлінуге ұшырамаған базальттар, кейде мәрмәр, жанартау лавасы, $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ -ге қоса қаныққан ыстық минералды көздердің әкті туф немесе оолиттер түріндегі түзілімдер арасындағы қуыстардағы ұсақ ине тәрізді арагонит кристалшаларының табылымдары да осындай жаралымдарға жатады (Чехиядағы *Карловова* көздері «бұршақ тасы» және басқалар).

Бірақ арагониттің негізгі массасы түрлі экзогендік процестерде жаралады, көбінесе оларда еріген магнийлі тұздар қатысқан кезде. Ол радиал-сәуле жаралымдар және ақпа пішіндер түрінде, көбінесе ірі өлшемді болып ультранегізді магнийлі магмалық таужыныстардың мору қыртысында доломитпен, гипспен, сазды затпен және экзогендік жаралымды басқа минералдармен бірлестікте кең таралған. Қошқыл теміртас арасындағы қуыстарда өсіп шыққан ұсақ кристалшалар түрінде және «темір гүлдер» түрінде байқалады, мысалы *Бакал* кенорында (Оңтүстік Орал), гипсті қатқабаттарда, сомтума күкірт кенорындарында және басқа жерлерде.

МАГНЕЗИТ – $\text{Mg}[\text{CO}_3]$. Магнезия – Фессалиядағы өңір (Грекия). Минерал өте көне замандардан бері белгілі. Синонимі: магнийлі шпат.

Химиялық құрамы: MgO – 47,6 %; CO_2 – 52,4 %. Изоморфтық қоспалардан ең жиі анықталатындар: Fe, кейде Mn, Ca.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік L^3_6ZPC . Кеңістіктік тобы дәл кальцит сияқты. $a_0=4,584$, $c_0=14,92$. **Кристалдық құрылымы** кальциттегідей. **Кристалдарының келбеті** әдетте ромбоэдрлік. Ірі түйірлі агрегаттар түрінде жиі таралған (*220-сурет*). Мору кенорындарына фарфор тәрізді жасырын кристалды массалары төтенше тән, олар көбінесе пішіні бойынша түсті қапустаны еске салады.



220-сурет. Магнезиттің мәрмәр сияқты түйірлі агрегаты. Саткин кенорны (Оңтүстік Орал)

Түсі. Магнезит ақ сарғыш немесе сұрғылт реңді, кейде қардай ақ. **Жылтырлығы** шыныша, жасырын кристалды агрегаттарда – балауызша. $Nm=1,700$ және $Np=1,509$.

Қаттылығы 4-4,5. Морт. **Жіктілігі** ромбоэдр $\{1011\}$ бойынша жетік. Тығыз фарфор тәрізді түрлестеріне ұлуша омырылым тән, беті күңгірт болады. **Мен. салмағы** 2,9-3,1.

Диагноздаушы белгілері. Кристалл түрлестерінде кальцит қатарындағы барлық карбонаттар сияқты, басқа минералдардан ромбоэдрлік жіктілігі бойынша ажыратылады. Қатар ішінде оны доломиттен, анкериттен және басқа карбонаттардан ажырату қиындау болады; оптикалық және химиялық зерттеулерге жүгінуге тура келеді.

Қышқылдарда тек қыздырғанда ғана ериді. HCl тамшысы салқын күйде қайнамайды. Ыстық қышқылдарда ериді.

Жаралуы және кенорындары. Магнезит кальцитпен салыстырғанда табиғатта әлдеқайда сирек таралған, бірақ кейде үлкен тұтас массаларда кездесіп, өнеркісіптік қызығушылыққа ие болады.

Мұндай шоғырлардың бір бөлігі *гидротермалық* жолмен жаралады. Мұнда ең алдымен кристалды-түйірлі магнезит массаларының аса ірі кенорындарын жатқызу керек, олар кеңістікте доломитпен және доломиттенген әктаспен байланысты. Геологиялық зерделеулер көрсеткендей, бұл жатындар метасоматоздық жолмен жаралады (жатындар арасында кейде әктастық фауна жұрнақтарын анықтауға болады). Пайымдауларша, магнезия шөгінді жаралымды доломиттенген қатқабаттардан шайылып шығып, магнезит түрінде ыстық сілтілі ерітінділерден жаралған. Магнезитпен парагенезисте кейде нағыз гидротермалық минералдар кездеседі.

Жасырын кристалды («аморфты») магнезит шоғырлары сондай-ақ ультранегізді таужыныс массивтерінің *мору* процестерінде де жаралады, әсіресе қарқынды мору кезінде қирау өнімдерінің қалың қыртысы жаралады. Тотығу және гидролиз процестерінде магнийлі силикаттар жер беті суы мен ауа көмірқышқылы ықпалынан толық қирауға ұшырайды. Мұндайда пайда болатын темірдің қиын еритін гидроокиселдері жер беті маңында шоғырланады. Бикарбонат түріндегі магний, сондай-ақ босап шығатын кремнийтотық (золь түрінде) мору қыртысының төменгі горизонттарына түседі. Опалға және доломитке жиі байыған магнезит, желішіктер мен ақпа пішіндер шоғырлары түрінде, күшті шаймаланған жарықшақты кеуек серпентинитте грунт суының тоқыраған белдемінде түзіледі.

Ақыр соңында, негізінен тек минералогиялық мәні бар магнезиттің гидромагнезитті ($5MgO \cdot 4CO_2 \cdot 5H_2O$) табылымдары шөгінді тұзды түзілімдерде байқалады. Магний карбонаттарының жаралуын магний сульфатының $Na_2[CO_3]$ -пен алмасу ыдырауы реакциясымен байланыстырады.

Гидротермалық жаралымды кристалл магнезиттің белгілі *Саткин* кенорны Оңтүстік Оралдың батыс беткейінде орналасқан (Златоуст қаласынан оңтүстік-батысқа қарай 50 км). Сондай-ақ Ангара-Илим

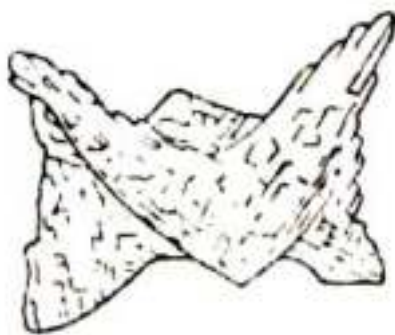
ауданындағы *Савинское* кенорнын да көрсетеміз. Мұнда ірі магнезит жатындары метасоматоздық жолмен прекембрийдің доломитті шөгінді қатқабаты арасында жаралған. Осындай кенорындар Қиыр Шығыста, Кореяда, Қытайда, Чехияда, Австралияда (Венаның оңтүстігінде, Альпідегі *Вейтл*) және басқа жерлерде белгілі.

Ультранегізді таужыныстардың көне мору қыртысында жаралған кенорындарға *Халилов* жатады (Оңтүстік Орал).

Практикалық мәні. Metallургияда «өлгенше» өртелген кристалл магнезит 3000°C -қа дейінгі температураға шыдайтын оттөзімді кірпіштер даярлауға қолданылады. Олар мартен пештерінің, конветорлардың, цемент пештері подының төменгі бөліктерін қаластыруға кетеді. Күйдірілген магнезитті қолданудың екінші саласына Сорель цементі деп аталатынды даярлау жатады, ол түрпі өнеркәсібінде (қайрақ дөңгелектер) және құрылыста пайдаланылады (кұм, ағаш ұнтағы, диатомит, тальк және басқа толтырғыштармен бірге қоспада төзімді сылақ болып табылады). Сондай-ақ электроқшаулауыш, қағаз, қант, резина және басқалар өндірісінде тұтынылады.

ДОЛОМИТ – $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$. **Химиялық құрамы**, %: CaO – 20,4; MgO – 21,7; CO_2 – 47,9. CaO мен MgO мөлшері шамалы ауқымда жиі ауытқиды. Mg-ге қосымша изоморфтық қоспалары: Fe^{2+} басым болған кезде доломит тобының басқа түріне – *анкеритке* әкеледі, кейде Mn^{2+} (бірнеше проценттен басымға дейін, *кутногоритте*), сирек Zn, Ni және Co (Чехиядағы *Пршибрам* қызыл доломитінде $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ 7,5 %-ке жеткен). Доломит кристалдарында битум және басқа бөтен заттар кірінділері болған жағдайлар (белгілі).

Сингониясы тригондық; симметрия түрі ромбоэдрлік L^3_6C . Кеңістіктік тобы $R3(C^2_{3i})$. $a_0=4,822$; $c_0=16,11$ (Ca:Mg=1:1,1 қатынасында). **Кристалдық құрылымы** Ca және Mg иондары алма-кезек үштік осі бойымен кезектесетіндігімен айрықшалаанады. **Кристалдарының келбеті.** Жиі кездесетін кристалдары ромбоэдрлік келбетке ие. Кальцитке керісінше кең таралымға $\{1011\}$ ромбоэдрі ие болады, мұнда ер тәрізді иілген жақтары (*221-сурет*) және жіктілік беттері қисайған сферокристалдары жиі кездеседі. Кірігу және $(02\bar{2}1)$ бойынша полисинтетикалық қосақтары кездеседі. **Агрегаттары** әдетте кристалды-түйірлі, көбінесе кеуек, кейде бүйрек тәрізді, ұяшықты, шар тәрізді және басқа.



221-сурет. Жақтары ер сияқты иілген доломит кристалы

Түсі. Доломит сұрғылт ақ, кейде сарғыш, қошқыл, жасылтым реңді. **Жылтырлығы** шыныша. $Nm=1,681-1,695$ және $Np=1,500-1,513$. Катод сәулесінде ашық жирен-қызыл түсті жарыққа боялады.

Қаттылығы 3,5-4. Морт. **Жіктілігі** ромбоэдр $\{1011\}$ бойынша жетік. Жіктілік жазықтықтары көпшілігінде қисайған. **Мен. салмағы** 1,8–2,9.

Диагноздаушы белгілері. Кальцит қатарындағы басқа да карбонаттар сияқты, доломит ромбоэдр бойынша жіктілігімен сипатталады. Доломит кристалдары көпшілік жағдайда ромбоэдрлік келбетке де ие. Жекелеген түйірлерде химиялық талдау деректерінсіз және оптикалық константаларын өлшемей анкериттен, кейде сидериттен ажырату мүмкін емес. Оған аса тәні, доломиттің кальциттен айырмашылығы полисинтетикалық қосақталуды $(01\bar{1}2)$ бойынша емес, $(02\bar{2}1)$ бойынша байқалады. Мөлдір шлифтерде қосақталудың бұл бағыты жіктілік жарықшақтарымен жаралатын ромбтардың қысқа диагоналі бойынша анықталады.

Тұз қышқылы суықта доломитті өте баяу, дыбыссыз ыдыратады.

Жаралуы және кенорындары. Доломит кальцитпен қатар кең таралған таужыныс жасаушы минерал болып табылады.

Нағыз желілік *гидротермалық* кенорындарда ол кальцитке қарағанда әлдеқайда сирек кездеседі. Доломиттенген әктастар гидротермалық ерітінділермен әрекеттесуге ұшырағанда, доломиттің ірі кристалды массалары көбінесе магнетитпен, кальцитпен, сульфидтермен, кварцпен және басқа минералдармен бірлестікте жаралады.

Доломиттің басты массасы болса барлық геологиялық дәуірлердің *шөгінді* карбонат қатқабаттарымен, бірақ көбінесе прекембрий және палеозой жасындағылармен байланысты. Доломит бұл қатқабаттарда көбінесе тұтас массивтерді құрайды немесе әктастармен қабаттасады, кейде бұрыс пішінді жатындар, ұялар және т.б. түрінде байқалады.

Оның жаралуының детальдары туралы мәселе үлкен дау туындатады. Қазіргі кезде теңіз алаптары жағдайында доломит түзілмейді, бірақ геологиялық өткен замандарда бірқатар жағдайларда ол бастапқы тұнба ретінде тұзды су алаптарында жаралған. Бұған оның шөгінді гипспен, ангидритпен және сілтілердің жақсы еритін тұздарымен бірлестігі куә болады. Басқа жағдайларда бұрынырақ түзілген көмірқышқыл кальций тұнбаларының доломиттенуі орын алғаны даусыз: жарғақтардың, маржандардың және басқа әктілі органикалық қалдықтардың доломитпен алмасу фактілері байқалады.

Мору белдемдерінде доломит баяу еріп барып ыдырайды да қопсық майда түйірлі массаға айналады.

Доломит кенорындары Оралдың батыс және шығыс беткейлері бойында, Донбаста, Волганың жағалауларында және басқа жерлерде кең таралған. Доломиттің басты массасы прекембрий және пермь жасындағы карбонат қатқабаттарында орналасқан. Доломитжаралудың Балқаш көліндегі (Қазақстан) қазіргі процестері үлкен қызығушылыққа ие, оны Н.М. Страхов түбегейлі зерделеген.

Практикалық мәні. Доломит әр түрлі мақсаттарда кеңінен пайдаланылады: 1) құрылыс тасы ретінде; 2) байланыстырушы заттар даярлау үшін, асбестпен және басқалармен қоспасында термооқшаулауыш материал және басқа; 3) металлургияда оттөзімді материал және флюс ретінде; 4) өнеркәсіптің химиялық және бірқатар басқа салаларында.

АНКЕРИТ – $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})[\text{CO}_3]_2$ – кең таралған минерал ретінде жеке сипатталады. Fe мен Mg аралығындағы қатынас кең ауқымда өзгереді, сондықтан іс жүзінде магнийдің екінші катиондық позицияда толық қалуы да мүмкін. Құрамында бірнеше процентке дейін Mn болады. Темірге жұтаң түрлесі қошқыл шпат деп аталған.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі ромбоэдрлік. Ромбоэдрлік келбетті жасымық сияқты кристалдар түрінде, сондай-ақ тұтас түйірлі массаларда, әдетте гидротермалық сульфид және сидерит кенорындарындағы кварцта және гидротермалық өзгерген магнийлі-темірлі таужыныстар арасында кездеседі.

Түсі. Анкерит ақ, сұр, көбінесе әр түрлі реңді. **Жылтырлығы** шыныша. $\text{Fe}:\text{Mg}=3:1$ қатынастағы түрлесі үшін (FeO, және MnO қосылғанда – 25 %, MgO – 4,8 %): $Nm=1,741$; $Np=1,536$.

Қаттылығы 3,5. Мен. салмағы 2,9-3,1. Жіктілігі ромбоэдр бойынша.

Диагноздаушы белгілері. Қышқылдарда өзін доломит сияқты ұстайды. Суықта 1 %-тік $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ерітіндісімен суланған, HCl қышқылының бірнеше тамшысымен қышқылдандырылған анкерит турнбулалық көктің ашық-көк үлдірін береді (сидериттен айырмашылығы).

Кенорындары. Үлкен массаларда сирек кездеседі. Серік ретінде ол, мысалы *Бакал* кенорнының сидерит рудаларында, Алтайдың бірқатар полиметалл кенорындарында, *Нагольный бұйратының* қорғасын-мырыш кенорындарында және басқа жерлерде байқалады. Әдетте сульфидтерден оқшаулана бөлінеді.

СИДЕРИТ – $\text{Fe}[\text{CO}_3]$. Грекше *сидерос* – темір дегеннен. Синонимі: темір шпаты.

Химиялық құрамы, %: FeO – 62,1; (Fe – 48,3) CO_2 – 37,9. Изоморфтық қоспалардан көбінесе Mg және Mn болады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_6L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R3c(D^6_{3d})$. $a_0=4,71$; $c_0=15,43$. **Кристалдық құрылымы** кальцит құрылымына ұқсас. Кездесетін кристалдары көбінесе ромбоэдрлік келбетке ие, мұнда ромбоэдрдің {1011} жақтары көбінесе қисайған, кейде доломиттегі сияқты беті қабыршақ тәрізді болып келеді, сондай-ақ ер тәрізді иілімдері бар. **Агрегаттары** әдетте кристалды-түйірлі: жасырын кристалды немесе радиал-сәулелі құрылысты шар тәрізді конкрецияларда (сферосидерит) да байқалады. Сидериттің жер тәрізді массалары, оолит және басқа пішінді табылымдары сипатталған.

Түсі. Сидерит бүлінбеген күйде сарғыш ақ, сұрғылт, кейде қошқыл реңді болады. Морыған кезде қарқынды қошқылданады. **Жылтырлығы** шыныша күшті, жіктілік жазықтықтарында алмасшаға дейін. $Nm=1,875$ және $Np=1,633$. Катод сәулесінде ашық жирен-қызыл түске боялады.

Қаттылығы 3,5-4,5. Морт. **Жіктілігі** {1011} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 3,9.

Диагноздаушы белгілері. Кальцит тобындағы карбонаттардың барлығындағыдай, кристалл сидеритке де ромбоэдр бойынша жетік жіктілік тән. Жақтарында алмасша жылтырлық, өзіндік қоңырқайлау немесе зәйтүндей рең және мұрыған үлгілерінің бетінде темір белгілері болады. Анкеритке ұқсайды, бірақ одан химиялық талдау деректері және қыздыру қисығы бойынша сенімді ажыратылады.

Бурамен және фосфор тұзымен темірге әрекет етеді, ал содамен – марганецке (егер ол болса). Салқын HCl шамалы әсер етеді, бірақ қыздырған кезде әсері өте қарқынды болады. Оның сидерит кесегіндегі тамшысы FeCl₂ жаралуы салдарынан, біртіндеп жасылтым-сары түске боялады. Қызыл қан тұзының – K₃Fe(CN)₆ 1% ерітіндісімен сулаған, HCl бірнеше тамшысымен қышқылдандырылған сидерит түйірінің немесе кесегінің бетінде турнбула көгінің күңгірт-көк жарғағын береді (анкеритте мұндай реакцияда ашық-көк жарғақ жаралады).

Жаралуы және кенорындары. Сидерит темір закисінің карбонаты ретінде жалпы тотықсыздандырушы жағдайларда ғана жарала алады. Ол кенорындардың сан түрлі генетикалық типтерінде кездеседі.

1. *Гидротермалық* кенорындарда ол біршама төмен температурада жаралады. Ол ілеспе ретінде көбінесе қорғасын-мырыш және мыс сульфид рудаларының желілік кенорындарында пирротинмен, халькопиритпен, темірлі хлориттермен, анкеритпен және басқа минералдармен бірлестікте байқалады. Дербес сидерит желілері де кездеседі, ал әктастарда – бұрыс пішінді метасоматоздық желілері болады. Оларда сирек сульфидтермен қатар, кейде магнетит пен гематит байқалады.

Бұл жағынан *Бакал* кенорны кең танымал, мұнда кристалды-түйірлі сидерит гидротермалық жолмен доломиттенген әктаста жаралғандығы көрінеді. Осындай кенорындар *Штирияда* (Альпі) және *Бискай* шығанағы жағалауында (Испания) таралған. Желілік сидерит кенорындары *Зиген* маңында (Германия) және басқа жерлерде белгілі.

2. Лагуналарда немесе теңіз алаптары шығанақтарында пайда болған нағыз *шөгінді* кенорындары белгілі. Олардың жаралуы тотықсыздандырушы жағдайлармен байланысты екендігі көрінеді. Мұндай жағдай теңіз жағалау белдемдерінің тереңдеу сулық бөлікшелерінде оттектің жеткіліксіз жағдайында басым болады. Мүмкін органикалық қалдықтардың көмір қышқылын және белокты заттар есебінен күкіртсутек жасап ыдырауына да байланысты болуы. Шөгінді сидерит рудалары кейде нағыз оолит бітімді болады. Сидерит *Михайлов* темірлі кварцит кенорнының мору қыртысында таралған.

Өте ірі *Керчь* шөгінді темір кенорны рудаларының бір бөлігі сидериттен тұрады. Мүмкін, қошқыл теміртастар осы рудалардың біршама тотығуы нәтижесінде жаралуы. Шетел кенорындарынан тығыз сазды сферосидериттің біршама ірі жатындарын айтамыз, олар көмірлі заттармен

күңгірт түске боялған *Шотландия* мен *Оңтүстік Уэльс* (Англия) таскөмір түзілімдері арасында орналасқан.

Кенорындардың тотығу белдемдері жағдайларында сидерит төзімсіз. Сидерит жатындары орнында «темір телпектер» оңай жаралады, олар лимониттен, гетиттен, кейде гидрогоematиттен тұратын қопсық түрде де, кейде жер сияқты массаларда, қатты жеодалар формасында, көбінесе бос денелер сияқты жаралымдар түрінде де болады.

Практикалық мәні. Сидерит шоғырлары ірі массалар жасаған жағдайларда және құрамында зиянды қоспалар (фосфорит, күкірт және басқа) аз болғанда, олар темірдің өнеркәсіптік кенорны бола алады. Балқыту алдында сидерит рудасы алдымен күйдіріледі.

РОДОХРОЗИТ – $Mn[CO_3]$. Грекше *родон* – роза (раушан), *хрос* – түс дегеннен. Атауы минералдың түсін көрсетеді. Синонимі: марганецті шпат.

Химиялық құрамы, %: MnO – 61,7; (Mn – 47,8); CO_2 – 38,3. Изоморфты қоспалардан көбінесе Fe , Mg , Ca , кейде Zn және Co анықталады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригон-скаленоэдрлік $L^3_6L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R3c(D^6_{3d})$. $a_0=4,73$; $c_0=15,51$. **Кристалдық құрылымы** кальцит құрылымына ұқсас. Жақсы жаралған кристалдар түрінде сирек байқалады және тек қуыстарда ғана. Әдеттегі пішіндері: $\{10\bar{1}1\}$ және $\{01\bar{1}2\}$, кейде $\{0001\}$ және $\{11\bar{2}0\}$. Жақтары жиі ер тәрізді немесе жасымық тәрізді иілген. **Агрегаттары** әдетте кристалл-түйірлі, бүйрек тәрізді және шар тәрізді радиал-сәуле немесе сферолит құрылысты. Сырықша агрегаттарда және жер сияқты массаларда кездеседі.

Түсі. Кристалдары қызғылт немесе таңқурай түсті. Кальций мөлшері артқан сайын түсі солғындай береді. Майда түйірлі және жер сияқты массалары ақ болады, шамалы ғана байқалатын қызғылт реңді. Сызық түсі ақ. **Жылтырлығы** шыныша. $Nm=1,817$ және $Np=1,597$.

Қаттылығы 3,5–4,5. Морт. **Жіктілігі** ромбоэдр $\{1011\}$ бойынша. **Мен. салмағы** 3,6-3,7.

Диагноздаушы белгілері. Кристалл массаларда ромбоэдрлік жіктілігі, қызғылт түсі және қаттылығы (пышақтың ұшымен созылады) бойынша оңай танылады. Ақ түсті жасырын кристалды және жер сияқты агрегаттары сенімді анықтау үшін химиялық талдау деректерін немесе спектрлік талдауды қажет етеді.

Бура және фосфор тұздарымен марганецке реакция береді (тотықтырушы жалында – күлгін, ал тотықсыздандырушыда – түссіз перл.). HCl қышқылында салқында баяу ериді, бірақ қыздырған кезде өте қарқынды еріп, көмірқышқыл газы бұрқылдап бөлінеді.

Жаралуы және кенорындары. Темірлі-марганецті карбонаттардың құрамы бойынша пайымдасақ, $Mn[CO_3]$ пен $Fe[CO_3]$ изоморфтық қоспалардың үзіліссіз қатарын береді. Жер қыртысындағы марганец кларкі темір кларкіне қарағанда шамамен 50 есе аз. Бірақ та родохрозит табиғатта дербес кездеседі.

Родохрозит марганецтің сирек кездесетін *гидротермалық* желілік немесе метасоматоздық кенорындарында марганец закисінің сульфидтерімен

және силикаттарымен бірлестікте пайда болады да брауниттен, гаусманиттен, кварцтан, бариттен және басқалардан кейін кристалданады. Гидротермалық жаралымды родохрозит пиритпен, хлориттермен және басқа минералдармен бірлестікте *Сана* кенорнында мәрмәрленген әктастар арасында Нижний Тагил маңында байқалған. Родохрозит кейбір вольфрам кенорындарында кейде кварц желілерімен генетикалық байланысқан құрамында гюбнерит ($MnWO_4$) және басқа минералдар бар желілер түрінде кездеседі (Забайкальедегі *Букука*).

Родохрозит әлдеқайда елеулі массаларда марганецтің теңіз шөгінді кенорындарында таралған. Геологиялық зерделеулер көрсеткендей, опал-родохрозит шөгінділері жаға сызығынан біршама алыста алаптың тереңдеу бөлікшелерінде шоғырланған; мұнда оттек жеткіліксіз болғандықтан органикалық қалдықтар ыдыраған кезде тотықсыздану жағдайы қалыптасатыны көрінеді. Родохрозит құрамында мұндай кенорындарда әдетте изоморфтық қоспалар түрінде Са, Fe және Mg әрі темір сульфидтерімен, манганкальцитпен, опалмен және басқалармен бірлеседі. Әдетте, марганецтің шөгінді карбонат рудалары фосформен де байыған.

Родохрозитұстамды рудалар елеулі массаларда шөгінді кенорындарда белгілі: *Чиатура* (Закавказье); *Полуночное* (Солтүстік Орал) және басқа.

Тамаша ашық-қызыл ірі өлшемді кристалдары Колорадо үстіртіндегі (АҚШ) *Алма* кенбілінімінен келеді.

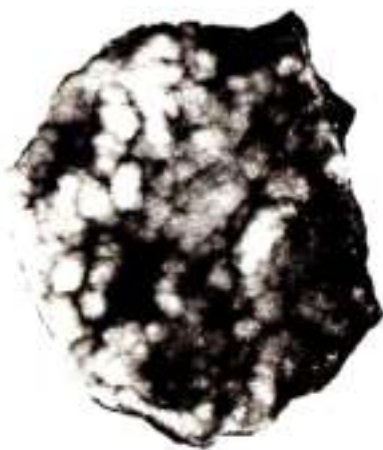
Практикалық мәні. Фосфорға жұтаң гидротермалық родохрозит рудалары ферромарганец қорыту үшін құнды шикізат болып табылады. Шөгінді карбонат рудалары темір рудаларынан шойын балқытқан кезде шихталау үшін, сондай-ақ химиялық мақсаттарда пайдаланылуы мүмкін.

СМИТСОНИТ – $Zn[CO_3]$. Синонимі: мырыш шпаты.

Химиялық құрамы, %: ZnO – 64,8; (Zn – 52); CO_2 – 35,2. Изоморфтық қоспалар түрінде Fe, Mn, Mg кейде Са, өте сирек Cd, In және басқалар болады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригон-скаленоэдрлік $L^3_6L^2_3PC$. Кеңістіктік тобы $R3c(D^6_{3d})$. $a_0=4,65$ $c_0=14,95$. **Кристалдық құрылымы** кальциттікіндей (жоғарыда келтірілген). Сирек кездесетін кристалдары ромбоэдрлік те, скаленоэдрлік те келбетке ие. Ромбоэдрлерінің ең жиі кездесетін пішіндері $\{10\bar{1}1\}$ және $\{40\bar{1}1\}$, скаленоэдрдің $\{21\bar{3}1\}$, кейде пинакоидтың $\{0001\}$, ромбоэдрлердің $\{01\bar{1}2\}$, $\{02\bar{2}1\}$ және призманың $\{11\bar{2}0\}$. Жақтары көбінесе майысқан және кедрлі. **Агрегаттары.** Әдетте жер сияқты немесе тығыз жасырын кристалды агрегаттарда, көбінесе сферолит пішіндерде (*222-сурет*) немесе қабыршақ, сондай-ақ қабық тәрізді, ұяшықты және кеуек массаларда байқалады.

Түсі. Смитсонит ақ, жасылтым, қошқылдау немесе сұрғылт реңді. Жасыл түске қарқынды боялған түрлестері құрамында қоспа түрінде малахит болады. Қошқыл түрлестері темір гидроокиселдеріне боялған. **Жылтырлығы** шыныша күшті. $Nm=1,849$ және $Nn=1,621$. Катод сәулелерінде шамалы қызғылт түске боялады.



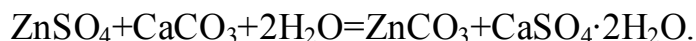
222-сурет. Смитсониттің сферолит қабыршағы

Қаттылығы 5 (кальцит тобындағы минералдарда ең жоғары). Морт. **Жіктілігі** ромбоэдр бойынша тек айқын кристалды агрегаттарында ғана байқалады. **Мен. салмағы** 4,1–4,5.

Диагноздаушы белгілері. Қабыршақтарда және жасырын кристалды массаларда оны өзімен парагенезисте кездесетін бірқатар минералдардан: опалдан, мырыш силикаттарынан (гемиморфит, виллемит) және басқалардан ажырату әрдайым оңай бола бермейді. Өзінің ашық бояуына қарай ол әктастар арасында бірден көзге түсе қоймайды. Оны зерттеуде әрдайым химиялық реакцияларға жүгінуге тура келеді. Смитсониттің екінші дәрежелі қасиеттерінен жоғарылау меншікті салмағы мен қаттылығын (5) айта аламыз.

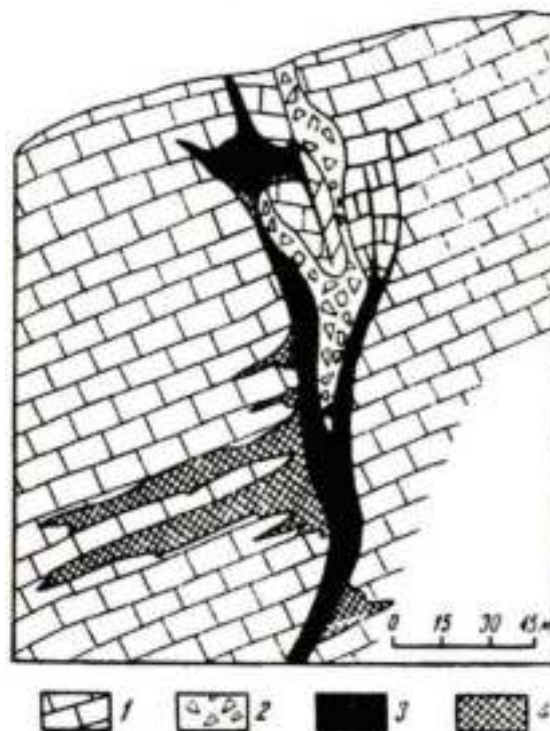
Құрамында темір бар түрлестері қошқылданады. Қышқылдарда біршама оңай ериді, кейде ысылдайды (әсіресе жер сияқты түрлестері). $\text{Co}[\text{NO}_3]_2$ ерітіндісімен сулағаннан кейін қыздырылған және тотықтырушы жалында қайтара қыздырылғаннан соң жасыл тартады.

Жаралуы және кенорындары. Смитсонит *әктастарда жататын* қорғасын-мырыш сульфидтері кенорындары тотығу белдемінің төменгі горизонттарының нағыз минералы болып табылады. Кейде айтарлықтай жатындар жасайды, негізінен руда денелерінің жатқан бүйірінде (223-сурет). Егер бастапқы рудалардың өзінде кальцит көп болса, онда смитсонит тотығу белдемдерінің жоғарғы бөліктерінде де мырыш силикаттарымен, галенитпен және кейде сфалерит қалдықтарымен бірлестікте кездеседі. Оның жаралуы метасоматоздық жолмен мырыштың оңай еритін сульфатының кальцитпен алмасу ыдырау реакциясы бойынша жүреді:



Бұл реакция ерітінділердегі бос күкірт қышқылының артығы реакция кезінде сол кальциттің өзімен бейтараптанғаннан кейін жүретіндігі ықтимал сияқты. Егер мұнда ерітінділерде темір *закисінің* сульфаты қатысса, ал бұл тотығу белдемінің тек төменгі горизонттарында ғана болуы мүмкін, онда смитсонит құрамында изоморфты қоспа түрінде $\text{Fe}[\text{CO}_3]$ болады, ол кейде елеулі мөлшерге жетеді (монгеймит). Темірлі смитсонит тотығу жағдайында

болғанда темір гидроокиселдерін бөліп ыдырайды. Мұнда мырыш смитсонит түрінде, бірақ құрамында темірі жоқ болып басқа жерлерде қайта түзіле алады. Темір гидроокиселдерімен қою пигменттелген смитсонит массалары сыртқы түрі бойынша кәдімгі кеуек немесе қуысты лимонит массаларынан шамалы ғана айрықшаланады және сондықтан көбінесе оңай жіберіліп қояды. Оларда смитсонит бар екенін микроскоп астында шлифтерде ғана анықтауға болады.



223-сурет. Тұрлан кенорнының шығыс бөлігіндегі тотыққан қорғасын және мырыш рудалары (И.И. Князев бойынша): 1 - әктас, 2 – отыру брекчиясы; 3 – тотыққан қорғасын рудасы; 4 - әктасты алмастыру жолымен пайда болған туынды мырыш рудасы

Смитсонит айтарлықтай массаларда кездескен Россия кенорындары ішінде Шығыс Забайкалье қорғасын-мырыш кенорындарын айту керек: *Акатуй, Кадаинское* (Нерчинск ауданы) және басқа.

Айтуға тұрарлыққа Қаратау жотасындағы (Оңтүстік Қазақстан) *Тұрлан (Ащысай)* кенорны жатады. Ол ұзақ уақыт бойы, негізгі руда денесімен жырақта мырыштың тотыққан бай рудасының үлкен жатындары ашылғанға дейін, таза қорғасын кенорны саналып келген (*223-суретте*).

Колорадодағы (АҚШ) өте ірі *Ледвилл* кенорнын да атаймыз, ол тотығу белдемінде таза қорғасын кенорны деп пайдаланылған; тек 30 жыл өткеннен кейін ғана бай смитсонит рудалары анықталған болатын (олар әктас пен басқа таужыныстар арасында тіпті байқалмаған).

Практикалық мәні. Смитсонит рудалары, егер олар үлкен массаларда кездесе, мырыштың құнды көзі бола алады. Рудадағы бұл металдың мөлшері көбінесе бастапқы сульфид рудаларындағымен салыстырғанда 2-3 есе артық болады. Осылайша, әктастарда немесе доломиттерде жататын қорғасын-мырыш сульфид рудалары кенорындарының тотығу белдемдерінің төменгі бөліктерінде мырыштың қорғасыннан бөлінуі ғана емес, сондай-ақ

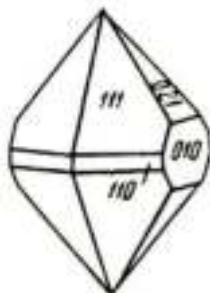
метасоматоздық жолмен қапталдас таужыныстарда түзілетін экзогендік өнімдердің мырышқа айқын баюы орын алады.

ЦЕРУССИТ – $Pb[CO_3]$. Латынша *cerussa* – ағартқыш дегеннен. Синонимі: ақ қорғасын рудасы.

Химиялық құрамы, %: PbO –83,5; (Pb –77,5); CO_2 –16,5. Механикалық қоспалардан шашыранды PbS және Ag_2S қалдықтары бола алады, олар церусситке қара түс береді, кейде $Zn[CO_3]$ болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pm\bar{c}n(D_{2h}^{16})$. $a_0=5,173$; $b_0=8,480$; $c_0=6,130$.

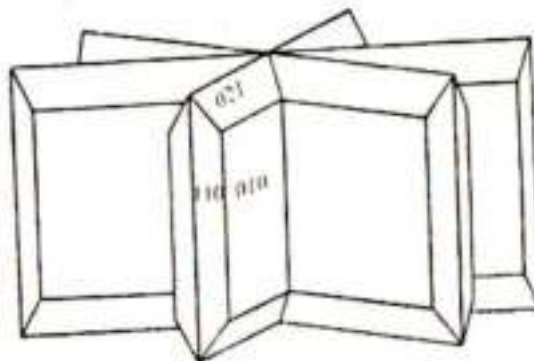
Кристалдық құрылымы арагониттің құрылымына ұқсас. Кристалдарының келбеті әр түрлі болуы мүмкін: жалған гексагон-дипирамидалық (224-сурет) дипирамида $\{111\}$ және призма $\{021\}$ жақтарымен, қабыршақ немесе тақталы (225-сурет), пинакоид $\{001\}$ немесе $\{010\}$ басым дамыған, кейде $\{100\}$, сырықша және басқа. Қосақтары мен үшемдері аса жиі: қосақ жазықтығы $\{110\}$ болады (226-сурет). **Агрегаттары.** Тұтас массалары әдетте түйірлі құрылымға ие. Кейде сауыс, жасырын кристалды және жер сияқты массаларда кездеседі. Церусситтің қардай аппақ талшықты түрлестері де байқалады.



224-сурет. Церусситтің жалған гексагон-дипирамидалық кристалы



225-сурет. Церусситтің тақта кристалы



226-сурет. Церусситтің $\{110\}$ бойынша нағыз үшемі

Түсі. Церуссит әдетте ақ, сұрғылт, сарғыш немесе қошқыл реңді. Темірленген массалары қошқыл түсті болады және сондықтан көбінесе

байқалмай өтіп кетеді. Кейде жекелеген түйірлерінде қалдық сульфидтердің микроскоптық кірінділері болуынан қара түс байқалады. Жекелеген кристалдары көбінесе түссіз және мөлдір. **Жылтырлығы** алмасша, кейде шыныша (бағдарлануына байланысты). Омырылымы көбінесе бейтегіс, ұлуша. Катод сәулелерінде ашық жасылтым-көкшіл түске боялады. $N_g=2,078$; $N_m=2,076$ және $N_p=1,804$.

Қаттылығы 3–3,5. Аса морт. **Жіктілігі** кейде {110} және {021} бойынша айқын. **Мен. салмағы** 6,4–6,6.

Диагноздаушы белгілері. Басқа карбонаттардан айырмашылығы, церуссит үшін жоғары меншікті салмағы және алмасша жылтырлығы тән. Көбінесе англезитпен және галенитпен бірлестікте байқалады. Дарақтарының 60° бойынша қосақтана кірігіп қайталануы және алты сәулелі үшемдері тән.

Сұйытылған HNO_3 қышқылында еріп, көмірқышқылды бұрқылдатып шығарады. KOH ерітіндісінде де ериді.

Бір қызығы, церусситтің темір гидроокиселдерімен пигменттелген массалары құрамында церуссит жоқ басқа лимониттелген материалдан сырттай тіпті ажыратылуы да қиын. Олар сындырған кезде өзіндік сыртылдайтын немесе сықырлайтын дыбыс шығарады.

Жаралуы және кенорындары. Қорғасын-мырыш сульфид кенорындарының тек қана тотығу белдемдерінде таралған. Әдетте англезит $\text{Pb}[\text{SO}_4]$ бойынша жаралады, ал ол өз кезегіне галенит тотыққан кезде дамиды. Ол өзінің өте төмен ерігіштігі және су-ауа жағдайында төзімділігі салдарынан, галениттің ары қарай ыдырауын қиындатады.

Церусситтің жақсы жаралған, көбінесе ірі кристалдары тотығу белдемдерінде шайылу кезінде пайда болатын қуыстардың қабырғаларында кездеседі. Осы кристалдар друзасының жаралуы қорғасынның еритін қосылыстарының біршама тасымалданатынын куәландыратыны даусыз. Бірақ церусситтің төмен температуралы гидротермалық жолмен де жаралу мүмкіндігі жоққа шығарылмайды.

Басқа минералдар бойынша церуссит псевдоморфозалары (галенит, англезит, кальцит, флюорит және басқалар бойынша) біршама сирек байқалады.

Тамаша жаралған церуссит кристалдарымен Забайкальдегі *Нерчинск* ауданы кенорындары (*Тайнинское, Кадаинское*) және Алтай кенорындары (*Риддер, Зырян, Николаев*) белгілі.

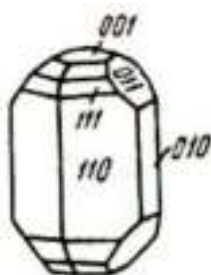
Айтарлықтай массаларда Қаратау жотасындағы (Оңтүстік Қазақстан) *Тұрлан* кенорнында өндірілген.

Практикалық мәні. Маңызды қорғасын рудасы болып табылады, әсіресе қорғасын-мырыш рудалары кенорындарының тотығу белдемдерінде қуатты дамыған жағдайларда.

СТРОНЦИАНИТ – $\text{Sr}[\text{CO}_3]$. Алғаш Строншиан мекені (Батыс Шотландия) маңында табылған.

Химиялық құрамы: $\text{SrO} - 70,2\%$ $\text{CO}_2 - 29,8\%$. Әрдәйім дерлік CaO болады. Кальций-стронцианит деген атаумен белгілі түрлесінің құрамында CaO 13 %-ке жетеді. Кейде BaO , PbO және басқалар анықталады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Rm\bar{c}n(D_{2h}^{16})$. $a_0=1,118$; $b_0=8,404$; $c_0=6,082$. Температура 700^0C болған кезде (басқа деректер бойынша – 929^0C) табиғатта кездеспейтін гексагондық модификацияға өтеді. **Кристалдық құрылымы** арагонит құрылымына ұқсас. Кристалдары сирек кездеседі, негізінен майда инелер немесе бөшке тәрізді призма пішіндері түрінде болады (227-сурет). Қосақтары (110) бойынша жиі. **Агрегаттары**. Тұтас түйірлі, көбінесе майда сырықша немесе талшықты агрегаттарда.



227-сурет. Стронцианит кристалы

Түсі. Түссіз немесе жасылтым, сарғыш және сұрғылт реңдерге боялған. Жалтырлығы шыныша, омырылымында майша. Катод сәулесінде өте нашар көгілдір реңге боялады. $N_g=1,668$; $N_m=1,667$ және $N_p=1,520$.

Қаттылығы 3,5–4. Морт. **Жіктілігі** {110} бойынша айқын және {021} бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,6–3,8.

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша арагониттен ажыратылуы қиын. Қышқылдарда пышылдап оңай ериді. Егер тұз қышқылы ерітіндісін буландырып жіберіп үстіне спирт құйсақ, онда ашық-қызыл жалын (Sr) жарқ етеді.

Жаралуы және кенорындары. Көбінесе *гидротермалық* жаралымдарда целестинмен, баритпен, кальцитпен, сульфидтермен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Шөгінді таужыныстарда (эктас, мергель) да байқалады, бірақ көбінесе қуыстар мен жарықшақтарда ең соңғы желішіктер түрінде.

Россия ауқымында Забайкальенің Нерчинск округінде (*Кадаин* кеніші) байқалған. Бурятиядағы *Халютинское* кенорнында стронцианит өндіріс нысаны болып табылады.

Мардымсыз мөлшерде Қырымда - әулие *Илья мүйісі* (Феодосия маңында), *Карадаг*, *Лысая гора*, *Батилиман* және басқа; Ахацих ауданындағы (Грузия) *Цнис* ауылы маңында және басқа жерлерде кездескен. Елеулі мөлшерде Вестфалияның (Германия) *Гамм* кенорнында бор жасты мергельдегі желішіктер мен желілер түрінде табылған және өндірілген. Мұнда қуыстарда тамаша жаралған кристалдары да кездескен. Серігі ретінде ол көптеген гидротермалық кенорындарда, көбінесе барит желілерінде сульфидтер сүйемелдеуінде байқалған.

Практикалық мәні. Стронцийдің қосымша көзі болады. Қолданылуы *целестинде* беріледі.

ВИТЕРИТ – $\text{Ba}[\text{CO}_3]$. **Химиялық құрамы:** BaO –77,7 %, CO_2 –22,3 %. Кейде құрамында стронций болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Rm\bar{c}n(D_{2h}^{16})$. $a_0=5,252$; $b_0=8,828$; $c_0=6,544$. **Кристалдық құрылымы** арагонит құрылымына ұқсас. Кездесетін кристалдары жалған гексагон дипирамидалар түріне ие. Үшемдері (110) бойынша жиі (228-сурет). **Агрегаттары.** Шар тәрізді және бүйрек тәрізді пішіндерде де, кейде желілік, талшық және парақша агрегаттарда да байқалады.



228-сурет. Витерит. Кірігу үшемі

Түсі. Түссіз немесе ақ, бірақта әдетте сұрғылт немесе сарғыш рендерге боялған. **Жылтырлығы** шыныша, омырылымында майша. Катод сәулелерінде кейде сары түске боялады. $N_g=1,677$; $N_m=1,676$ және $N_p=1,529$.

Қаттылығы 3–3,5. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша айқын, {110} бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 4,2–4,3. **Басқа қасиеттері.** Витерит тозаңы адам организміне улы әрекет етеді. Сондықтан құрамында витерит бар таужыныстар мен рудалар арасындағы кен үңгімелерінде шпур бұрғылағанда сулы бұрғылау деп аталатынды қолданады.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне ұқсас арагонит пен стронцианиттен жоғары меншікті салмағы бойынша ажыратылатыны тән.

Сұйытылған HNO_3 және HCl ерітінділерінде пышылдап ериді. Бірнеше тамшы H_2SO_4 қышқылын қосқанда мол BaSO_4 тұнбасы тұрады.

Жаралуы және кенорындары. Әдетте *гидротермалық* кенорындарда кальцитпен, доломитпен, Pb , Zn , Fe сульфидтерімен және көбінесе баритпен, кейде кейінірек түзілетін витеритпен парагенезисте кездеседі. Барит бойынша псевдоморфозалары балады, олардың көмірқышқыл ерітінділер ықпалынан жаралатыны көрінеді. Витериттің баритпен алмасу құбылысы да анықталған.

Россияда витерит табылымдары *Змеиногоorsk* кенішінде (Алтай) байқалған. Жалпы витериттің ірі шоғырлары сирек. Нортумберленд ауданындағы (Англия) *Сеттлингстон* кенорны жалғыз ғана арнайы витерит кенорны болып табылады. Мұнда витерит кальцитпен, сульфидтермен және кейінгілеу баритпен (ұсақ жарықшақтарда және витерит кристалдары аралығындағы бос жерлерде) сүйемелденеді. Барит – витерит кенорны желілер легі ретінде Каракала ауданындағы (Түркімения) *Арпаклен* кенорнында кездескен, мұнда ол бор жасты шөгінді таужыныстардағы жарылымдардың ірі тектоникалық зонасы арасындағы жарықшақтарда орналасқан.

Практикалық мәні. Витерит баритпен салыстырғанда химия өнеркәсібінің түрлі салаларында пайдаланылатын барий қосылыстарын алуда қосымша мәнге ие. Өйткені ол табиғатта әлдеқайда аз мөлшерде таралған. Құрамында барий бар минералдардың қолданылуы туралы *баритте* айтылады.

ПАРИЗИТ-(Ce) – $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La}, \dots)_2[\text{CO}_3]_3\text{F}_2$. Құрамында $(\text{Ce}, \text{La})_2\text{O}_3$ 50 %-ке дейін, лантаноидтар арасында неодим басым болуы мүмкін (*паризит-Nd*), *иттропаризит* болатындығы туралы да сілтемелер бар. Осы минерал алғаш анықталған Мусо кенішінің (Колумбия) иесі Дж. Париз құрметіне аталған. Минерал сирек. *Бастнезит* $(\text{Ce}, \text{La}, \dots)(\text{CO}_3)\text{F}$ – *фатерит* $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ полисоматоздық қатар аралық мүшелерінің бірі болып табылады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі ромбылық L^3_6C . Кеңістіктік тобы $R3(C^2_{3i})$. $a_0=7,18$; $c_0=84,1$. Кристалдық құрылымы үштік ось бойымен $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ құрамды дараланған фатерит $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ құрылымды жеке қатарлардың бастнезит $(\text{Ce}, \text{La}, \dots)[\text{CO}_3]\text{F}$ құрылымды қосарланған қатарлармен кезектесуімен сипатталады.

Кристалдарының келбеті. Кристалдары қысқа бағаналы, бөшке тәрізді және аса таяқ-пирамида, ромбоэдр $\{1121\}$ елеулі қатысады.

Агрегаттары. Тығыз түйірлі тұтас түйірлі құрылысты агрегаттары тән.

Түсі қызғылт-қошқыл, қошқыл-сары. **Жылтырлығы** шыныша күшті, Майшадан шайыршаға дейін. $N_p=1,640-1,678$; $N_g=1,767-1,800$. **Қаттылығы** 4-4,5. Морт. **Жіктілігі** (немесе дербестігі) $\{0001\}$ бойынша айқын. **Мен. салмағы** 4,35.

HCl қышқылында баяу ыдырайды. H_2SO_4 қышқылында қыздырған кезде HF бөлініп шығады.

Карбонатиттерде, сілтілі пегматиттерде және фениттерде кездеседі. Колумбиядағы (Оңтүстік Америка) *Музо* изумруд кенішінде сипатталған; *Белозиминский массив* (Шығыс Саян), *Шиелі тау* (Оңтүстік Орал), Призовьедегі (Украина) *Петров-Гнутов* карбонатиттеріндегі кенбілінімдерде және басқа жерлерде кездеседі.

Қорытындылау. Сонымен, кальцит тобының минералдары физикалық қасиеттері бойынша өзара көптеген ортақ қасиеттерге ие. Құрама кестеден байқауға болатындай, бұл топтағы минералдардың ең маңызды қасиеттерінен тек ауыр металдар Mn, Fe, Pb, Zn карбонаттары және әсіресе күрт қорғасын карбонаты церуссит қана қалғандары арасында біршама ерекшеленеді (*11-кесте*). Ең үлкен айырмашылығы минералдардың көмірқышқылға қаныққан суда ерігіштік дәрежесі бойынша анықталады. Аса ерігіштігімен Mg карбонаты, содан кейін Ba және Ca карбонаттары сипатталады. Ең төмен ерігіштік Pb карбонатына жатады.

Изоморфтық қатарларды құрайтын, құрамы бойынша аралық көптеген минералдардың кестеде келтірілмеген қасиеттері құрамдас компоненттерінің қатынастарына тікелей тәуелділікте өзгереді. Дәл осы қосарланған тұздарына да қатысты. Қосарланған тұздарының термикалық диссоциациясы екі амалмен жүреді.

11-кесте. Кальцит тобындағы басты минералдардың ең маңызды қасиеттері

Минерал	Сингониясы	Мен. Салмағы, г/см ³	Қаттылығы	Шағылыстыру коэффициенті			t=180°C және P _{CO₂} =1 ат, мг/л ерігіштігі	Диссоциация температурасы P _{CO₂} =1 ат
				<i>Ng</i>	<i>Nm</i>	<i>Np</i>		
Кальцит - CaCO ₃	Тригондық	2,7	3	-	1,658	1,486	1100	900 ⁰ C
Доломит – CaMg[CO ₃] ₂	Тригондық	2,9	3,5-4	-	1,681	1,500	-	-
Магнезит – MgCO ₃	Тригондық	3,0	4-4,5	-	1,700	1,509	25800	600 ⁰ C
Родохрозит – MnCO ₃	Тригондық	3,7	3,5-4,5	-	1,817	1,597	400	500 ⁰ C
Сидерит – FeCO ₃	Тригондық	3,9	3,5-4,5	-	1,875	1,633	720	500 ⁰ C
Смитсонит – ZnCO ₃	Тригондық	4,4	5	-	1,899	1,621	700	400 ⁰ C
Арагонит – CaCO ₃	Тригондық	3,0	3,5-4	1,686	1,681	1,530	-	900 ⁰ C
Витерит – BaCO ₃	Тригондық	4,3	3-3,5	1,677	1,676	1,529	2700	800 ⁰ C
Стронцианит – SrCO ₃	Тригондық	3,7	3,5-4	1,677	1,667	1,520	1250	800 ⁰ C
Церуссит – PbCO ₃	Тригондық	6,5	3-3,5	2,076	2,076	1,804	140	-

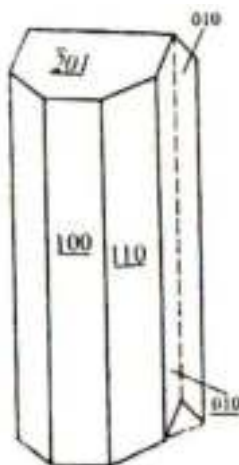
2. Малахит тобы

Бұл топқа негізгі сусыз мыс карбонаттары – малахит пен азурит жатады.

МАЛАХИТ – Cu₂[CO₃]₂[OH]₂ немесе Cu[CO₃]·Cu [OH]₂. Грекше *малахе* – гүлқайыр (өсімдік) дегеннен. Жасыл түсінің ұқсастығына байланысты аталғаны көрінеді.

Химиялық құрамы, %: CuO – 71,9 (Cu – 57,4); CO₂ – 19,9; H₂O – 8,2. Өте мардымсыз мөлшерде CaO, Fe₂O₃, SiO₂ және басқалар да анықталады. Олардың болуы бөтен заттардың опталған немесе механикалық қоспаларына байланысты екені көрінеді.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L²PC. Кеңістіктік тобы P2₁/a(C⁵_{2h}). a₀=9,49; b₀=12,00; c₀=3,24; β=98⁰42'. Кристалдары өте сирек, олар призмалық келбетке ие және іс жүзінде әрдайым қосақтанған (229-сурет).



229-сурет. Малахиттің (100) бойынша призмалық қосағы

Агрегаттары. Әдетте бүйрек пішінді радиал-талшықты құрылысты массаларда байқалады. Ірі бүйрек тәрізді сферолит жаралымдарына

концентрлі-зоналы құрылыс аса тән, әсіресе жылтырланған үлгілерде әсерлі білінеді (230-сурет). Жер тәрізді түрлестері де кездеседі (мыс жасылы).



230-сурет. Малахиттің концентрлі-зоналы құрылысы (жалтырланған бетте). Гумешев кенорны (Орал)

Түсі. Малахит жасыл. **Сызық түсі** солғын-жасыл. **Жылтырлығы** шынышадан алмасшаға дейін, талшықты түрлестерінде жібекше. $N_g=1,909$; $N_m=1,875$; $N_p=1,655$.

Қаттылығы 3,5-4. Морт. **Жіктілігі** {201} бойынша жетік, {010} бойынша орташа. **Мен. салмағы** 3,9-4.

Диагноздаушы белгілері. Өзіндік жасыл түсі бойынша оңай танылады, көбінесе сауыс пішіндерде және радиал-талшықты құрылыста байқалады. Оған біршама ұқсас хризоколладан (мыс гидросиликатынан), жалған малахиттен (мыс фосфаты) және басқа жасыл түсті мыс минералдарынан өзін тұз қышқылында ұстауы бойынша (көмірқышқыл бөледі) анықталады.

HCl ерітіндісімен суланғанда жалынды көгілдір түске бояйды. Шыны түтікшеде су бөліп шығарады да қараяды. HCl ерітіндісінде пышылдап ериді. Ерітіндісі аммиак көп қосылғанда көгеріледі.

Жаралуы және кенорындары. Малахит тек қана мыс сульфидтері кенорындарының тотығу белдемдерінде, әсіресе олар әктаста орналасқанда немесе бастапқы рудалар құрамында карбонаттар көп болғанда жаралады. Тотыққан мыс рудаларында ең көп таралған мыс минералы болып табылады. Ол карбонаттарды алмастыру жолымен де, қуыстарды толтырып әрі оларда нағыз сферолит пішіндер жасау жолымен де дамиды.

Әктастар немесе Ca мен Mg карбонаттары бетінде ерітінділерде айқын сілтілі орта қалыптасатын болғандықтан, оларға жететін мыс сульфаттарының ерітіндісі бикарбонат ерітінділермен әрекеттесіп, гидролизге ұшырайтыны көрінеді. Одан басқа, мыс карбонаттары мыс сульфатының немесе гидратының ауадағы көмірқышқылға қаныққан ерітіндімен баяу реакциясы нәтижесінде пайда болуы ықтимал.

Малахит көбінесе азурит, куприт, сомтума мыс, ал кейде атакамит, кальцит, халькопирит және басқалар сияқты минералдармен де псевдоморфозалар жасайды. Малахит «мыс жасылының» кірінділері немесе жұғындылары түрінде мыс кенорындары тотығу белдемдерінде аса жиі

кездеседі. Бірақ оның үлкен шоғырлары, әсіресе әшекей сорттары қазір сирек кездесуге айналуда.

Оралда әлемге танымал өте ірі екі кенорны болған: *Меднорудьянск* (Нижний Тагил маңында) және *Гумешев* (Екатеринбургтен оңтүстік-батысқа қарай).

Меднорудьянское кенорны малахиттің жылтырланған түрде өзінің байлығы мен әсемдігі бойынша әлемде жалғыз болып табылады. Исаакий соборының әйгілі бағандарының, Қысқы сарайдың малахит залының, Эрмитаж столдарының (Санкт-Петербургте) және басқалардың малахит қаптамасы осы жерден алынған. Малахиттің салмағы 50 т-дай болатын бірінші ірі тасжақпары мыстың басқа оттек қосылыстарымен бірге 70 м-дей тереңдікте күшті темірленген, бүлінген саз таужыныстар арасында скарнның әктаспен шекарасында аршылған.

Гумешев кенорны XVIII ғасыр соңынан бері белгілі болған. Ол тамаша әшекей малахит материалының орасан зор мөлшерін беріп, сол кездегі көптеген мұражайлардың витринасын толтырған. Сферолит малахиттің ірі кесектері қызыл саз арасында орналасқан. Осы жерден суретінің әдемілігі бойынша керемет малахиттің үлкен тасжақпары алынған, оның салмағы 1,5 т-дай, ол Санкт-Петербург кен институтының мұражайында сақтаулы.

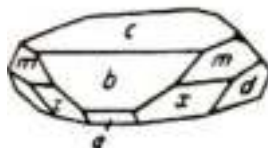
Әшекейлік малахит қазіргі кезде Шаба провинциясындағы (Конго Демократиялық Республикасы, Орталық Африка) *Колвези* кенорнынан келеді.

Практикалық мәні. Малахиттің тығыз өрнекті түрлестері кейде үлкен массаларда кездесіп, әр түрлі әшекей мен нақыштық жұмыстада қолданылады: реңдері мен өрнегі бойынша әсем вазалар, қобдишалар, үстелдер және басқа бұйымдар жасауға. Малахит ұсағы бояу жасауға тұтынылады. Сеппе жер сияқты малахит түрлесі мыстың басқа да тотыққан рудаларымен қатар мыс қорытатын кенге жатады.

АЗУРИТ – $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2[\text{OH}]_2$ немесе $2\text{Cu}[\text{CO}_3]\cdot\text{Cu}[\text{OH}]_2$. Атауы французша *azur* – лазурь, көк дегеннен шыққан. Синонимі: мыс лазурі.

Химиялық құрамы, %: CuO – 69,7; (Cu – 55,3); CO₂ – 25,6; H₂O – 5,2. Кристалдары химиялық жағынан біршама таза. Механикалық қоспалардан сирек жағдай ретінде Оралдағы *Березев* кенорны үлгілерінде туынды сомтума алтын қабыршақтары анықталған.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/c(C^5_{2h})$. $a_0=4,96$; $b_0=5,83$; $c_0=10,27$. **Кристалдарының келбеті.** Байқалған кристалдарының келбеті қысқаша бағанаша немесе призма, сондай-ақ қалың тақта түрінде болады (231-сурет). Көбінесе ұсақ кристалдар друзасында, тұтас түйірлі массаларда, кейде радиал-сәуле агрегаттарда және жер тәрізді күйде («мыс көгі») кездеседі.



231-сурет. Азурит кристалдары: $c\{001\}$, $b\{102\}$, $a\{100\}$, $m\{110\}$, $x\{112\}$ және $d\{123\}$

Түсі. Азурит қанық-көк, жер сияқты массаларда көгілдір. Сызық түсі көгілдір. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,838$; $N_m=1,758$ және $N_p=1,730$.

Қаттылығы 3,5-4. Морт. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік, {100} бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,7-3,9.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне тән көк түсі және малахитпен, мыстың басқа да оттекті қосылыстарымен бірлестігінде оңай танылады.

Қышқылдарда пышылдап ериді. Аммиакта да еріп, ерітіндіні көк түске бояйды.

Жаралуы. Аз мөлшерде әрдәйім дерлік малахитпен парагенезисте кездесіп, көбінесе одан кейін түзіледі. Оның төзімсіз болатын жағдайлары да орнап, мұндайда малахитке қарағанда төзімсіздеу болады да осы малахитпен алмасады. Малахиттің азурит кристалшалары бойынша да псевдоморфозалары белгілі.

Практикалық мәні. Мыстың басқа оттек қосылыстарымен бірге металлургия пештерінде балқытуға кетеді. Таза азурит, егер айтарлықтай массаларда кездессе, көк бояу алу үшін қолданыла алады.

СУЛЫ КАРБОНАТТАР

Өзінің құрамында H_2O молекулалары бар карбонаттар арасында көп таралғандар Na, Mg, U және басқалардың сулы карбонаттары. Мұнда біз тек онсулы натрий карбонатын ғана қарастырамыз.

НАТРОН – $Na_2[CO_3] \cdot 10H_2O$. Құрамы бойынша аталған. Орысша әдебиетте ылғи «сода» деген атпен белгілі, бұл атау XVII ғасырдан бері қолданылғанымен, оның шығу тегі белгісіз. Оны *натрит* деп атауға болмайды, бұл атау сусыз $Na_2[CO_3]$ минералына қатысты.

Химиялық құрамы, %: N_2O —21,6; CO_2 —15,4; H_2O —63,0. Механикалық қоспаға басқа оңай еритін натрий тұзы жатады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кристалдық құрылымы анықталмаған. Кристалдары ромб тақталар пішініне ие. Әдетте түйірлі агрегаттарда байқалады.

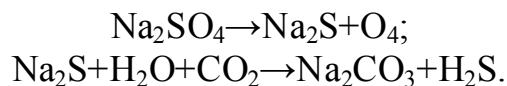
Түсі. Түссіз, ақ немесе сұр. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,440$; $N_m=1,425$; $N_p=1,405$.

Қаттылығы 1-1,5. **Жіктілігі** {100} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 1,42-1,47. Таза қаныққан Na_2CO_3 ерітінділерінен атмосфералық қысымда -2 мен $32^{\circ}C$ температура аралығында тұнады.

Диагноздаушы белгілері. Суда оңай ериді. HCl әрекет еткенде көмірқышқыл газын бөледі. Ауада судан оңай арылады да ағарады. Шамалы қыздырғанда басқа да көптеген суға бай кристалгидраттар сияқты балқиды, дұрысырағы өзінің кристалдық суында термонатрит ($N_2CO_3 \cdot H_2O$) бөліп ериді. Қалдықты платина сымының ұшында балқытқанда, жалын қанық сары түске боялады (натрийге реакция).

Жаралуы. Айтарлықтай массаларда кейбір натрийге бай тұзды көлдерде жаралады, еріген CO_2 артығымен болған кезде. Пайымдалатындай,

сода Na_2SO_4 алмасу, ыдырау реакциясында әкелінетін $\text{Ca}[\text{HCO}_3]$ кальций бикарбонатымен бірге пайда болады. Оның жаралуы биохимиялық жолмен де сульфаттарды микроорганизмдермен тотықсыздандырған кезде және ары қарай көмірқышқыл әрекет еткенде, H_2S бөліп мынадай реакция бойынша жүреді:



Ол қардай әппақ таңдақтар мен жұғындылар түрінде қопсық таужыныстар мен топырақ бетінде климаты құрғақ ыстық елдерде пайда болады.

Барлық белгілі ірі сода көлдері бізде Россияның азиялық бөлігінде таралған. *Доронин* сода көлінде (Шығыс Сібір) ол қыс кезінде өндірілген. Осы мақсатта мұз бетіне қалыңдығы 6 см-ге дейінгі тұздық шығарылған. Тұздықтың еру процесінде сода төменгі мұз жамылғысы бетінде тұнған. Беткі мұз кепкен кезде (қатты жел тұрғанда) ол үймектерге жиналып, заводқа өңдеуге жөнелтілген. Жерасты кен үңгімелерінде нефелинді сиениттің Ловозерск массивіндегі *Карнасурт* тауында қазіргі кезде жаралатын сода опалмен бірге сталактиттер жасайды.

Соданы Құлынды бекетінің (Солтүстік Қазақстан) *Құлынды даласы* көлдері бөледі: Петухов және Михайлов көлдері. Соданың тұнуы оларда күзде температура төмендеген кезде басталады (қыста ол көл түбінен өндіріледі).

Ірі сода көлдері Триполиде, Мысырда, Иранда, Тибетте, Оңтүстік-Шығыс Калифорнияда (*Серлз* көлі) және басқа жерлерде таралған.

Практикалық мәні. Сода өнеркәсіптің сан түрлі салаларында қолданылады: сабын қайнату, шыны, бояу, сондай-ақ химия және металлургия. Сода көлдеріне жұтаң елдерде соданы жасанды жолмен, негізінен мирабилит пен галиттен алады.

КЛАСС 3. СУЛЬФАТТАР

Жалпы ескертпелер. Ең алдымен мынаны ескертеміз, күкірт геохимиясы көптеген химиялық элементтерге тән емес өзіндік ерекшеліктерімен сипатталады. Бұл элемент электрлік бейтарап 8-атомды S_8 молекуласын (сомтума күкірт туралы айтылғандай) беруге қабілетімен қатар ол әр түрлі зарядталған оң және теріс иондар жасайды. Біз білетіндей, H_2S электролиттік диссоциациясының өнімі ретінде теріс зарядталған S^{2-} (O^{2-} ионының баламасы) және $[\text{S}_2]^{2-}$ иондары болады. Осы аниондармен сульфидтердің жаралуы байланысты. Тотығу жағдайында күкірт SO_2 (күкіртті газ) молекулалық қосылысын, ал ерітінділерде $[\text{SO}_3]^{2-}$ және жоғарылау тотықтырғыш ортада $[\text{SO}_4]^{2-}$ комплексті аниондарын бере алады, оларда тиісінше S^{4+} және S^{6+} катиондары қатысады. Металдардың осы аниондармен қосылысы болып табылатын кристалл жаралымдар сульфиттер

(небәрі екі минерал түрі) және сульфаттар (табиғатта кең таралған) деп аталады.

Осылайша, металдардың күкіртқышқыл тұздарының пайда болуы тек оттектің жоғары концентрациясы жағдайларында ғана орын алуы мүмкін немесе әдетте айтылатындай, оттектің қоршаған ортадағы жоғары қысымы кезінде және біршама төмен температура кезінде. Мұндай жағдайлар жер қыртысында жер беті маңында, эндогендік те, экзогендік те жаралымды осындай қосылыстардың басым массасы кездесетін ортада жасалады.

Бұл класс минералдары арасында біз қосылыстардың үлкен түрлерін байқаймыз, бірақ жер қыртысында төзімді және кең таралған сульфаттар саны онша көп емес.

SO_4^{2-} сияқты осындай ірі комплексті анион үшін берік кристалдық құрылымдар тек осы анионның ірі екі валентті катиондармен қосылған кезінде ғана жаралуы мүмкін. Шынында, біз көретініміздей, ең орнықтылары Ba, Sr және Pb сульфаттары болады. Иондық радиустары шағын катиондар сульфаттар құрамына гидратталған күйде ғана, яғни H_2O молекулаларынан тұратын «жейде» кигенде кіреді. Мұнда катиондар иондық радиусы кіші болған сайын, H_2O молекулаларының неғұрлым көп саны онымен байланысуға қабілетті болады. Суға бай сульфаттарда H_2O мөлшері қосылыстың дәл сол бір типі үшін сыртқы ортадағы H_2O буының қысымына байланысты өзгеруі мүмкін. Мәселен, темір закисі сульфаты үшін H_2O -нің жеті, алты, бес және бір молекуласы бар тұздары болады. Олардың бәрі бір-бірінен кристалдық құрылымы ерекшеліктерімен айрықшалаанады.

Сілтілі металдардың бір валентті катиондары қарапайым сульфидтер құрамына, әрине, екі еселенген мөлшерде немесе H^+ ионымен бірлестікте кіреді. Олар нашар кристалдық құрылымдар жасайды да суда оңай ериді (екі валентті шағын катиондар сульфаты сияқты).

Үш валентті металдардың, негізінен Al^{3+} және Fe^{3+} сульфаттары тек қана сулы қосылыстар түрінде кездеседі.

Бір, екі және үш валентті металдардың қосарланған және одан күрделі тұздары кең таралған. Қосымша, көбінесе $[\text{OH}]^{1-}$, кейде Cl^{1-} , $[\text{CO}_3]^{2-}$, $[\text{PO}_4]^{3-}$ және басқа анионды сульфаттар өте жиі кездеседі. Көбінесе бұл жағдай қосылыстар құрамына үш валентті металдар немесе күшті үйектелетін Cu^{2+} катиондары кіргенде орын алады.

Қорытындылай келе, осы класс минералдарына ортақ кейбір физикалық қасиеттерді айтамыз. Ең алдымен карбонаттардағы сияқты қаттылығы жоғары минералдардың болмауы өзіне назар аудартады. Сульфаттар арасында қаттылығы 3,5-нан асатын минералдар бізге белгісіз. Суға бай минерал түрлерінде ол 2-ге дейін төмендейді. Сульфаттардың оптикалық қасиеттері ішінде бұрын қарастырылған тұздар кластарымен салыстырғанда қосшағылысудың (*Ng-Np*) әлдеқайда төмен шамаларымен сипатталады. Тіпті оптикалық изотроп минералдар да кездеседі. Бұл жағдай SO_4 тетраэдрлік топтары жазық CO_3 және NO_3 топтарымен салыстырғанда изометрлі құрылымдық бірліктер болып табылатындығымен түсіндіріледі. Аса тәні, құрамында қосымша анион ретінде $[\text{CO}_3]^{2-}$ ионы бар сульфаттарда

қосшағылысу біршама жоғарылайды (оның мысалына каледонит – $Pb_5Cu_2[SO_4]_3[CO_3][OH]_6$ жатады).

Минералдарды сипаттаған кезде, біз оларды әдеттегідей химиялық құрамы мен кристалдық құрылымы бойынша топтарға біріктіреміз. Бірақ мұндай топтар сусыз минералдар үшін өте көп болып шығады. Қалған саны бойынша біршама көп және құрамы бойынша әр түрлі минералдарды катиондарының валенттілігі бойынша сусыздардың орнына сулы сульфаттарды да біріктіріп топтастырған дұрыстау болады.

1. Барит тобы

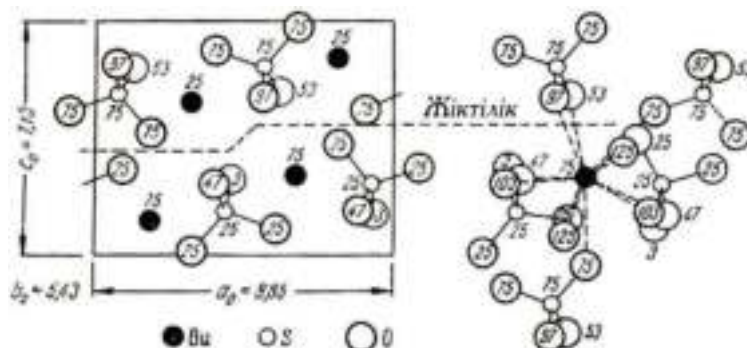
Мұнда табиғатта сулы сульфаттар түрінде кездеспейтін Sr, Ba және Pb күкіртқышқыл қосылыстары жатады. Кальцийдің сусыз сульфаты (ангидрит) аталған сульфаттар сияқты ромбылық сингонияда кристалданғанымен, бірақ олардан кристалдық құрылымы бойынша да, кристалдарының пішіні бойынша да айтарлықтай айрықшаланады, бұл Ca^{2+} ионы радиусы шамасының шағындығына байланысты. Өйткені ангидрит табиғаттағы жаралу жағдайлары бойынша кальцийдің сулы сульфаттарымен (гипспен) төтенше тығыз байланысты болғандықтан, біз оның толық сипаттамасын жеке, гипспен бірге береміз.

БАРИТ – $Ba[SO_4]$. Грекше *барос* – ауырлық. Бұл минералдың үлкен меншікті салмағы қолға оңай білінеді. Аз санды барит минералдары арасында барит бастысы болып табылады, ал сусыз сульфидтер арасында – ангидриттен кейінгі ең көп таралғаны.

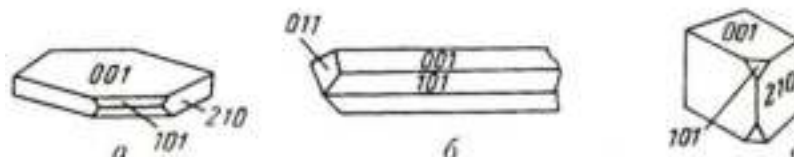
Химиялық құрамы. BaO – 65,7 %, SO_3 – 34,3 %. Изоморфты қоспалар түрінде Sr мен Ca анықталады. Стронций мөлшері жоғары болатын түрлесі баритоцелестин деп аталады. Кейде құрамында Pb мен Ra (хокутолит) көп түрлестері кездеседі. Бөтен қоспалардан кейде Fe_2O_3 , саз, органикалық және басқа заттар анықталады.

Сингониясы ромбылық, симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pnma(D_{2h}^{16})$. $a_0=8,85$ $b_0=5,43$ $c_0=7,13$. **Кристалдық құрылымы.** 232-суретте (010) жазықтығындағы құрылымның элементар ұяшығы проекциясы көрсетілген. Ba^{2+} және S^{6+} иондары b биіктігінің 1/4 және 3/4 қашықтығында орналасады (цифрларда көрсетілген). SO_4 топтары онша дұрыс емес тетраэдрлер болып табылады да цифрлардан көрінетіндей, әркелкі бағдарланған. Әр Ba ионы 12 оттегі ионымен қоршалған, олар әр түрлі 7 SO_4 тобына жатады (232-суретте). **Кристалдарының келбеті.** Бариттің жиі кездесетін кристалдары әдетте {001} жағы дамуы салдарынан тақташа келбетке ие болады (233 а-сурет). Кейде призма, бағана (233 б-сурет), әдетте призмалардың басымдыққа ие {011} немесе {101} жақтарының {001} жағымен комбинациясында жаралатын және изометриялық (233 в-сурет) кристалдары таралған. Көбінесе комбинацияларға төтенше бай. Қосақтары сирек, әдетте жақтарында айғыздалу туындататын полисинтетикалық қосақтар байқалады. Кейде раушан пішініне ие болатын парақталған кристалдары тән. Агрегаттары

көбінесе түйірлі, кейде тығыз, жасырын кристалды, жер тәрізді. Сондай-ақ тассүңгілер (сталактит) және басқа сорғалама пішінділер түріндегі концентрлі құрылыста байқалады. Шар тәрізді және эллипстік радиал-сәуле құрылысты конкрециялары белгілі. Бос қуыстарда шағын кристалдарының әсерлі друзаларын жиі байқауға болады.



232-сурет. Бариттің (010) жазықтығы проекциясындағы кристалдық құрылымы



233-сурет. Барит кристалдары

Түсі. Түссіз суша мөлдір кристалдары кездеседі. Көпшілігінде барит бөтен қоспалармен ақ немесе сұр (газдар мен сұйықтардың микроскоптық кірінділерімен), қызыл (темір окисінен), сары немесе қошқыл (темір гидроокиселдерінен болуы ықтимал), күңгірт-сұр және қара (битумды заттармен) түске, кейде көкшіл, жасылтым және басқа реңдерге боялады. **Жылтырлығы** шыныша, {010} жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,648$; $N_m=1,637$ және $N_p=1,636$.

Қаттылығы 3-3,5. Морт. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік, {210} бойынша орташа және {010} бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 4,3-4,5.

Диагноздаушы белгілері. Барит ең көп таралған сульфаттар ішінде ең үлкен меншікті салмаққа ие (тек англезиттің меншікті салмағы ғана жоғары болады). Оған бір бағыттағы жетік жіктілік, HCl қышқылында тіпті қыздырғанның өзінде ерімейтіні (барлық карбонаттардан айырмашылығы) тән. Өзіне жіктілігі және басқа белгілері бойынша ұқсас силикаттардан айтарлықтай төмен қаттылығымен ажыратылады. Целестиннен химиялық реакцияларсыз ажырату қиын.

Содамен платина қалақшасында мөлдір массаға балқиды, ол салқындатқан кезде ластанып кетеді. Целестиннен айырмашылығы, тотықсыздандыратын жалында алынатын күкіртті барий HCl ерітіндісімен сулаған соң жалынды қызыл түске емес, сары-жасыл түске бояйды. Қойытылған H_2SO_4 қышқылында ұнтақ тәрізді күйде баяу ериді. Су қосқаннан кейін ерітінді лайланады, яғни $Ba[SO_4]$ қайта бөлінеді.

Жаралуы және кенорындары. Барит табиғатта әр түрлі жолдармен жаралады, бірақ тек қана оттегі парциалдық қысымы жоғарылау және біршама төмен температура жағдайларында. Сондықтан ол басқа барлық сусыз сульфаттар сияқты магматогендік минерал ретінде магмалық және терең метаморфтық таужыныстарда кездеспейді.

Гидротермалық кенорындарда ол біршама кәдімгі минерал. Серігі ретінде көптеген сульфид, марганец (манганитті, браунитті), темір (сидеритті, гематитті) және басқа рудалар кенорындарында анықталады. Алтын-барит желілері белгілі. Таза дерлік барит, барит-кальцит, барит-флюорит желілері кездеседі, оларда кварцтың және сирек сульфидтердің (галенит, сфалерит, халькопирит, кейде киноварь және басқалар) шамалы қоспалары болады.

Барит шағын мөлшерде, негізінен конкрециялар түрінде *шөгінді* таужыныстарда да таралған, бірақ ангидрит, гипс пен целестинге қарағанда басқа жағдайларда. Мысалы, ол тұз кенорындарында ешқашан кездеспейді, әктастарда өте сирек, бірақ та шөгінді марганец (окись және карбонат рудаларында), темір кенорындарында, теңіз жағалауының сазды, құмды және басқа шөгінділерінде жиі анықталады. Бұл жағдай құрлықтан жер беті суы әкелетін еритін барий тұздары теңіз суындағы $[SO_4]^{2-}$ иондарымен бірінші кездескен кездің өзінде іс жүзінде ерімейтін барий сульфатын жасайды. Барит жалбырлары қазіргі теңіз ұйықтары арасында да кездеседі.

Таужыныстар мен руда кенорындарының *мору* белдемдерінде климаты құрғақ аудандарда мұқият зерттеулер кезінде бариттің көбінесе бағана кейіпті кристалдары гипспен және темір гидроокиселдерімен бірлестікте анықталады.

Барит – химиялық төзімді минерал, сондықтан элювийде көбінесе ірі сынықтарда, сондай-ақ шашылымдарды жуған кезде алынатын шлифтерде анықталады. Бірақ жақсы жіктілікке және төмен қаттылыққа ие минералдардың барлығы сияқты, шашылымдар жылыстаған сайын жылдам ұсталады да біртіндеп жойылып кетеді.

Россияда бариттің көптеген кенорындары ішінде тек *Белореченск* (Краснодар өлкесі) және *Жалаңкөл* (Қарашай-Черкес) гидротермалық кенорындарын ғана келтіреміз.

Батыс Грузияда бірқатар желілік барит кенорындары *Кутаиси*, *Болнис* және басқа аудандарда, туф пен эффузиялық таужыныстар (порфириттер) арасында бар. Симметриялы жолақ немесе колломорфты құрылысты тұтас барит массалары құрамында қоспалар түрінде болатындар: кальцит, өте аз мөлшерде кварц, кейде пирит, халькопирит және галенит. Маңғыстау түбегінде (Батыс Қазақстан) қоры бойынша ірі *Ауыртас* кенорнында шөгінді жаралымды барит әктастарда қалыңдығы 0,5 м болатын қабат жасап, үлкен алаңға 3 м тереңдікке дейін таралады. Түркіменстанда *Қарақала* ауданы кенорнында (Копетдаг тауларында) барит шөгінді таужыныстардағы (құмтас, сазды тақтатас және басқа) тұтас желілер легінен тұрады. Бірқатар желілерде (Арпаклен) барит витеритпен – $Ba[CO_3]$ бірлестікте болады, ол кей жерлерде барит бойынша псевдоморфты дамиды.

Ірі шетелдік барит кенорындарына Вестфалиядағы *Мегген* жатады (Германия). Мұнда ұзындығы орасан зор (7 км-ге дейін) қабат тәрізді жатын кей жерлерінде сульфиттер жатынымен сүйемелденеді (негізінен пирит), ортаңғы және жоғарғы девон шөгінділері аралығындағы шекарада орналасады. Бұл жатынның жаралу тегі әлі дәл анықталмаған. Бариттің әсем кристалдары мен раушандары Колорадодағы *Стоунхэмде* белгілі (АҚШ).

Практикалық мәні. Барит өнеркәсіптің түрлі салаларында кең қолданысқа ие болады.

1. Майда ұсатылған ұнтақ түрінде ауырлатқыш ретінде сазды ерітінділер құрамына кіріп, мұнайлы жатындарды бұрғылаған кезде газ атындыларымен күресу мақсатында және ұңғыма қабырғаларын бекіту үшін қопсық таужыныстарды цементтеуге пайдаланылады.

2. Химия өнеркәсібінде әр түрлі тұздар мен препараттар даярлау үшін шикізат болып табылады. Олар пиротехникада, тері илеуде (жүнді тазалайды), қант өндірісінде, фотоқағаздар даярлауда, керамикада эмаль өндірісінде, шағылыстыру коэффициенті жоғары болатын арнайы шыны балқытып алуға, медицинада және басқа салаларда пайдаланылады.

3. Резина және қағаз өнеркәсібінде толтырғыш және ауырлатқыш ретінде қолданылады.

4. Лак-бояу өнеркәсібінде жоғары сортты ағартқыш (ZnO және ZnS қоспаларымен), түсті бояулар және басқалар өндіру үшін тұтынылады.

5. Рентген лабораториялары қабырғаларын сылайтын ең негізгі құрамдас бөлігі ретінде жұмыскерлерді рентген сәулесінің зиянды әрекетінен қорғау мақсатында қолданылады.

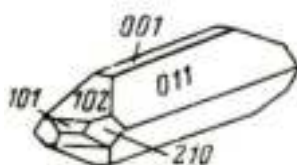
6. Металл барий кейбір радиошамдарды даярлау үшін қолданылады.

ЦЕЛЕСТИН – $Sr[SO_4]$. Латынша *celestis* – аспан (бұл минералдың алғаш табылған үлгілері нәзік-көк реңді болған). Біршама сирек кездеседі, бірақ стронций минералдары арасындағы ең бастысы.

Химиялық құрамы. SrO – 56,4 %, SO_3 – 43,6 %. Кейде құрамында Ca және Ba болады (көбінесе елеулі мөлшерде).

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pnma(D_{2h}^{16})$. $a_0=8,36$; $b_0=5,36$; $c_0=6,84$.

Кристалдық құрылымы барит құрылымына тікелей ұқсас. **Кристалдарының келбеті.** Кездесетін кристалдары барит кристалына өте ұқсайды. Әдетте тақташа, бағана немесе призма (234-сурет) келбетті. Көбінесе дербестілігі және тарашалануға бейімдігі байқалады. **Агрегаттары** көбінесе түйірлі, кейде сырықша, желі және қабықша тәрізді болады. Жалбырлар мен секрециялар түрінде кездеседі, мұнда бос қуыстарда кристалдар друзасы байқалады.



234-сурет. Целестин кристалы

Түсі. Целестин көкшіл ақ немесе көкшіл сұр түсті, кейде қызғылт немесе сарғыш реңді болады. Кейде түссіз, су-мөлдір кристалдары кездеседі. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше құлпырады. $N_g=1,631$; $N_m=1,624$; $N_p=1,622$. **Қаттылығы** 3-3,5. Морт. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік, {210} бойынша орташа және {010} бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,9-4.

Диагноздаушы белгілері. Түйірлі массаларда Mg, Ca, Sr, Ba және басқа карбонаттардан қышқылда өзін өзі ұстауы бойынша (карбонаттар қыздырып еріткен кезде CO_2 бөліп шығарады) ажыратылады. Түсі бойынша ангидритке ұқсайды, бірақ одан жіктілік бағыттары және үлкен меншікті салмағы бойынша айрықшалаанады. Бариттен көбінесе қиын ажыратылады. Стронцийге реакциясы өте тән.

Күшті H_2SO_4 қышқылында ериді. Ерітінді су қосқан кезде күңгірттенеді.

Жаралуы және кенорындары. Целестин біршама елеулі массаларда жалбырлар, ұялар, кейде тұтас жатындар түрінде шөгінді таужыныс қатқабаттарында (доломитте, әктаста, гипсті сазда, мергельде және басқаларда) кездеседі. Оның табылымдары көбінесе осы таужыныстар арасындағы белгілі бір горизонттарда орналасады.

Целестин және де теңіз организмдерінде, атап айтқанда радиолярияның бір тобы қаңқасының құрамында анықталған. Кейде ол аммонит жарғақтарында және басқа таснұсқаларда олардағы кейінгі түзілімдер нәтижесі ретінде кездеседі.

Бірақ та өте сирек болса да, целестиннің нағыз гидротермалық желілері де белгілі. Олардың құрамында галенит, сфалерит және басқа сульфидтер болады. Сондай-ақ эффузиялық таужыныстар бадамшаларында да байқалған.

Целестин секрециялар түрінде гипсті шөгінді таужыныстарда жиі кездеседі. Бұл таужыныстардың жасы пермь, олар Архангельск облысында (*Пинега* өзені алабында), Жоғарғы және Төменгі *Поволжьеде* сомтума күкіртпен бірге (Водинское), *Баиқортстанда*, *Оренбург* облысында және басқа жерлерде таралған. Табылымдар бар жердің елеулі саны Каспий маңында (Түркіменстандағы *Бейнеу-Қыр*, *Арық*), Маңғыстау түбегінде (*Унгозы*) және Орта Азияның басқа аудандарында белгілі.

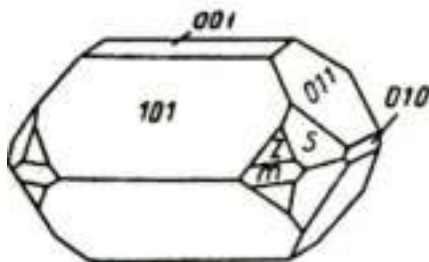
Шетел кенорындары ішінде целестиннің *Бристоль* (Англия), *Вестфалия* мен *Вальдек* (Германия) аудандарындағы ірі кенорындарды айтамыз.

Практикалық мәні. Целестин стронций тұздарының басты көзі болып табылады. Бұл тұздар пиротехникада (жарық кармин-қызыл жалын алу үшін) және химия өнеркәсібінде: қант (қанттың ұн массасын тазалау үшін стронцийдің окисі түрінде), шыны және керамика (құлпырмалы шыны, айрықша көкшіл кірпіштер даярлау үшін) және басқа өндірістерде қолданылады. Соңғы кезде стронций металл түрінде арнайы қорытпалар өндірісі үшін қолданыла бастады: мысалы мысқа қоспа ретінде оның беріктігі мен біркелкілігін арттыру мақсатында (мұнда оның электрөткізгіштігі төмендемейді).

АНГЛЕЗИТ – $Pb[SO_4]$. Алғаш Англези аралында (Уэльс) анықталған, оның атауы осылай таралған.

Химиялық құрамы, %: PbO – 73,6; (Pb – 68,3); SO_3 – 26,4. Әдетте қоспалардан таза. Құрамында CaO мол (8,45 %) түрлесі белгілі.

Сингониясы ромбылық. Симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pnma(D^{16}_{2h})$. $a_0=8,45$; $b_0=5,38$; $c_0=6,93$. **Кристалдық құрылымы** барит құрылымынан айнымайды. **Кристалдарының келбеті**. Англезит кристалдары көбінесе қырларының комбинациясына аса бай. Әдетте тақталанған келбетке ие (*235-сурет*), кейде қысқа бағаналы немесе пирамидалы. Ірі кристалдары жалпы сирек. **Агрегаттары**. Көбінесе кристалл қабыршақтары түрінде галенитте, ұсақ кристалдар друзасы, тығыз түйірлі немесе жер тәрізді массаларда кездеседі.



235-сурет. Англезит кристалы: $s\{232\}$, $m\{210\}$, $z\{211\}$.

Түсі. Түссіз және жиі су-мөлдір. Көбінесе сұр, сарғыш немесе қошқыл түске (темір гидроокиселдерімен) боялған. Кейде қара түс байқалады, ол ыдырамаған галениттің микроскоптық кірінділеріне байланысты. **Жылтырлығы** алмасша. $Ng=1,894$; $Nm=1,882$ және $Np=1,877$.

Қаттылығы 2,5-3. Аса морт. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша орташа, $\{210\}$ және $\{010\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 6,1-6,4.

Диагноздаушы белгілері. Англезитке жоғары меншікті салмақ, алмасша жылтырлық, тотыққан рудаларда галенитпен тығыз бірлестік тән.

Қойытылған H_2SO_4 қышқылында қыздырған кезде ғана ериді. Бірақ KOH қоспасында толық еріп кетеді (целестин мен бариттен айырмашылығы).

Жаралуы және кенорындары. Англезит галениттің және қорғасынның басқа күкіртті қосылыстарының қиын еритін өнімі ретінде негізінен қорғасын-мырыш сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде жаралады. Көбінесе табиғатта айтарлықтай кең таралған церусситпен – $Pb[CO_3]$ бірлестікте жиі кездеседі.

Микроскопта зерделеу көрсеткендей, англезит қорғасынның бірінші оттегі қосылысы болып табылады. Ол галенит тотыққанда жіктіліктің бағыттары бойында және шеттерінде мына реакция бойынша пайда болады: $PbS+O_4=PbSO_4$. Бірақ англезит көмірқышқыл ықпалынан өз кезегінде қорғасын карбонатына – церусситке ($Pb[CO_3]$) оңай өтеді. Осы минералдардың екеуі де суда жеңіл ерігіштігіне байланысты, әдетте тұтас галенит кесегінің төңірегінде ақ қабықша жасап, ары қарай галениттің орталық бөлігін тотығудан сақтайды. Күкірт қышқылын ішкі қабырғасы металл қорғасынмен көмкерілген құтыда сақтау осы қасиетіне негізделген: жаралатын ерімейтін жұқа $PbSO_4$ қабықшасының тығыз болатындығы

сондай, ол қорғасынның ары қарай сульфатқа айналуына жол бермейді. Сырттай қарағанда тұтас тотыққан сияқты қорғасын рудаларының сопақша ақ жалбырларын сындырған кезде олардың орталық бөліктерінде көбінесе тұтас галенит сақталатыны осымен түсіндіріледі.

Сондай-ақ қорғасынның жалпы мөлшері тотығу белдемдерінде бастапқы сульфид рудалардағыдан әрдайым жоғары болатыны да тән. Бұл жағдай мынаған байланысты: галениттің тұрақты серігі - сфалерит және мыс сульфидтері тотыққан кезде оңай еритін сульфаттарға өтеді де шығып кетеді, осының есебінен тотыққан қорғасын рудаларының баюы орын алады.

Англезит *гидротермалық* жолмен де жарала алады, бірақ айрықша жағдайларда ғана. Тамаша жаралған, көбінесе біршама ірі кристалдар түрінде ол қорғасын-мырыш кенорында да кездеседі. Мұндай рудалардың түзілуі минералдар парагенезисіне және минералдық агрегаттар формаларына қарайтын болсақ, олар жер беті маңына жақын белдемдерде жаралуы мүмкін (оттекке байыған судың араласуынан болуы ықтимал). Мысалы Каринтиядағы Райбл және Бляйберг кенорындары (Шығыс Альпі) осындай, мұнда англезит кристалдары бос қуыстарда тотығуға ұшырамаған Fe, Zn және Pb сульфидтерімен қатар кездеседі.

Англезит біршама мөлшерде құрамында галенит бар барлық сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде әрдайым анықталады. Оларға толық тоқталмаймыз. Тек біздің әдебиетте хатталған жақсы кристалдардың мына кенорындарда бар екенін көрсетеміз: *Березевск* алтын кені (Орал), бірқатар алтайлық, нерчинсклік (Шығыс Забайкалье) және басқалар.

Практикалық мәні. Қорғасын кенорындарының тотығу белдемдерін өндірген кезде англезит басқа оттекті қорғасын қосылыстарымен бірге балқытуға жөнелтіледі.

Қорытындылау. Барит тобы минералдарының ең басқа айрықша қасиеттерінің қорытындысын жасайық, мұнда ангидрит те кіреді. 12-кестеде келтірілген деректерден көретініміз, қорғасын сульфаты өздерінің қасиеттері бойынша басқа осындай металдар сульфаттарынан күшті айрықшаланады. Ол табиғатта жаралу жағдайлары бойынша да айтарлықтай өзгеше. Ca, Sr және Ba сульфаттары бір-бірінен меншікті салмағы және сыну коэффициенттері бойынша елеулі айрықшаланады.

12-кесте. Барит тобы минералдарының басты қасиеттері

Минерал	Қаттылығы	Мен.сал мағы	Түсі	Жылтырлығы	<i>Ng</i>	<i>Nm</i>	<i>Np</i>
Ангидрит - CaSO ₄	3-3,5	2,9	Ақ	Шыныша	1,614	1,576	1,571
Целестин - SrSO ₄	3-3,5	3,9	Көгілді	Шыныша	1,631	1,624	1,622
			р				
Барит - BaSO ₄	3-3,5	4,5	Ақ	Шыныша	1,648	1,637	1,636
Англезит - PbSO ₄	2,5-3	6,3	Ақ	Алмасша	1,894	1,882	1,877

2. Ангидрит және гипс

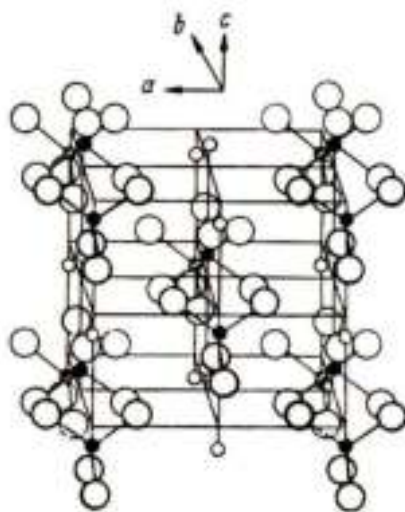
Осы екі минерал да физикалық және химиялық қасиеттері бойынша сусыз және сулы сульфидтер арасында ерекше тұрады, бірақ бір-бірімен

орналасу және жаралу жағдайлары бойынша тығыз байланысты. Сондықтан біз оларды бірге сипаттаймыз. Жасанды жолмен оңай алынатын кальцийдің шалагидраты деп аталатын (*бассанит*) қосылыс та табиғи жағдайларда анықталған, бірақ сирек минерал болып табылады.

АНГИДРИТ – $\text{Ca}[\text{SO}_4]$. Минералдардың атауы (грекше «сусыз») оның құрамында гипстен айырмашылығы, судың жоқ екендігін көрсетеді.

Химиялық құрамы: CaO – 41,2 %; SO_3 – 58,8 %. Қоспалар түрінде стронций біршама жиі болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Стст(D_{2h}^{17})$. $a_0=6,94$; $b_0=6,97$; $c_0=6,20$. **Кристалдық құрылымы** 236-237-суреттерде бейнеленген, ал құрылым моделі – 238-суретте. S^{6+} иондары O^{2-} тетраэдр топтарының орталығында орналасса, ал әр Ca^{2+} ионы оттегі иондарымен сегіз еселене қоршалып жатады. Оған тәні, a және b өлшемдері элементар ұяшықта бірдей дерлік. Бірақ құрылым c осі бойынша жалған тетрагондық деп санала алмайды, өйткені иондардың (010) жазықтығында орналасуы 237-суретте сол жағында, және (100) жазықтығында – байқаушыға жақын, бірдей емес. (010) жағы центрленген, ал (100) жағына келсек, Ca^{2+} және $[\text{SO}_4]^{2-}$ иондары көлбеу қатарлар жасамайды. **Кристалдарының келбеті** қалың тақталанған немесе призмалық (239-сурет). Жақсы жаралған кристалдары сирек. **Агрегаттары.** Әдетте тұтас түйірлі массаларда, кейде сырықша агрегаттарда байқалады.

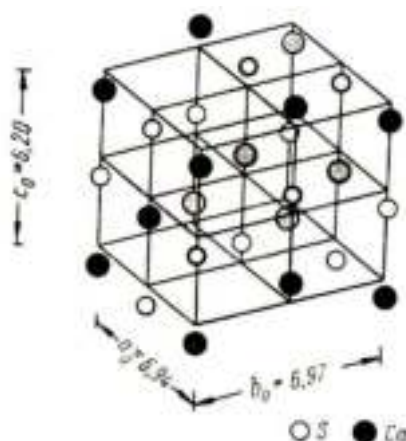


236-сурет. Ангидриттің кристалдық құрылымы

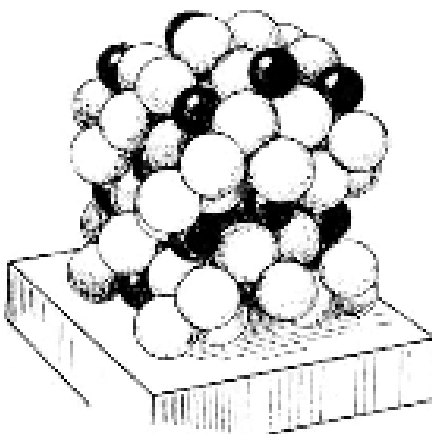
Түсі. Ангидрит ақ түсті, көбінесе көкшіл, күлгін, сұрғылт, кейде қызғылт реңді. Түссіз мөлдір кристалдары кездеседі. **Жылтырлығы** шыныша, жіктіліктің (010) жазықтықтарында інжуше құлпырымды. Әсіресе ол үлгілерді қыздырғанда білінеді. $Ng=1,614$; $Nm=1,576$ және $Np=1,571$.

Қаттылығы 3-3,5. Жіктілігі (010) бойынша жетік, {100} және {001} бойынша орташа. Кристалдардан осы үш өзара перпендикуляр бағыт бойынша куб сынықтары жеңіл жаралады. **Мен. салмағы** 2,8-3 (мөлдір түрлестері үшін 2,96). **Басқа қасиеттері.** Атмосфералық қысым кезінде су

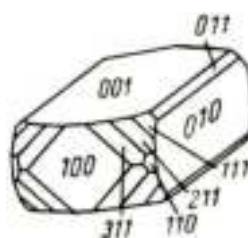
болғанда біртіндеп гипске айналып, көлемі күрт артады (30 % шамасына дейін). Сыртқы қысым артқан сайын бұл айналу қиындайды.



237-сурет. Ангидрит кристалл құрылымында күкірт пен кальций иондарының орналасуы кальциттің боялған дөңгелекше иондары *238-суретте* көрінетін кальций иондарына сәйкес келеді.



238-сурет. Ангидрит кристалл құрылымы моделі *237-суретте* көрсетілген бағдарлануында (кальций катиондарының орташа жағдайы)



239-сурет. Ангидрит кристалы

Диагноздаушы белгілері. Ангидрит қарастырылып отырған топтағы басқа сульфидтерден ең аз меншікті салмағымен және жіктілік жазықтықтары бағытымен, сондай-ақ оптикалық қасиеттерімен (әсіресе қосынуы бойынша) айрықшалаынады. Мәрмәрленген карбонат массаларынан (кальциттен, доломиттен, магнезиттен) қышқылдар әрекет еткенде CO_2 бөліп шығармайтындығымен айрықшалаынады. Гипстен қаттылығы бойынша (тырнақпен тырналмайды) ажыратылады.

Ұнтақ тәрізді күйде H_2SO_4 қышқылында ериді. Мұнда сусыз Ba, Sr және Pb сульфаттарынан айырмашылығы ерітінді оған суды баяу қосқанда лайланбайды. HCl ерітіндісінде шамалы ериді.

Жаралуы және кенорындары. Ангидриттің орасан зор массалары шөгінді таужыныс қатқабаттарында кездеседі. Химиялық шөгінділер өнімі ретінде (лагуналарда және кеуіп бара жатқан теңіз алаптарында) ангидрит әрдайым дерлік гипспен сүйемелденеді. Ол гипске біршама жеңіл өтеді ангидрит қабаттары жер бетіне шыққан кезде. Анықталғандай, бұл өту көптеген бұрғылау ұңғымалары мен кен үңгімелері деректері бойынша жер бетінен 100-150 м тереңдікке дейін орын алады (одан төмен ангидрит массалары кетеді). Мұнан көрінетіні, айтарлықтай тереңдікте үстінде жатқан таужыныстар қысымы жоғары болатыны сондайлық, мұндай жағдайларда таужыныс массасының көлемі ангидриттің сулы сульфатқа – гипске өтуімен сүйемелденетіндей ұлғая алмайды.

Ангидрит тұз кенорындарында жекелеген кристалдар түрінде де, қабаттар мен қабатшалар түрінде де, кейде өте жұқа (қалыңдығы қағаздың парағындай) галит, сильвин, карналлит және басқалардың қабаттасуы түрінде өте жиі кездеседі.

Ол кейбір желілік *гидротермалық* кенорындарда біршама сирек кездесе, ал кейде жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда да кездеседі. Ангидриттің жанартау әрекет ететін аудандарда лава арасындағы бос қуыстардағы табылымдарын да айта кету керек.

Гипсті аудандарда анықталатын қалың ангидрит қатқабаттары бастапқыда тұзтұнба алаптардағы гипс қабаттарының үстінде жатқан таужыныстардың үлкен қысымы ықпалынан сусыздануы арқылы жаралған болуы аса ықтимал. Бірақ тереңдеу метаморфтық таужыныстардағы ангидрит, басқа да сульфаттар сияқты тіпті болмайды.

Постмагмалық ангидрит цеолиттермен, пренитпен, апофиллитпен және гипспен бірге *Талнахтың* габбро-долеритінде гидротермалық минералданған қуыстарында кездеседі (Красноярск өлкесіндегі Норильск кенорындар тобы). Ангидриттің ірі жатындары тереңде жасы пермь гипсті қатқабаттарда Батыс Приуральенің барлық бойында, Архангельск, Вологодск, Самара, Нижегород облыстарында және басқа жерлерде таралған.

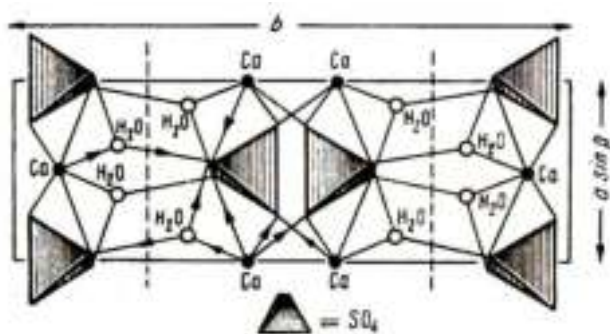
Практикалық мәні. Ангидрит, гипс сияқты негізінен байланыстырушы материалдар (цемент) өндірісінде пайдаланылады. Тығыз майдакристалды түрлестері одан басқа әр түрлі әшекей бұйымдар жасау үшін тұтынылады.

ГИПС – $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$. Гипс – минералдардың көне грекше атауы.

Химиялық құрамы, %: CaO – 32,5; SO_3 – 46,6; H_2O – 20,9. Әдетте таза. Механикалық қоспалар түрінде кейде сульфидтер және басқалар болады.

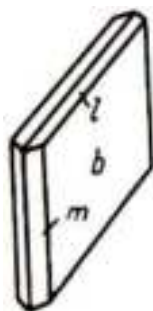
Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $A2/h(C^6_{2h})$. $a_0=10,47$; $b_0=15,12$; $c_0=6,28$; $\beta=98^{\circ}58'$. **Кристалдық құрылымы.** Рентгенметрия деректеріне сәйкес, бұл минералдың айқын қабатты құрылысы көрінеді. Ca^{2+} иондарымен тығыз

байланысқан $[\text{SO}_4]^{2-}$ аниондар тобының екі парағы (010) жазықтығы бойымен бағдарланған екі еселенген қабаттар құрайды (240-сурет). Бұл қабаттар суретте сызба жазықтығына перпендикуляр орналасады да тік бағытта өтеді (шегаралық сызықтары пунктирмен көрсетілген). H_2O молекулалары көрсетілген екі еселенген қабаттар аралығында орын алады. Гипске өте тән болатын аса жетік жіктілік осымен жеңіл түсіндіріледі. Кальцийдің әр ионы SO_4 топтарына жататын оттектің алты ионымен және судың екі молекуласымен қоршалған. Судың әр ионы Ca ионын сол екі еселенген қабаттағы оттектің бір ионымен және көрші қабаттағы оттектің басқа ионымен байланыстырады (240-суретте).



240-сурет. Гипс кристалл құрылымының c осіне перпендикуляр жазықтықтағы проекциясы. Пунктир сызықтар – жіктілік бағыттары

Кристалдарының келбеті. Кристалдары $\{010\}$ жақтарының басым дамуына байланысты тақталған (241-сурет), кейде бағаналық немесе призмалық келбетке ие болады. Призмалардан $\{110\}$ және $\{111\}$ жақтары өте жиі, кейде $\{120\}$ және басқалар кездеседі. $\{110\}$ және $\{010\}$ жақтары жиі тік айғызды болады. Кірігу қосақтары жиі және үш типті болады: 1) (100) бойынша галлдық; 2) (101) бойынша париждік және 3) (209) бойынша. Оларды бір-бірінен ажырату әрдайым жеңіл болмайды. Алғашқы екі тип қарлығаш қанатын еске салады (242-сурет). Галл қосақтары (243-сурет) мынасымен сипатталады – призма қырлары $m\{110\}$ қосақ жазықтығына параллель орналасады, ал призма қырлары $l\{111\}$ кірінді бұрыш жасайды, ал енді париш қосақтарында призма қырлары $l\{111\}$ қосақ жымына параллель болады (244-сурет). **Агрегаттары.** Қуыстарда кристалдар друзасы түрінде кездеседі. Тығыз майда кристалды агрегаттары әдеттегідей. Жарықшақтарда кейде гипстің асбест тәрізді жібекше құлпырған параллель-талшықты массалары байқалады және талшықтары жарықшақтар қабырғасына перпендикуляр орналасады. Оралда мұндай гипс селенит деп аталады. Гипс қопсық құм массаларында кристалданған жағдайларда ол өзінің ортасында көптеген тартып алған құм түйіршіктерінен тұрады, олар ірі кристалл дарактардың жіктілік жазықтықтарында айқын білінеді (репетек гипсі деп аталады).



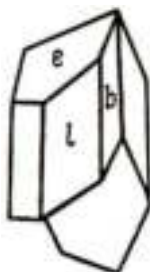
241-сурет. Гипстің қалақша кристалы: $b\{010\}$, $l\{111\}$, $m\{110\}$



242-сурет. «Қарлығаш құйрығы» - гипстің мөлдір қосағы



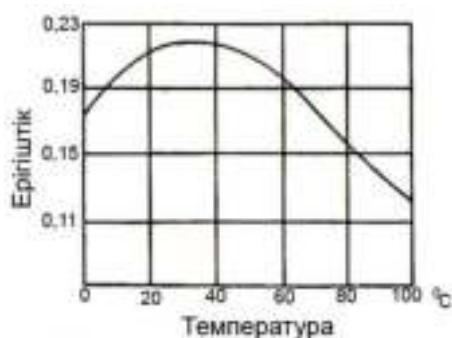
243-сурет. Галл кірігу қосағы (100) бойынша: $m\{110\}$, $l\{111\}$, $b\{010\}$



244-сурет. Париж кірігу қосағы (101) бойынша: $l\{111\}$, $b\{010\}$, $e\{103\}$

Түсі. Гипс ақ түсті. Жекелеген кристалдары көбінесе судай мөлдір және түссіз. Сұр, бал-сары, қызыл, қошқыл және қара түске боялғандары да кездеседі (кристалданған кезде қосып алынған қоспалар түсіне байланысты). **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше құлпырымды. $N_g=1,530$, $N_m=1,528$ және $N_p=1,520$.

Қаттылығы 2 (тырнақпен сызылады). Аса морт. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша аса жетік, $\{100\}$ және $\{011\}$ бойынша айқын; жіктілік сынықтары ромб пішінді болады, бұрыштары 66° және 114° . **Мен. салмағы** 2,3. **Басқа қасиеттері.** Суда айтарлықтай ерігіштікке ие. Гипстің тамаша қасиеттеріне оның температура көтерілгенде ерігіштік максимумы $37-38^\circ\text{C}$ -та жететіні, ал содан кейін біршама жылдам төмендейтіні жатады (245-сурет). Ерігіштігінің ең көп төмендеуі 107°C -тан жоғары температурада шалагидрат – $\text{Ca}[\text{SO}_4]\cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ жаралуы салдарынан болады.



245-сурет. Гипс ерігіштігінің температураға тәуелділігі

Термограмма көрсеткендей, атмосфералық сыртқы қысым жағдайларында қыздырған кезде, гипс 80-90⁰С кезде суды жоғалта бастайды да 120-140⁰С кезінде толығымен шалагидратқа өтіп модельдік немесе сылақтық гипс (алебастр) деп аталады. Бұл шалагипс сумен сұйық қамырға араластырғаннан кейін жылдам қатайды, ұлғаяды да жылу бөледі.

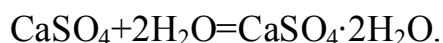
Диагноздаушы белгілері. Кристалл гипске {010} бойынша аса жетік жіктілік және төмен қаттылық (тырнақпен сызылады) тән. Тығыз мәрмәр тәрізді агрегаттары және талшық массалары төмен қаттылығы және HCl қышқылына батырғанда CO₂ көпіршіктерінің бөлініп шықпайтыны тән.

H₂SO₄ қосылған суда таза судағыға қарағанда әлдеқайда жақсы ериді. Бірақ H₂SO₄ концентрациясы 75 г/л шамасынан асқанда ерігіштігі күрт төмендейді. HCl қышқылында өте аз ериді.

Жаралуы және кенорындары. Гипс табиғи жағдайларда түрлі жолдармен жаралады.

1. Ол елеулі массаларда *шөгінді* жолмен көлдің және теңіздің кеуіп бара жатқан тұзтұнба алаптарында түзіледі. Мұнда гипс NaCl-мен қатар буланудың тек бастапқы сатыларында ғана бөліне алады, басқа еріген тұздар концентрациясы әлі жоғары болмаған кезде. Тұздар концентрациясы белгілі бір мәнге жеткен кезде, атап айтқанда NaCl мен әсіресе MgCl₂ жоғары болғанда, гипстің орнына ангидрит кристалданатын болады, ал содан кейін басқа ерігіштігі жоғарылау тұздар тұнады. Мұнан шығатыны, гипс мұндай алаптарда бастапқы химиялық тұнбалар қатарына жатуы тиіс. Және шын мәнінде, көптеген тұз кенорындарында гипс қабаттары (ангидриттің де) тастұз қабаттарымен қабаттасады да жатындардың төменгі бөліктерінде орналасады және бірқатар жағдайларда тек химиялық тұнба әктаспен ғана астасады.

2. Гипстің аса елеулі массалары ангидриттің *гидратациясы* нәтижесінде шөгінді түзілімдерде жер беті суы әрекетінің ықпалынан төмендеген сыртқы қысым жағдайларында (орташа алғанда 100-150 м тереңдікке дейін) мына реакция бойынша пайда болады:



Мұнда көлемнің күшті артуы орын алады (30 % шамасына дейін) және осыған байланысты гипсті қатқабаттар жатқан жағдайларда көптеген және

күрделі жергілікті бұзылыстар болады. Осындай жолмен жер шарында гипстің ірі кенорындарының көпшілігі пайда болған. Тұтас гипс массалары арасындағы бос қуыстарда кейде ірі кристалды ұялар кездеседі, олардың ішінде мөлдір кристалдар («шпат гипс») болады.

3. Гипс шөлейт және шөл жерлерде құрамы бойынша санқилы таужыныстардың *тотығу қыртысында* желішіктер мен жалбырлар түрінде өте жиі кездеседі. Көбінесе және де әктастарда оларға күкірт қышқылына немесе еріген сульфидтерге қаныққан судың әрекетінен жаралады. Ақыр соңында, сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде кездеседі, бірақ солай болатын шығар деп күткенімізбен, оншалықты көп мөлшерде емес. Оның мәнісі мынада, басым көпшілік жағдайларда сульфид рудаларда белгілі бір мөлшерде пирит немесе пирротин болады, олардың тотығуы (әсіресе пириттің) жер беті суындағы күкірт қышқылының мөлшерін елеулі арттырады. Ал судың қышқылдануы болса гипстің ерігіштігін айтарлықтай арттырады. Сондықтан бірқатар кенорындарда гипс бастапқы руда белдемдерінің жоғарғы бөліктерінде біршама кәдімгі болып саналады, мұнда ол жарықшақтарда басқа сульфидтермен бірге кездеседі.

4. Гипс төмен қысым мен температура жағдайларында жаралған сульфид кенорындарында нағыз *гидротермалық* минерал ретінде байқалады. Мұндай кенорындарда ол кейде бос қуыстарда ірі кристалдар түрінде байқалып, құрамында халькопирит, пирит, сфалерит және басқа минералдар болады.

Гипстің кальцит, арагонит, малахит, кварц және басқа минералдар бойынша псевдоморфозалары гипстің басқа минералдар бойынша псевдоморфозалары сияқты көп дүркін анықталған болатын.

Эндогендік (гидротермалық) гипстің сирек мысалы ретінде мөлдір монокристалл массалары бола алады, олар *Талнах* кенорны габброидтары қуыстарында цеолит кристалдары щеткасы үстіне өседі (Норильск тобы, Красноярск өлкесі).

Гипстің шөгінді кенорындары барша жер шары бойынша таралған және жасы әр түрлі түзілімдерде орналасқан. Оларды тізбелеп отырудың қажеті шамалы. Тек Россия аумағында жасы пермьдік қалың гипсті қатқабаттардың Батыс Приуральеде, Башкирияда және Татарстанда, Архангельск, Вологодск, Нижегородск және басқа облыстарда таралғанын ғана көрсетеміз. Жасы соңғы юра болатын көптеген кенорындар Солтүстік Кавказда, Дағстанда, Түркіменстанда, Тәжікстанда, Өзбекстанда және басқа жерлерде анықталады.

Практикалық мәні орасан, әсіресе құрылыс ісінде.

1. Модельдік немесе жапсырма гипс (шала күйдірілген) құймалар, гипс бұйымдар, жапсырма әшекей боғаттар, төбе мен қабырға сылағын, хирургияда, қағаз өндірісінде қағаздың тығыз ақ сорттарын алу үшін және басқа салаларда қолданылады. Құрылыс ісінде ол кірпіш және тас қаластырғанда цемент ретінде, жылы едендер үшін, кірпіштер даярлауда, терезе алды тақташалары ретінде және басқаларда тұтынылады.

2. Шикізат (табиғи) гипс негізінен цемент өнеркәсібінде портландцементке қоспа ретінде, мүсіндер жасайтын материал, әр түрлі бұйымдар (әсіресе Орал селениті), бояу, эмаль, көкшіл бояу өндірісінде, тотыққан никель рудасын металлургиялық өңдеу кезінде және басқаларда қолданыс табады.

3. Сілті металдар сульфаттары

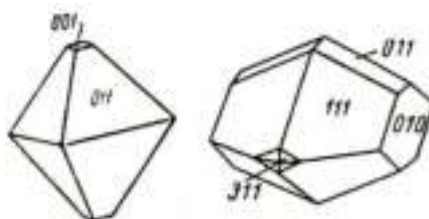
Біз мұнда натрийдің сусыз және сулы сульфаттарынан (тенардит пен мирабилиттен) басқа және де сілтіжер металды қос тұздарын (полигалит және каинит) сипаттаймыз.

ТЕНАРДИТ – $\text{Na}_2[\text{SO}_4]$. **Химиялық құрамы:** Na_2O – 43,7 %; SO_3 – 56,3 %. Кейде құрамында шамалы мөлшерде K_2O , ал механикалық қоспалар түрінде – CaSO_4 болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Fddd(D_{2h}^{24})$. $a_0=9,75$; $b_0=12,29$; $c_0=5,85$. Кристалдары дипирамидалық келбетке ие (246-сурет), кейде пинакоид $\{001\}$ мен призма $\{101\}$ дамуына байланысты тақталған болады. Қосақтары жиі (246-суретте). Көбінесе друзаларда немесе түйірлі агрегаттарда байқалады.

Түсі. Түссіз, мөлдір, кейде қызғылт реңді. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,485$; $N_m=1,474$ және $N_p=1,464$.

Қаттылығы 2-3. Морт. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша жетік, $\{101\}$ бойынша айқын және $\{100\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 2,66. **Басқа қасиеттері.** Суда ериді. Аса қаныққан ерітінділерден (таза суда) тек $32,5^\circ\text{C}$ -тан жоғары температура кезінде ғана тұнады. Одан төмен температура жағдайларында мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ кристалданады. Сондықтан бөлме температурасында ылғал ауа жағдайында тенардит гидратацияға ұшырайды да натрий сулы сульфатының ақ қабыршағымен көмкеріледі. Уақыт өте келе ұнтаққа ыдырайды.



246-сурет. Тенардиттің дипирамида кристалы және қосағы

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарда онымен бірлестіктегі минералдардан (мирабилиттен, астраханиттен және басқалардан) сингониясы бойынша, ал түйірлі агрегаттарда – химиялық реакциясы бойынша ажыратылады.

Суда оңай ериді. Дәмі тұздылау.

Жаралуы мен кенорындары. Кейбір кебірсіген тұзтұнба көлдерде жаралып, Na және SO_4 иондарына аса қаныққан рападан тікелей кристалдар түрінде тұнады. Сондай-ақ мирабилиттің дегидратация (сусыздану) жолымен пайда болады, мысалы оның дауылдар кезінде жағаға лақтырылған судың

жоғарғы қабатында (Каспий теңізінде) немесе қазба натрий сульфаты жатындарында (яғни бұрынғы жаралымдарда), және де ыстық шөл жерлерде.

Россияда *Эльтон* көлі тұнбаларында байқалады (Төменгі Поволжье).

Фумарола әрекеті өнімі ретінде кейбір жанартаулы аудандарда (Везувий) кездеседі.

Жасы плиоцендік шөгінділерде қазба тенардит ірі *Кюрен-Даг* кенорнында орналасқан (Азун-Су бекеті, Закаспий). Мирабилитпен бірге құм-саз түзілімдерде линзалар түрінде жатады. Сондай-ақ Құлынды даласының қазіргі көлдерінде (Солтүстік-Шығыс Қазақстан), Каспий теңізінің солтүстігінде (*Шаша көлі* және басқалар), Шемаха ауданында (Закавказье) және басқа жерлерде.

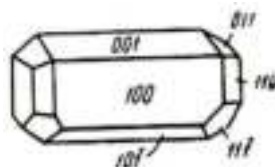
Практикалық мәні. Мирабилитпен бірге өндіріледі де шыны, сода және басқа өндірістерде қолданылады.

МИРАБИЛИТ – $\text{Na}_2[\text{SO}_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Көне атауы: *sal mirabile Glauberi* (керемет Глаубер тұзы). Синонимі: глаубер тұзы.

Химиялық құрамы, %: Na_2O –19,3; SO_3 –24,8; H_2O –55,9. Кристалдану суының молдығымен минералдың көптеген қасиеттері байланысты.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кристалдары *b* осі немесе *c* осі бойынша қысқа бағаналы келбетке ие (247-сурет). Әдетте тұтас түйірлі агрегаттар, сондай-ақ қабыршақ және жұғындылар түрінде кездеседі.

Түсі. Түссіз және мөлдір, бірақ кейде күңгірт, ақ сарғыш, көкшіл немесе жасылтым реңді. **Жылтырлығы** шыныша. Шағылыстыру көрсеткіші өте төмен: $N_g=1,398$; $N_m=1,396$ және $N_p=1,394$.



247-сурет. Мирабилит кристалы

Қаттылығы 1,5-2. Аса морт. **Жіктілігі** $\{100\}$ бойынша жетік. **Омырылымы** басқа бағыттар бойынша ұлуша. **Мен. салмағы** 1,48. **Басқа қасиеттері.** Құрғақ ауада біртіндеп барлық суын жоғалтады да тенардитке айналып, ақ ұнтақ зат болады. Салқындататын шамалы ащы-тұзды дәмге ие.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдық құрылымында байланысқан H_2O молекулаларына бай минерал ретінде барлық оңай еритін сулы сульфаттар мен хлоридтер ішінде ең аз меншікті салмаққа және ең төмен шағылыстыру көрсеткіштерге ие. Содадан ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) HCl әрекет еткенде көмірқышқыл бөліп шығармайтындығымен айрықшаланады. 32°C -тан жоғары қыздырған кезде балқиды, дәлірек айтқанда өзінің кристалдық суында ериді.

Жаралуы және кенорындары. Үлкен массаларда натрийге және сульфат аниондарына қаныққан тұзды көлдерде су 33°C -тан төмен температурада буланған кезде (егер ерітіндіде басқа еритін тұздар жоқ

болғанда), немесе күз және қыс уақытында төмендеген кезде жаралады. Егер судың булануы осындай құрамды ерітінді үшін 33°C -тан жоғарылау температурада жүретін болса, онда натрийдің сусыз сульфаты – тенардит кристалданатын болады. Тұзды көлдерде әрдайым дерлік болатын хлорлы натрий болғанда тенардит судың булану процесінде төмендеу температурада тұнады.

Солтүстік Прикаспийдің, Солтүстік-Шығыс Қазақстанның (Құлынды даласы), Солтүстік Кавказдың (Ставропольдің оңтүстігіне қарай), Закавказьенің, Қырымның және басқа жерлердің көптеген ұсақ кепкен көлдері құрамында мирабилиттің тенардитпен, галит қабаттарымен, кейде гипспен және басқалармен бірге үлкен массалары болады. Қара-Боғаз-гол шығанағында (Каспий теңізі) судың температурасы 6°C -тан төмен түскен қыс айларында су түбіне орасан зор мөлшерде мирабилит тұнады, оны дауыл толқындары жағаға айдап шыққанда тұздың ақ үймектері жаралады. Жаз уақытында мирабилит шығанақтың өзінде қайта ерітіндіге өтеді, ал жағаға шығарылған қабаттың жоғарғы жағы сусызданады да тенардитке айналады.

Құрамында мирабилит бар шетел кенорындары ішінде Үлкен Тұзды көлді (Солт-Лэйк) Юта штатындағы (АҚШ), Мексика мен Аргентина көлдерін атаймыз.

Практикалық мәні. Негізінен Леблан тәсілі бойынша (эктаспен және көмірмен бірге балқыту арқылы) сода даярлау үшін, сондай-ақ шыны, бояу және басқа өнеркәсіп салаларында пайдаланылады. Медицинада ішті босататын дәрі ретінде қолданылады.

ПОЛИГАЛИТ – $\text{K}_2\text{MgCa}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Сингониясы** триклиндік, симметрия түрі пинакоидтық *C*. Кристалдары сирек, әдетте тақташа пішінді. Тығыз талшықты, сырықша агрегаттарда байқалады.

Түсі ақ сұрғылт немесе сарғыш реңді, сондай-ақ кірпіш-қызыл. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,567$; $N_m=1,562$; $N_p=1,548$.

Қаттылығы 2,5-3. **Жіктілігі** $\{101\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,72-2,78. Mg, K және Ca элементтеріне бай тұздықтан температураның біршама кең диапазонында: $0-80^{\circ}\text{C}$ аралығында жаралады. Штассфурт ауданы кенорындарында ангидритті және кизеритті аралығында орналасатын ерекше «полигалит ярусын» құрайды. Кейде галиттің жұқа қабаттарымен қабаттасады. Сондай-ақ Ишл, Халльштадт тұз жатындарында (Австрия), Техаста, Нью-Мексикода (АҚШ) және басқа жерлерде кездеседі.

Калий тұзы ретінде жасанды тыңайтқыштар өндірісіне кетеді.

КАИНИТ – $\text{KMg}[\text{SO}_4]\text{Cl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ немесе $\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. **Сингониясы** моноклиндік, симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. $a_0=19,76$; $b_0=16,26$; $c_0=9,57$. Тығыз түйірлі массаларда әдеттегі. Сирек кездесетін кристалдары тақташа немесе призмалық келбетке ие.

Түсі сарғыш немесе сұрғылт-ақ, кейде қызыл. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,516$, $N_m=1,505$ және $N_p=1,494$. **Қаттылығы** 2. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,1.

Суда онай ериді. Дәмі ащы-тұзды. Су тартпайды (карналлиттен айырмашылығы).

Штассфурт тұз кенорындарында шенитпен $K_2Mg[SO_4]_2 \cdot 6H_2O$, карналитпен, кизеритпен, галитпен және басқалармен бірлестікте таралған. Айтарлықтай массаларда *Калуи* маңында (Батыс Украина) кездеседі.

Практикалық мәнге жасанды тыңайтқыштар алу үшін және калий тұзы өндірісінде шикізат ретінде ие.

4. Эквивалентті металдардың сулы сульфаттары

Мұнда біз кейбіреулерін, негізінен H_2O -ға бай магний, темір және мыс сульфаттарын қарастырамыз.

ЭПСОМИТ – $Mg[SO_4] \cdot 7H_2O$. Атауы Англиядағы Эпсом минералды бұлақтары бойынша берілген. Синонимі: ащы тұз.

Химиялық құрамы, %: MgO – 16,3; SO_3 – 32,5; H_2O – 51,2. Кейде изоморфты қоспалар түрінде Mn^{2+} және Fe^{3+} болады. Екі валентті темірге (Fe-эпсомит), сондай-ақ никельге (Ni-эпсомит) біршама бай түрлестері анықталған.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-тетраэдрлік $3L^2$. Кеңістіктік тобы $P2_12_1(D^4_2)$. $a_0=11,94$; $b_0=12,13$; $c_0=6,865$. Жасанды жолмен және де аз орнықты моноклиндік модификациясы псевдогексагондық тақташалар түріне алынуы мүмкін. Тұздықтан жаралатын кристалдары псевдотетрагон призма (*248-сурет*) немесе ине келбетті болады. Сондай-ақ тығыз сауыс, кейде жер тәрізді агрегаттарда кездеседі.



248-сурет. Эпсомит кристалы

Түсі ақ; кейде түссіз және мөлдір. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,461$; $N_m=1,455$; $N_p=1,433$.

Қаттылығы 2-2,5. Аса морт. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша аса жетік, $\{101\}$ бойынша айқын. **Мен. салмағы** 1,68. **Басқа қасиеттері.** Дәмі ащы, тұздылау. Құрғақ ауада біртіндеп суын жоғалтады да лайланады. Сусыздану (дегидратация) секірісті жүреді: температура $100^{\circ}C$ шамасы болған кезде судың бес молекуласын жоғалтады, алтыншысы $132^{\circ}C$ кезінде кетеді, ал соңғысы – $218-238^{\circ}C$ кезінде. Құрғақ ауада бір H_2O молекуласын жоғалтады да алтысулы магний сульфатына өтеді.

Диагноздаушы белгілері. Қасиеттері бойынша көптеген құрамы күрделілеу басқа сулы сульфаттарға ұқсас, олардан эпсомитті тек химиялық жолмен ғана ажыратуға болады. Ащы тұздылау дәм тән.

Қыздырған кезде су бөліп шығарады. Қыздырған кезде балқымайтын ақ масса береді. Суда оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Эпсомит рапа кебірсіген кезде магнийге бай тұзды көлдерде уақыты бойынша суға ең бай магний сульфаттарының алғашқыларының бірі болып тұнады. Рапаның қоюлануы барысында магнийдің жетісулы сульфаты жылдам орнықсызға айналып, алты сулы магний сульфаты гексагидратқа ($Mg[SO_4] \cdot 6H_2O$) орнын береді.

Таужыныстар бетінде таңдақтар түрінде, үңгір қабырғаларында әктілі таужыныстарда қабыршақтар, шаш немесе ине кристалдар түрінде, көне кен үңгімелерінде және басқа жер беті маңы қуыстарында кездеседі. Олардың жер бетінен сіңетін магнийлі-сульфатты судың кристалдануы нәтижесі екені көрінеді.

Эпсомит кристалл тұнбалар түрінде магнийлі-сульфатты тұзды көлдерде өте жиі жаралады. Мысалы Төменгі Волга көлдерінің көбі: *Эльтон, Джелонск, Малиновск* және басқалар осындай, кейбір Қырым көлдері (*Сасық-Сиваш* және басқа), Қазақстан көлдері (мысалы, *Жаман Қылыш* – Арал теңізінің солтүстік шетінде) және басқа жерлерде. Мұндай көлдер басқа шетелдерде де таралған: АҚШ, Мексика, Мысыр, Қытай және басқа елдерде.

Практикалық мәні. Эпсомит, басқа да магний сульфаттары сияқты, текстиль, қағаз, қант, химия, фармацевтика және басқа өнеркәсіп салаларында пайдаланылады.

ГЕКСАГИДРИТ – $Mg[SO_4] \cdot 6H_2O$. Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=10,11$; $b_0=7,21$; $c_0=24,41$. Синонимі: сакиит. Қалың тақташа, найза тәрізді кристалдарда немесе талшық массаларда кездеседі. Қосақтары (001) және (110) бойынша.

Түсі ақ, кейде ашық-жасыл реңді. **Жылтырлығы** інжуше. $Ng=1,456$; $Nm=1,453$; $Np=1,426$.

Қаттылығы 2. Жіктілігі {100} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 1,75. Суда оңай ериді.

Астрахань облысы, Қырым және жерлер көлдерінде кездеседі. Рапа қоюланған кезде эпсомиттен соң бөлінеді.

КИЗЕРИТ – $Mg[SO_4] \cdot H_2O$. **Химиялық құрамы**, %: $MgO-29$; SO_3-58 ; H_2O-13 .

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $A2/a(C^6_{2h})$. $a_0=7,52$; $b_0=7,69$; $c_0=6,89$. Кездесетін кристалдары дипирамида келбетіне ие. Тығыз кристалл-түйірлі агрегаттарда әдеттегі.

Түсі. Кейде түссіз және мөлдір; әдетте күңгірт, ақ, сарғыш реңді. **Жылтырлығы** шыныша. $Ng=1,584$; $Nm=1,533$ және $Np=1,520$.

Қаттылығы 3,5. Морт. **Жіктілігі** {110} және {111} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,57.

Басқа қасиеттері. Ылғал ауада біртіндеп эпсомитке өтеді. Үгілген массасы судың шамалы мөлшерімен араласса, күйдірілген гипс сияқты қатаяды.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне ұқсас сулы сульфаттардан (эпсомиттен, каиниттен және басқалардан) оптикалық константалары мен құрамы бойынша ажыратылады.

Суда баяу ериді. Күрделі, қойытылған магнийге бай сульфат тұздықтардан 18-20⁰С-тан жоғары температурадан соң минералдар ішінде кристалданады.

Жаралуы және кенорындары. Тұзды көлдерде кизерит магнийге бай сульфат рападан тікелей кристалдану өнімі ретінде өте сирек жағдайларда жаралады (бұл қосылыстың орнықтылық алаңы біршама төмен температурада аса мардымсыз).

Әдетте ол қазба тұз кенорындарында кездеседі. Мұнда ол дегидратация нәтижесінде қысым ықпалынан суы молырақ магний сульфаттары есебінен (эпсомит пен гексагидраттан) жаралған сияқты.

Айтарлықтай мөлшерде (барлық массасының 30 % шамасына дейін) кизерит *Штассфурт* тұз кенорындарында (Германия) галитпен, карналлитпен, палигалитпен, ангидритпен және басқалармен бірлестікте кездеседі.

Практикалық мәні. Ащы тұз (эпсомит) даярлау үшін тұтынылады, оның қолданылуы туралы жоғарыдан айтылған болатын.

МЕЛАНТЕРИТ – $\text{Fe}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Грекше *мелантерос* – қаралау дегеннен. Бастапқыда табиғатта сирек кездесетін сұр-қара түрлесі анықталған болуы ықтимал. Одан басқа, минерал қара түсті оңай береді.

Химиялық құрамы, %: FeO-25,9; SO₃-28,8; H₂O-45,3. Анықталатын изоморфтық қоспалары: Mg, Ni, Zn, Cu, кейде Mn.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L²PC. Кеңістіктік тобы $P2_1/c(C^5_{2h})$. $a_0=15,34$; $b_0=2,98$; $c_0=20,02$. **Кристалдарының келбеті** ромбоэдрлік, кейде ине сияқты қылды. Көбінесе тұтас массаларда желішіктер немесе сорғалама пішіндер түрінде байқалады.

Түсі. Мелантерит ашық-жасыл, кейде күңгірт-сұр немесе сұрғылт-қара. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,486$; $N_m=1,478$; $N_p=1,471$.

Қаттылығы 2. Аса морт. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік, {110} бойынша айқын. **Мен. салмағы** 1,8-1,9.

Диагноздаушы белгілері. Басқа оңай еритін сульфаттардан тек химиялық талдаулар деректері бойынша ғана сенімді ажыратуға болады. Темірдің екі валентті формада болуы тән.

Қыздырған кезде балқып кетіп, өзінің кристалдық суында ериді. Суын жоғалтып, сусыз күкіртқышқыл тұздың ұнтақ тәрізді массасына айналады.

Жаралуы мен кенорындары. Аса қаныққан сульфатты суда оттек жеткіліксіз жағдайларда кристалданады. Сондықтан тотығу белдемдерінде кездеспейді. Әдетте тотығу белдемінен төмен жарықшақтарда және шала ыдыраған пиритке бай рудаларда гипспен және басқа сульфаттар арасындағы қуыстарда байқалады.

Мелантерит өте шамалы мөлшерде Сібірдің, Орта Азияның және Қазақстанның бірқатар кенорындарында кездескен. *Блява* колчедан кенорнында (Оңтүстік Орал) ол желішіктер мен шоғырлар түрінде қуыстарда

шала ыдыраған пиритті рудалардың жоғарғы горизонттарында байқалады. Мұнда мелантериттің қара түрлестері кездескен.

Практикалық мәні. Табиғатта үлкен мөлшерде сирек кездеседі. Жасанды даярланатын мелантерит бояу ісінде, көк (Берлин лазурі), күңгірт және қара бояу өндірісінде қолданылады. Олар жүн мен теріні қара түске бояу үшін, сондай-ақ сия даярлауға және химия өнеркәсібінің басқа салаларында тұтынылады. Айта кететіні, жетісулы темір закісінің сульфаты кейбір тері илеу органикалық заттарымен берік қара бояу беретіні.

ХАЛЬКАНТИТ – $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Грекше *халькос* – мыс, *анте* – гүл («мыс гүлдері») дегеннен. Синонимі: мыс купоросы.

Химиялық құрамы, %: CuO –31,8; SO_3 –32,1; H_2O –36,1. Қоспалары: Fe, кейде Zn, Co және Mg (магнохалькантит).

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық. Кеңістіктік тобы $PI(C^1_i)$. $a_0=6,11$; $b_0=10,673$; $c_0=5,95$; $\alpha=97^035'$; $\beta=107^010'$; $\gamma=77^033'$. Кристалдары сирек кездеседі, қысқа призма және қабатша түрлерінде. Әдетте тұтас массаларда немесе радиал-талшықты құрылысты сталактит (тассүңгі) пішіндерде байқалады.

Түсі. Халькантит аспан-көк, көк түсті, кейде жасылтым реңді. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,543$; $N_m=1,537$; $N_p=1,514$.

Қаттылығы 2,5. Аса морт. **Жіктілігі** {110} бойынша жетілмеген. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 2,1–2,3.

Диагноздаушы белгілері. Аспан-көк түсі және суда оңай ерігіштігі бойынша танылады. Бірақ дәлірек анықтау тек химиялық талдау көмегі арқылы ғана мүмкін.

Қыздырған кезде біртіндеп суын жоғалтып, алдымен үшсулы сульфатқа, ал содан кейін бірсулыға өтеді. Мұнда ол ақ, беймөлдір болып кетеді. Суда ериді, ерітіндіні көк түске бояйды. Ерітіндіге темір инесін батырған кезде оның сыртына металл мыс бөлінеді.

Жаралуы және кенорындары. Мыс-сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде климаты құрғақ өңірлерде жаралады. Сталактиттер түрінде істен шыққан және желдетілмейтін көне кен үңгімелері қабырғаларында, мыс кенорындарының тотығу белдемдерінде орналасқан жерлерінде байқалады.

Россияда халькантит бірқатар мыс кенорындарында байқалған: Меднорудянск (Төменгі Тагил маңында), Тура кеніштерінде (Солтүстік Орал) және басқаларда. Үлкен массаларда өте сирек.

Практикалық мәні. Жасанды даярланатын халькантит (мыс купоросы) жүзімдік зиянкестерімен күресу үшін, сондай-ақ химия, бояу және басқа өнеркәсіп салаларында қолданылады.

Рудаларда бұл минералдардың болуы кеніш суының мыстың еріген сульфатына бай екендігін және сондықтан темір сынықтарында оңай бөлінетін металл мыс өндіру нысаны бола алады. Осы мақсатта мысты грунт суын арнайы алаптарға өткізіп, оларда мыс теңіз жаңқаларында тұнады.

5. Алунит тобы

Мұнда Al мен Fe-нің бірвалентті (K, Na, NH₄, Ag) және кейде эквивалентті (Pb) металдармен негізгі қос сульфаттары тобын қарастырамыз.

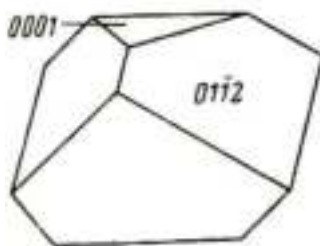
Бұл минералдар тобының кристалдық құрылымы қабаттылыққа жақын. Октаэдр бойынша гидроксилмен және оттеппен координацияланған Al³⁺ мен Fe³⁺ катиондары тесік қабаттар жасап, OH-төбелері арқылы байланысады; қабаттар арасындағы байланыс [SO₄] тетраэдрлерімен іске асырылады, ал гидроксил мен оттектің 12 анионымен координацияланатын қабаттар аралығында жаралатын қуыстарда сілтілердің (сондай-ақ аммонийдің, Ag мен Pb) катиондары орналасқан. Оларға тәні, ірі бір валентті катиондар (K, NH₄), сондай-ақ кейде Pb²⁺ бірге псевдокубтыққа жатып, дитригон-пирамидалық симметрия түрінде кристалданады (ромбоэдр бұрышы β 90°-қа жақын). Ал ірілігі төмендеу катиондармен (Na және Ag) қосылыстары болса – симметриясы бойынша төмендеу псевдогексагондық болады.

АЛУНИТ – KAl₃[SO₄]₂[OH]₆. Синонимдері: алуонит, ашутас. Опталған суға бай коллоид түрлесі левигит деген атауға ие.

Химиялық құрамы, %: K₂O – 11,4; Al₂O₃ – 37; SO₃ – 38,6; H₂O – 13. Өте жиі K₂O бөлігін кейде жартысына дейін Na₂O алмастырады (натроалуонит). Левигитте кейде сирекжерлер анықталады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригон-пирамидалық L³3P. Кеңістіктік тобы *R3m(C⁵_{3v})*. *a*₀=6,96; *c*₀=17,35. Кездесетін ұсақ кристалдары ромбоэдрлік, псевдокубтық немесе қалың тақташа келбетке ие (249-сурет). Әдетте майда түйірлі, жер тәрізді, кейде талшық массаларда байқалады.

Түсі. Алуонит ақ түсті, сұрғылт, сарғыш немесе қызғылт реңді. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында кейде інжуше. *N*_g=1,592; *N*_m=1,572 (натрийлі түрлестерінде – 1,585).



249-сурет. Алуонит кристалы

Қаттылығы 3,5-4. **Жіктілігі** {0001} бойынша айқын. **Мен. салмағы** 2,6-2,8.

Диагноздаушы белгілері. Майда кристалды массаларда оны көптеген ақ түсті сулы минералдармен оңай шатастыруға болады. Ең сенімді түрде химиялық реакциялар бойынша ажыратылады.

Суды тек қыздырған кезде ғана жоғалтады. Содамен күкірт бауырын береді. Азот қышқыл кобальт ерітіндісіне батырғанда көк түске ие болады (Al-ге реакция). Суда және HCl қышқылында ерімейді. Қоюландырылған H₂SO₄ қышқылында қиын ериді. Қыздырылған алуонитті сумен өндеген кезде ерітіндіге ашутас өтеді.

Жаралуы және кенорындары. Айтарлықтай сеппе массаларда сілтілі далашпаттарға бай эффузиялық таужыныстарға төмен температуралық күкіртқышқыл *гидротерма* әрекет еткен кезде жаралады. Оның жаралуына осы далашпаттар себепкер болады. Таужыныстар өзгеруінің осы процесі «алуниттену» деген терминмен белгілі. Және де кейбір гидротермалық желілерде кездеседі.

Алуниттің сирек конкреция жаралымдары сондай-ақ құмда, бокситте кездескен. Олардың экзогендік жаралымды екені көрінеді.

Журавлинское кенорнында (Чусовая өзенінде, Чусовая бекетінен ағысы бойынша 25 км жоғары) алунит гиббситпен және каолинмен бірге экзогендік жаралымды ұялар мен желішіктер түрінде әктастың бүліну белдемінде кездеседі. Алунит бұрыс пішінді сарғыш немесе қызғылт кірінділер түрінде қатты өзгеріске ұшыраған туфта (эффузиялық жаралымды сынықты таужыныстарда) *Заглик* ауылы ауданында (Гянджа маңында, Әзірбайжан) болады.

Практикалық мәні. Құрамында алунит бар таужыныстар ашутастар мен алюминий сульфатын алу көзі болып табылады (олардың қолданылуы туралы ашутаста айтылады). Соңғы кезде алунит алюминий окисінің көзі ретінде қарастырылады.

ЯРОЗИТ – $KFe_3[SO_4]_2[OH]_6$. Ашылған жері Барранко Ярозо (Испания) бойынша аталған. Синонимі: ютаит.

Химиялық құрамы, %: K_2O – 9,4; Fe_2O_3 – 47,9; SO_3 – 31,9; H_2O – 10,8. Көбінесе шамалы мөлшерде натрий мен селен, ал механикалық қоспалар түрінде және де SiO_2 , Al_2O_3 және басқалар болады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригон-пирамидалық $L^3\bar{3}P$. Кеңістіктік тобы $R3m(C^5_{3v})$. $a_0=7,304$; $c_0=17,268$. Көбінесе тұтас түйірлі массаларда немесе жер тәрізді массаларда кездеседі, мұнда қуыстарда ұсақ ромбоэдр кристалшалар друзасы жиі.

Түсі. Ярозит жоса-сары, көбінесе айқын қошқыл реңді. **Сызық түсі** сары. **Жылтырлығы** шыныша, алмасшаға жақындайды. $Nm=3,820$ және $Np=1,715$.

Қаттылығы 2,5-3,5. Жіктілігі {0001} бойынша айқын. **Мен. салмағы** 3,15-3,26.

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша жоса лимонитке жақын. Химиялық реакциясы бойынша ажыратылады. Және де саусақ арасында үйкелеген кезде майлы болып сезінеді, ал лимонит болса түрпі, құм зат сияқты сезіледі.

Суда ерімейді. HCl қышқылында ериді; $BaCl_2$ ерітіндісінен $BaSO_4$ тұнбасын береді. Жабық түтікшеде қышқылды реакциялы су бөліп шығарады.

Жаралуы және кенорындары. Ярозит біршама кең таралған минералға жатады және темірсульфид, негізінен пиритті кенорындардың *тотығу белдемдерінде* жаралады, басым жағдайларда құрғақ шөлейт климатта, сондай-ақ пирит есебінен кейбір шөгінді таужыныстарда кездеседі.

Қоңыржай климат жағдайларында айтарлықтай атмосфера жауын-шашыны кезінде ол өте сирек жаралады: темір сульфидтері ыдырайды да тікелей темір гидроокиселдеріне өтеді.

Тәжірибелер көрсеткендей, ярозит ауа оттегімен еркін жанасатын сульфатты судан тұнады және сондықтан құрамында үш валентті темір болады.

Сулы ауа жағдайында ярозит оншалықты орнықты емес. Гидролизге ұшырап, темір гидроокиселдерін жасайды.

Ярозиттің таужыныстардағы сеппе пириттің куб кристалдары бойынша, сондай-ақ саздағы марказит және пирит конкрециялары бойынша псевдоморфозалары біршама жиі байқалады.

Ярозиттің елеулі массалары бізде *Блява* колчедан кенорнында (оңтүстік Орал) кездескен, мұнда ол көне тотығу белдемінде гидрогематит пен гематиттен тұратын темір телпек белдемі астында сақталған.

Ярозит кварцпен және баритпен бірге тотығу белдемінде *Майқайың* алтын рудалы кенорнында (Баянауыл ауданы, Павлодар облысы) ұнтақ деп аталатынды құрайды.

Практикалық мәні. Таза ярозит массалары көп болған жағдайда пештерде күйдіру арқылы даярланатын жылтырлаушы ұнтақ (Fe_2O_3) алу үшін шикізат ретінде қызығушылық туындатады.

6. Ашутастар тобы

Ашутастар деп Al мен сілтілердің қалыпты қос сульфатын атайды, олар кубтық сингонияда судың 12 молекуласымен кристалданады. Мұнда және де галотрихит – Fe мен Al-дің 22 H_2O молекулалы сульфаты сипатталатыны.

КАЛИЙЛІ АШУТАСТАР – $Kal[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$. Сингониясы кубтық; симметрия түрі дидодекаэдрлік $4L^3_6 3L^2_3 PC$. **Химиялық құрамы, %:** K_2O – 9,9; Al_2O_3 – 10,8; SO_3 – 33,8; H_2O – 45,5.

Түсі түссіз. **Жылтырлығы** шыныша. $N=1,456$ (көбінесе анизотропты). **Қаттылығы 2. Меншікті салмағы** 1,76. Суда ериді. Ерігіштігі $20^{\circ}C$ -та 151 г/л болады.

Жер тәрізді массаларда, таңдақтарда, қабыршақтарда, кейде тұтас түйірлі агрегаттарда кездеседі.

Тамбов және Ульяновск облыстарында, Солтүстік Кавказда (*Зеленчук* өзені), Дағстанда, Оралдағы *Блява* колчедан кенорнында (тотығу белдемінің төменгі жағында басқа сульфаттармен бірге), *Ока* өзенінің оң жағасында (Ангараның саласы, Сібір), Түркіменстанда (Қарақұм), Өзбекстанда (Шорсу) және басқалардағы «ашутасты жерлерде» байқалған.

Калийлі ашутастар кең қолданысқа ие бола алады: бояу, типография, тері илеу, қағаз өндірісінде таптаушы ретінде, медицинада, лак бояуын даярлау үшін және басқа салаларда. «Ашутасты жерлерден» шаймалау арқылы алынып, ары қарай ерітінділерден буландырады. Бірақ өзінің негізгі массасында ашутастар жасанды жолмен бокситтен даярланады немесе басқа химия өндірістерінде қосымша өнім ретінде алынады.

НАТРИЙЛІ АШУТАСТАР – $\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Синонимі: сольфатарит. Табиғатта толық айқындықта анықталмаған. Жасанды жолмен оңай алынады. Таужыныстар жарықшақтарында параллель-талшық массалар түрінде байқалған.

Түсі. Түссіз. **Жылтырлығы** шыныша. **Қаттылығы 3. Мен. салмағы** 1,73. $N=1,439$ (жасанды қосылыстар үшін). Зерделенген табиғи үлгілері өзінің жартылай дегидратациясы бойынша, немесе басқа модификацияға – мендоцитке жататындығы бойынша оптикалық анизотроп болып шыққан. Ауада сусызданады да тамаругитке – $\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ қосылысына өтеді. *Поциуоли* сольфатарларында (Неаполь маңында) көрсетіледі.

ГАЛОТРИХИТ – $\text{FeAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$. Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі диэдрлік осьтік L^2 . Ақ қардай түсті асбест тәрізді желішіктерде жиі байқалады, жылтырлығы жібекше. Оның атауы осыдан шыққан (грекшеден аударғанда «шашты тұз»).

Қаттылығы 2-2,5. Мен. салмағы 1,89-2,04. Суда ериді. Балауыз шам жалынында қайнайды да тамшы тәрізді пішіндерде қатайды.

Алюминий мен темір закисіне бай сульфатты суда жаралады. Мұндай жағдайларда колчедан рудалары тотығу белдемінен төменде еркін оттектің жеткіліксіз болатыны айқын. Мұндай жағдай мәселен *Блява* кенорнында (Оңтүстік Орал) орын алады.

Пиритті сазда, көмір қабаттарында да кездеседі. Мұнда ол тотығу белдемінде пириттің ыдырауынан және жаралатын күкірт қышқылынан ыдырайтын сазды заттан түзіледі: Ока өзенінің оң жағасында (Ангараның саласы, Сібір), *Кизел* таскөмір кеніштерінде (Оралда) және басқа жерлерде.

КЛАСС 4. Хроматтар

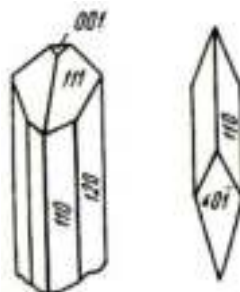
Табиғатта кездесетін хром қышқылының тұздары өте аз. Комплексті $[\text{CrO}_4]^{2-}$ анионы ірі Pb^{2+} катионды кристалдық құрылымдар жасауға қабілетті. К, Са және Ва хроматтары өте сирек (*тарапакаит, хроматит және хашимит*).

Хроматтар тек оттек концентрациясы жоғары орта жағдайларында ғана жаралады. Кейде олар сульфаттармен бірге кездеседі, бірақ олармен изоморфтық қоспалар немесе қос тұздар жасамайды. Эксперименттік жолмен анықталғандай, PbCrO_4 қатты күйде тек жоғары температурада ғана PbSO_4 -пен араласа алады. Және де анықталғаны, BaSO_4 -пен изокұрылымды болатын ромбтық сингонияда кристалданатын метастабильді PbCrO_4 модификациясы.

КРОКОИТ – $\text{Pb}[\text{CrO}_4]$. Грекше *крокос* – шафран-запрангүл дегеннен (мұнда оның жирен-сары түсі айтылатыны көрінеді). Вокелен 1797 жылы ашқан Cr элементі Оралдан алынған дәл осы минералда анықталған. Алғаш ол Ломоносовтың кезінде табылған болатын.

Химиялық құрамы: PbO - 68,9 %; CrO_3 - 31,1 %. Кейде оның құрамында шамалы күміс болады. Меншікті салмағы 5,2 болатын құрамында мырыш бар түрлесі иоссаит деп аталған (жақын зерделенбеген).

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/n(C^5_{2h})$. $a_0=7,10$; $b_0=7,40$; $c_0=6,80$; $\beta=102^{\circ}27'$. Кристалдары біршама жиі байқалады және олар тек бос жарықшақтарда болады. **Кристалдарының келбеті** c осі бойынша призмалық, кейде сүйір ромбоэдр тәрізді $\{110\}$ және $\{101\}$ жақтарымен (250-сурет) және октаэдр тәрізді $\{111\}$ және $\{111\}$ жақтарымен. Бос жарықшақтарда сырықша кристалдарының друзасы кездеседі.



250-сурет. Крокоит кристалдары (Березовское кенорны, Орал)

Түсі. Крокоит ашық жирен-қызыл. Жарықта уақыт өте келе сұрғылттанады. **Сызық түсі** жирен-сары. **Жылтырлығы** алмасша. $Ng=2,66$; $Nm=2,37$; $Np=2,31$.

Қаттылығы 2,5-3. Морт. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша айқын. **Мен. салмағы** 6.

Диагноздаушы белгілері. Ашық-қызыл түсі, сырықша немесе призма келбетті кристалдары және жоғары меншікті салмағы ас тән.

Фосфор тұзының перлі мен бура изумруд-жасыл түске боялады (хромға реакциясы). Ыстық HCl қышқылында ериді де хлор бөліп шығарады және $PbCl_2$ тұнады. KOH сұйығында қошқылданады, ериді.

Жаралуы және кенорындары. Құрамында қорғасын бар руда кенорындарының тотығу белдемінде ультрадәрізді магмалық таужыныстар маңында жаралады. Бұл таужыныстар мұрыған кезде өте шамалы мөлшерде болса да хром қышқылын бере алады, ол құрамында хром бар силикаттар мен хромшпинелидтер ыдыраған кезде пайда болады. *Березовское* алтын рудалы кенорнының крокоиты көпшілікке танымалдығымен белгілі (Екатеринбургтың маңында), оны алғаш рет 1766 жылы академик И.Г. Леман сипаттаған. Мұнда ол бос жарықшақтарда березиттің (өзгеріске ұшыраған гранит-порфир) арасында ұзыншақ призма кристалдар түрінде кездесіп, қабырғалар бойымен бағдарланады. Кейде галенитпен бірлестікте байқалған. Тасмания аралында *Дандас* кенішінде крокоиттің ұзындығы 15 см-ге дейінгі кристалдарының ірі друзасы серпентинитте кездеседі. Сондай-ақ бірқатар басқа кенорындарда да белгілі.

Таралымы аз болғандықтан практикалық мәнге ие болмайды.

КЛАСС 5. Молибдаттар және вольфраматтар

Молибден мен вольфрам Менделеевтің периодтық жүйесінде бесінші және алтыншы периодтарда орналасады. Бұл элементтер үшін, осы

периодтардағы басқа жұптардағы сияқты, мысалы Zn және Hf, Nb және Ta, лантаноидтық сығылу деп аталатынға байланысты бірдей дерлік атомдық және иондық радиус тән, осының салдарынан атомдық және иондық көлемі де тең болады. Осыған байланысты екі элемент үшін, соларға ұқсас басқа жұптар сияқты, минералдар жаралған кезде кең изоморфтық қоспалар болатынын күтуге болады.

Бірақ табиғи жағдайларда қарастырылып отырған класс қосылыстары үшін изоморфтық қоспалар өте сирек байқалады. Молибден мен вольфрамның геохимиялық рөлі минералжаралу процестерінде айтарлықтай бөлек.

Молибден, біз сульфидтер класында көргеніміздей, күкіртпен күрт білінген туыстыққа ие болады. Бұл элементтің жер қыртысындағы басты массасы сульфид MoS_2 түрінде кездеседі. Бұл элемент химиялық және спектрлік талдаулар бойынша қоспалар түрінде көптеген күкіртті қосылыстарда анықталады. Оның оттегімен қосылыстары табиғатта аз таралған және негізінен руда кенорындарының *тотығу белдемінде* кездеседі.

Вольфрам болса минералжаралу процестерінде тек қана дерлік вольфрам қышқылы тұздары түрінде оттекті қосылыстар береді. Вольфрам сульфиді *тунгстениит* (WS_2) өте сирек кездеседі (*Тамватней*, Корякия). Оларға және бір тәні, вольфраматтар өзінің көпшілік бөлігінде біршама жоғары температуралық болып табылады.

Бұл кластың саны аз минералдары арасында басты екі тобы айқын бөлінеді.

1. Fe^{2+} , Mn^{2+} және Zn вольфраматтары. Бұл металдардың молибдаттары әзірше белгісіз, ферромолибдатты қоспағанда.

2. Иондық радиустары үлкен болатын күштілеу екі валентті металдар: Ca, Pb және кейде Cu молибдаттары мен вольфраматтары, сондай-ақ уран молибдаты *седовит*.

1. Вольфрамит тобы

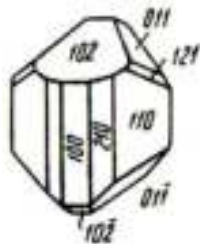
Мұнда изоморфтық қатар MnWO_4 - FeWO_4 минералдары (гюбнерит-ферберит) жатады. Өздерінің қасиеттері бойынша оларға ортақтар көп, сондықтан біз барлық вольфрамит $(\text{Mn,Fe})\text{WO}_4$ тобын түбегейлі сипаттаймыз, қосымша бұл қатардың шеткі мүшелеріне ғана тән ерекшеліктерін көрсетеміз.

ВОЛЬФРАМИТТЕР: ГЮБНЕРИТ (MnWO_4) – ФЕРБЕРИТ (FeWO_4). Бұрынғы орысша атауы – қасқыр. Бастапқыда вольфрам деп аталған (1758). Бұл сөз латынша *lupi spuma* – «қасқыр көбігі» немесе «қасқыр қаймағы» деген сөздердің неміс тіліне аудармасы болып табылады. Атауы бұл минералдың қалайы рудасына қоспасы қорытылатын қалайының бетіне көбік түрінде пайда болатындығына байланысты. Вольфрам элемент ретінде кейінірек ашылған; оның атауы минералдың атынан шығады.

Химиялық құрамы. WO_3 мөлшері 75 % шамасында. Қоспалардан анықталатындары: Mg (0,5 %-ке дейін), кейде CaO, Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , SnO_2 және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2/c(C_{2h}^4)$. $a_0=4,78$; $b_0=5,73$; $c_0=4,98$; $\beta=90^\circ 26'$. **Кристалдық құрылымы** бруцит құрылымына жақын (дәлірек айтсақ $\alpha\text{-PbO}_2$ -ке); екі позициядағы металдар катионы алтылық координацияға ие; олар гексагондық ең тығыз жайласуда (100) жазықтығында қырларымен байланысқан октаэдрлер тізбегін жасап, c осі бойынша созылады және ортақ төбелері бойынша қосылады. Екі валентті металдар мен вольфрам қабатталып орналасқан, әр қабаттан кейін кезектеседі. Құрылымның мұндай ерекшеліктері вольфрамит тобы минералдарын нағыз вольфрамат сияқтыдан айрықша, шеелит ретінде (төменде айтылады) қарастыруға мүмкіндік береді. Оларды колумбит және басқалар сияқты күрделі оксидтерге жақын деп қарастыру заңды болады.

Вольфрамиттің жиі кездесетін кристалдары қалың тақташалы немесе призмалық келбетке ие (251-сурет), кейде $\{100\}$ бойынша жалпайған. Жекелеген дарақтары кейбір кенорындарда ірі өлшемдерге жетеді (20 см және одан да көп). Тік жақтары жиі c осі бойынша айғыздалған болады. Қосақтары (100) бойынша, кейде (001) бойынша байқалады. Сондай-ақ тұтас ірі түйірлі агрегаттар түрінде де кездеседі.



251-сурет. Вольфрамит кристалы

Түсі. Гюбнерит сарғыш-жиреннен қоңырға дейін, әдетте қызғылт немесе күлгін реңді; ферберит – қара. **Сызық түсі** гюбнеритте ақшылдан сарғыш-қоңырға дейін және тіпті сары. Ферберитте күңгірттеу қошқылдан қараға дейін. **Жылтырлығы** жіктілік жазықтықтарында айнаша, алмасша, ал басқа бағыттарда майша. Гюбнерит жұқа сынықшаларда жарық өткізеді. Шағылыстыру көрсеткіштері гюбнерит үшін: $N_g=2,32$; $N_m=2,22$ және $N_p=2,17$. Темірдің мөлшері артқан сайын мөлдірлігі шамалы ферберитте $N_m=2,40$ болады (Li-жарығы үшін).

Қаттылығы 4,5-5,5. Морт. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 6,7-7,5. Темірлі түрлестері біршама үлкен меншікті салмаққа ие. Темірге бай түрлестері шамалы магнитті.

Диагноздаушы белгілері. Вольфрамитке тәні: қошқыл-қара түсі, күңгірт-қошқыл сызығы, жоғары меншікті салмағы, бір бағыттағы жетік жіктілігі (жіктілігі бірнеше бағытта болатын қара сфалериттен, және де жетік жіктілігі жоқ колумбиттен, танталиттен, касситериттен айырмашылығы).

Вольфрамиттің қалайымен балқымасын содамен HCl қышқылы қосылған суда қайнатқан кезде көгілдірге боялады (W-ға реакция). Бурамен Mn пен Fe-ге реакция береді. HCl қышқылында ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Негізінен кварцты, көбінесе гранит массивтерінде орналасқан *гидротермалық кварцты* желілерде кездеседі. Онымен бірлестікте кейде касситерит, молибденит, арсенопирит, пирит, халькопирит және басқалар байқалады.

Вольфрамит гранит массивтерінің *грейзендерінде* слюдалар, топаз, флюорит, турмалин, кейде берилл, касситерит, молибденит және басқалар сияқты минералдармен бірлеседі.

Құрамында вольфрамит бар *сульфидті желілерде* белгілі. Ол халькопиритпен, молибденитпен, пиритпен, висмутинмен, сфалеритпен және басқалармен парагенезисті болады.

Кейде, және әдетте шағын мөлшерде, ол гранит арасындағы *пегматит* желілерінде кездеседі.

Минералогиялық жағынан шеелит кристалдарының вольфрамитпен эндогендік орын алмасу жағдайлары шеткі жақтарынан да, жарықшақтар бойымен де бір рет қана байқалып қоймаған. Өз кезегінде көбінесе вольфрамиттің шеелитпен алмасу құбылысы анықталады.

Тотығу белдемінде мұрыған кезде оңай болмаса да, бірақ өзгеріске ұшырап, вольфрам жосасы деп аталатынға айналады. Мұнда екі валентті темір үш валенттіге дейін тотығады. Осының ықпалынан кристалдық тордың қирау процесінде сары-қошқыл немесе қошқыл түсті жер тәрізді масса жаралады, ол негізінен үш валентті темірдің гидровольфраматынан (ферритунгстит) тұрады. Кейде сарғыш-жасыл вольфрам окиселі – тунгстит (H_2WO_4) жаралады.

Гюбнерит осылайша ыдырап, құрамында WO_3 бар қара «псиломелан» шоғырларын береді. Оған тәні, элювийде болатын псиломелан жалбырлары кенорыннан алыс жерлердің өзінде, құрамында бірнеше процентке дейін WO_3 болады.

Әдетте кенорындар ауданында вольфрамит біршама төзімді минерал ретінде шашылымға өтеді. Бірақ оған тәні, түбірлік кенорыннан алыстаған сайын вольфрамит тобы минералдарының сынығы өлшемдері бойынша жылдам кішірейеді де содан кейін жоқ болып кетеді. Бұл жағдай минералдың біршама морттығымен түсіндіріледі, ол және де жетік жіктілігіне байланысты арта түседі.

Россияда гидротермалық кенорындары Забайкальде (*Джида, Букука*), Алтайда (*Қалғұтты*) белгілі. Шетел кенорындарынан әлемдегі ең ірі Оңтүстік Қытайдағы Юньнань және Цзянси провинцияларындағы (Сихуашань) кенорнын, сондай-ақ Вьетнамның солтүстігіндегі, Оңтүстік Бирмадағы және Малакка түбегіндегі кенорындарды көрсетеміз. АҚШ-тың батыс штаттарындағы бірқатар кенорындар Колорадо, Оңтүстік Дакота, Невада және басқа жерлерде өндірісте. Еуропа нысандарынан Португалия мен Испания кенорындары атап өтуді қажет етеді.

Практикалық мәні. Қарастырылып отырған топтың минералдары әр түрлі мақсатта пайдаланылатын вольфрамның ең басты көзі болып табылады.

1. Бұл металдың басты тұтынушысы – қара металлургия, ол вольфрамды өз бетінше шынығатын қасиеттерге ие құрыштың айрықша қатты сорттарын өндіру үшін пайдаланылады (барлық өндірістің 85-90 % шамасы). Мұндай құрыш жылдам кесетін аспаптар даярлау үшін тұтынылады.

2. Одан басқа, ол стеллиттің – вольфрамның Cr, Co және басқа металдармен қорытпасының құрамына кіріп, айрықша аспаптар үшін және де аса қатты қорытпалар алуға пайдаланылады. Бұл қорытпалар: победит, видна, сталинит, воломит және басқалар аса жоғары қаттылыққа ие болады да, сондықтан ұңғымалау бұрғылау үшін арнайы қашаулар даярлау үшін қолданылады.

3. Вольфрам электротехникада электр шамдарының сымын, рентген түтікшелері үшін антикатодтар және басқалар даярлауға кетеді.

4. Вольфрам қосылыстары сондай-ақ химия өнеркәсібінде, керамикада шыны мен фарфорды бояу үшін және басқа мақсаттарда пайдаланылады.

2. Шеелит тобы

Бұл топқа Ca және Pb вольфраматтары да, молибдаттары да жатады, олар тетрагондық сингонияда кристалданады; тек қорғасын вольфраматы үшін ғана моноклиндік модификация да белгілі.

ПОВЕЛЛИТ – $\text{Ca}[\text{MoO}_4]$. **Химиялық құрамы:** CaO–28 %; MoO_3 –72 %. Изоморфтық WO_3 қоспасы бар (8 % шамасына дейін) түрлестері де кездеседі.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дипирамидалық L^4PC . Кеңістіктік тобы $I4_1/a(C_{4h}^6)$. $a_0=5,23$; $c_0=11,44$. Кристалдық құрылымы шеелит құрылымына ұқсас (төменде айтылады). Молибденит бойынша жер тәрізді паракшаланған псевдоморфозаларда кездеседі. Дербес кристалдары дипирамидалық, кейде {001} бойынша тақташа келбетке ие. {112} жақтары жиі қиғаш айғызбен көмкерілген.

Түсі. Повеллит солғын-сары, сарғыш-жасыл (кристалдары үшін) түсті. **Сызық түсі** ақшыл сарғыш немесе жасылтым реңді. **Жылтырлығы** алмасша. $N_g=1,984$ және $N_m=1,974$.

Қаттылығы 3,5. Морт. **Жіктілігі** жоқ. **Мен. салмағы** 4,25-4,52.

Диагноздаушы белгілері. Молибденит бойынша псевдоморфозалары жұрнақ қалақша пішіндері және солғын-сары түсі бойынша оңай танылады. Кристалдарына бипирамидалық келбеті және Mo мен Ca-ге реакциясы тән.

HCl қышқылында ериді. Сұйытылған тұзқышқылы ерітіндісі NH_3 (молынан) болғанда, жалбызқышқыл аммониймен бірге жалбызқышқылды кальциймен тұнба береді.

Жаралуы және кенорындары. Көрсетіліп өткендей, молибден кенорындарының тотығу белдемдерінде молибденит бойынша псевдоморфозалары түрінде жиі байқалады. Оның тотығу нәтижесінде пайда болатын молибден қышқылының құрамында кальций бар жер беті суымен

реакциясы нәтижесінде жаралатыны көрінеді. Уақыт өте келе біртіндеп кварцта молибденит кристалдарының орнында қуыстар жасап шаймаланады.

Экзогендік повеллит молибденит кенорындары тотығу белдемдерінің барлығында дерлік жиі кездеседі. Эндогендік повеллит болса біршама сирек.

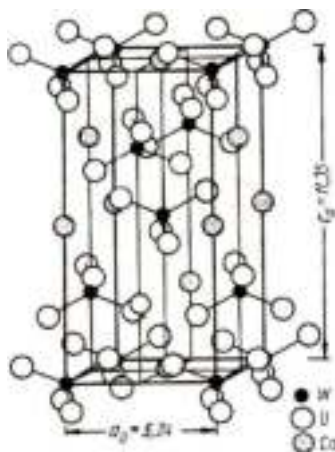
Россияда повеллит молибденит бойынша псевдоморфозалары түрінде *Ильмен* таулары (Оңтүстік Орал) кеніштерінің біріндегі пегматитте белгілі.

Практикалық мәні. Молибденитпен салыстырғанда екінші дәрежелі мәнге ие, және де ол елеулі массаларда біршама сирек кездеседі.

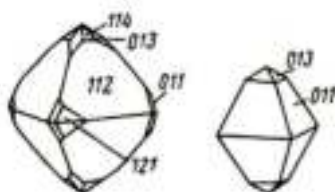
ШЕЕЛИТ – $\text{Ca}[\text{WO}_4]$. Швеция химигі Шееле (1742-1786) фамилиясы бойынша аталған. Ол вольфрам қышқылын дәл осы минералда алғаш ашқан (вольфрамиттегі вольфрам кейінірек ашылған болатын).

Химиялық құрамы: CaO – 19,4 %; WO_3 – 80,6 %. Изоморфты қоспа түрінде кейде MoO_3 (10 %-ке дейін) анықталады. Сондай-ақ құрамында мыс бар түрлесі *Си-шеелит* белгілі, мұнда *Си* мөлшері 7 %-ке дейін. Кейде сирекжерлер анықталады (негізінен церий тобы).

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дипирамидалық L^4PC . Кеңістіктік тобы $I4_1/a(C^6_4)$. $a_0=5,246$; $c_0=11,349$. **Кристалдық құрылымы** *252-суретте* бейнеленген. Элементар ұяшығы центрленген тетрагон призма болып табылады. Кальций жоғары симметриялы торшадағы позицияны иемденеді. Оның ұяшығы екі кубтық жақцентрленген ұяшықтан құрастырылған болып шығады. Аниондық WO_4 тетрадр топтары мен 8-координацияланған *Ca* катиондарының орналасуы суретте жақсы көрінеді: оттек пен вольфрам флюориттегі кальцийдің ең тығыз жайласқан торшасындағы фтор атомдарының орналасуына жақын позицияны алады. **Кристалдарының келбеті** псевдооктаэдрлік (*253-сурет*), кейде тақташаланған $\{001\}$ бойынша. (112) жақтарында кейде қиғаш айғыздау байқалады.



252-сурет. Шеелиттің кристалдық құрылымы



253-сурет. Шеелит кристалдары

Кірігу қосақтары (110) және (001) бойынша жиі кездеседі. Агрегаттары бұрыс пішінді түйірлер мен кірінділер түрінде жиі байқалады, тұтас массалар түрінде сирек.

Түсі. Түссіз сирек болады, әдетте сұр, сары, жасылтым-сары, қошқыл, жирен және тіпті қызыл түске де боялады. **Сызық түсі** ақ. **Жылтырлығы** майша, жіктілік жазықтықтарында – алмасша. $N_g=1,937$ және $N_m=1,920$.

Қаттылығы 4,5. Морт. **Жіктілігі** {111} бойынша айқын. Омырылымы бейтегіс сатыланғанға дейін. **Мен. салмағы** 5,8-6,2. **Басқа қасиеттері.** Катод сәулелерінде әдетте көгілдір түске күшті жарық шығарылады.

Диагноздаушы белгілері. Силикат таужыныстарда шеелит кейде қиын байқалады. Оны жай көзбен диагноздау үшін үлкен тәжірибе қажет. Кристалдарда псевдооктаэдрлік келбеті бойынша, ал омырылымда және агрегаттарда – майшаланған біршама күшті жалтырлығы әрі біршама төмен қаттылығы, жеткілікті айқын жіктілігі, үлкен меншікті салмағы және вольфрамға реакциясы бойынша танылады. Оған катод сәулесінде көгілдір түске боялатындығы аса тән. Осы қасиеті оны кен ұңғыларында және тіпті рудадағы мөлшерін жуықтап бағалауға кең пайдаланылады.

HCl және HNO₃ қышқылдарында ыдырайды да аммиакта еритін сары вольфрам қышқылын (H₂WO₄·H₂O) бөледі. HCl қышқылындағы ерітіндісі қалайымен қайнатқан кезде әдемі көк түске ие болады.

Жаралуы және кенорындары. Шеелит *гидротермалық* минерал ретінде құрамы бойынша әр түрлі кенорындарда біршама жиі кездеседі.

Ол шағын мөлшерде кейде пегматиттерде анықталады. Бірақ ең ірілерге жапсарлық-метасоматоздық кенорындар жатады, мұнда шеелит силикаттармен (анартастармен, пироксендермен және басқалармен), кварцпен және көбінесе сульфидтермен, атап айтқанда молибденитпен бірлеседі. Оның вольфрамитті, алтынды және басқа желілік кенорындардағы табылымдары жиі.

Тотығу белдемінде оншалықты төзімді емес. Жер бетінде кварц желілерінде шеелит орнында кейде шаймалану кеуектері анықталады. Дегенмен шеелит шлихтерде (ауыр фракциясында) біршама жиі табылады.

Россияда белгілерге *Тыныауз* (Кабардин-Балкария, Солтүстік Кавказ), *Бурановское* (Челябинск обл., Оңтүстік Орал) және *Боевское* (Екатеринбург обл., Ортаңғы Орал) кенорындары жатады. *Восток-2* (Приморье) және *Букука* (Шығыс Забайкалье) және басқа кенорындардың кварц желілерінде болады. Питкьяранта маңында (Солтүстік Приладожье) *Хепоселькя* кварц желілері мен скарндарында байқалған. Ірі кристалдары *Тэнкергын* кенорынында (Чукотка) кездескен.

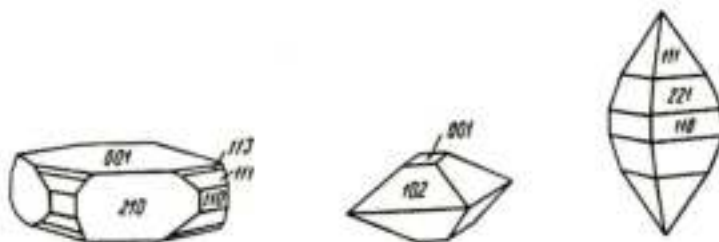
Шетел кенорындарынан *Майхура* (Тәжікстан) шеелитті скарндарын атаймыз. Сондай-ақ АҚШ-тың батыс штаттарындағы жапсарлық жаралымды бірқатар кенорындарды, Малайдағы өте ірі *Крамат-Пулай* кенорнын айту керек. Мұнда шеелит көбінесе метаморфталған әктас пен тақтатаста касситеритпен бірлестікте кездеседі. Сондай-ақ кварц желілерінде де, содан соң *Тасмания* аралының солтүстік бөлігінде және көптеген жерлерде бар.

Практикалық мәні. Шеелитті руда, вольфрамиттілер сияқты вольфрам алудың көзі болып табылады. Вольфрам металының қолданылуы жоғарыда (*вольфрамитте*) айтылған.

ВУЛЬФЕНИТ – $Pb[MoO_4]$. Австрия минералогы Ф. Вюльфен (1728-1805) құрметіне аталған, ол Каринтия қорғасын рудаларын зерделеген.

Химиялық құрамы: PbO – 61,4 %; MoO_3 – 38,6 %. Кейде CaO , CuO , MgO , WO_3 , өте сирек CrO_3 және V_2O_5 қоспалары байқалады.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дипирамидалық L^4PC . Кеңістіктік тобы $I4_1/a(C^6_{4h})$. $a_0=5,42$; $c_0=12,08$. Кристалдық құрылымы 252-суретте бейнеленген. **Кристалдарының келбеті.** Квадрат тақташалар түрінде жиі байқалады, кейде доғал немесе сүйір пирамидалар комбинациясы түрінде (254-сурет). Тұтас кристалл агрегаттары біршама сирек кездеседі.



254-сурет. Вульфенит кристалдары

Түсі. Вульфенит шайыр немесе бал-сары, сұр, қошқыл, кейде жирен және тіпті қызыл түсті. **Сызық түсі** ақ немесе аса нашар боялған. **Жылтырлығы** алмасша, омырылымында майша. $Nm=2,40$ және $Np=2,28$.

Қаттылығы 3. Жіктілігі $\{111\}$ бойынша айқын. **Мен. салмағы** 6,3-7.

Диагноздаушы белгілері. Вульфенитке әдетте бал-сары түс, кристалдарының тақташа келбеті, алмасша жылтырлығы, үлкен меншікті салмағы және тотығу белдемінде басқа қорғасын минералдарымен парагенезісі тән.

Фосфор тұзымен тотықтырушы жалында сарғыш-жасыл, ал тотықсыздандырушыда - күңгірт-жасыл шыны береді (Mo -ге реакция). HCl баяу еріп, ақ $PbCl_2$ жарғағымен көмкеріледі.

Жаралуы және кенорындары. Суда қиын еритін тұз ретінде қорғасын-мырыш кенорындарының тотығу белдемдерінде біршама жиі кездеседі. Мұндағы молибденнің көзі екеу деп қарастыруға болады: молибден қышқылы қапталдас таужыныстардан сіңетін сумен келуі мүмкін немесе кенорынның өзіндегі сульфидтерде шашыранды молибденнің тотығуы және шоғырлануы нәтижесінде жаралады.

Әдетте вульфенит шаймалану кеуектері қабырғасында ұсақ кристалшалар және кристалл қабыршақтары түрінде байқалады. Сондай-ақ вульфенит псевдоморфозаларының тотығу белдемінің басқа қорғасын минералдары бойынша, атап айтқанда церуссит бойынша жаралу жағдайлары белгілі. Бұл жағдайда ол церусситпен, англезитпен және галенитпен бірлеседі. Оның және төмен температуралы қорғасын-мырыш руда кенорындарында болу мүмкіндігі де жоққа шығарылмайды.

Жаксы кристалдары *Сиджақ* (Қырғызстан), *Қызыл-еспе* және *Сортұз* (Қазақстан) кенорындарында кездеседі. Тамаша кристалдары Чиуауадағы (Мексика) *Лос-Ламентос* кенорнында белгілі.

Практикалық мәні. Бұл минерал қорғасынның тотыққан басқа минералдарымен айтарлықтай мөлшерде болған жағдайында, қорғасынмен бірге молибден алу үшін де өндіріс нысаны бола алады.

3. Сулы молибдаттар және вольфраматтар

Мұнда біз әлі жеткіліксіз зерделенген үш валентті темірдің молибденмен және вольфраммен құрамында оттегі бар сулы қосылыстарын қысқаша сипаттаймыз.

ФЕРРИОЛИБДЕНИТ – $\text{Fe}^{3+}_2[\text{MoO}_4]_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. **Сингониясы** ромбылық. Күкірт-сары және сарғыш түсті талшықты немесе қабыршақты массаларда байқалады. $N_g=1,935-2,05$; $N_m=1,733-1,79$ және $N_p=1,720-1,78$.

Қаттылығы 1-2. **Жіктілігі** {001} бойынша орташа. **Мен. салмағы** 4,5. Оңай балқиды. Қышқылдарда ериді және NH_4OH сұйығында ыдырайды.

Молибдениттің өзгеру өнімі болып табылады. Руда кенорындарының тотығу белдемдерінде кездеседі. Алексеев кенішінде белгілі болған (Минусин ауданы).

ФЕРРИТУНГСТИТ – $(\text{W}, \text{Fe}^{3+})(\text{O}, \text{OH})_3$. **Сингониясы** гексагондық. Ақшыл-сары немесе қошқыл-сары түсті микроскоптық қалақтарда және қабыршақ агрегаттарда байқалады. Оптикалық теріс: $N_m=1,80$; $N_p=1,72$. **Мен. салмағы** 5,57. Басқа физикалық қасиеттері зерделенбеген. Қышқылдарда сары түсті WO_3 бөліп ыдырайды. Вольфрамиттің тотығу өнімі ретінде *Германия* кенішінде, Вашингтон өңірінің *Дир Грейл* кенорнында (АҚШ) және басқа жерлерде анықталған.

КЛАСС 6. Фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар

Жалпы ескертпелер. Бұл класқа құрамы бойынша сан қилы минерал түрлерінің біршама үлкен саны жатады. Дегенмен олардың жер қыртысындағы жалпы салмақ мөлшері біршама шамалы.

Үш валентті $[\text{PO}_4]^{3-}$, $[\text{AsO}_4]^{3-}$ және $[\text{VO}_4]^{3-}$ аниондары біршама ірі өлшемді болады, сондықтан ең орнықты сусыз AXO_4 типті қосылыстарды үш валентті ірі катиондармен бірлестікте күтуге болады. Оттекті тұздар сипаттамасының кіріспесінде көрсетілгендей, сирекжер және VI иондары осындай болып табылады. Шағын иондармен қосылыстары, барлық нағыз оттекті тұздарға ортақ ереже болатыны сияқты, сулы қалыпты тұздардан (гидратталған катиондары бар) әлдеқайда кең таралады.

Екі валентті металдар фосфаты ішінде, бірақ қосымша (OH, F, O кейде Cl) аниондарымен немесе қышқылды қосылыстар түрінде, ең орнықты болып табылатындарға және де біршама ірі катионды (Ca, Sr және кейде Pb) қосылыстары жатады, ал арсенаттар мен ванадаттар үшін Pb мұнда қосымша анионға Cl жатады, қосылыстары тән, және ақыр соңында Pb немесе Ca

қосарланған қосылыстары, Cu, Zn, Mg және Mn^{2+} бірге жатады. Кальций үшін, одан басқа, сулы қышқылды тұздары белгілі.

Осыған байланысты екісулы тұздарды салыстыруға – Ca фосфаты мен арсенатын өзара және Ca сульфатымен (гипспен) салыстыруға тоқталған дұрыс. Бұл қосылыстар моноклиндік сингонияда кристалданады және көптеген аса ортақ қасиеттерге ие болады (13-кесте).

13-кесте. Кейбір Ca қосылыстары қасиеттерін салыстыру

Минерал	a_0	b_0	c_0	β	Қаттылығы	Мен. салмағы
Гипс - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	10,47	15,15	6,28	$98^058'$	2	2,31
Брушит - $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	10,47	15,15	6,28	$95^015'$	2	2,25
Фармаколит - $CaHAsO_4 \cdot 2H_2O$	10,97	15,40	6,29	$96^036'$	2-2,5	2,64

Осының мысалында біз және бір рет өте кішкентай өлшемді H^{1+} катионы кристалдық құрылымға кірген кезде, ол құрылым өлшемдеріне іс жүзінде әсер етпейтініне көрнекі көз жеткіземіз. Келтірілген деректерді салыстырудан көре алатынымыздай, $[SO_4]^{2-}$ $[PO_4]^{3-}$ аниондары дәл бірдей өлшемдерге ие болады, ал $[AsO_4]^{3-}$ - біршама үлкен. Аниондарға тиісінше бұл минералдар шағылыстыру көрсеткіштері гипстен фармаколитке қарай артады; дегенмен осы барлық минералдардың қосынуы бірдей. Меншікті салмақтары комплексті аниондардағы катиондар (S^{3+} , P^{5+} және As^{5+}) атомдық салмақтарына толық сәйкестікте болады.

Екі валентті шағын катиондар фосфаттары мен арсенаттарына қатысты айтсақ, оларға біз күткеніміздей сегіз, төрт және үш H_2O молекулалы сулы қалыпты тұздар аса тән болады.

Бір валентті металдар (Na, Li) әдетте қосарланған Al^{3+} қосылыстарын, сондай-ақ бірқатар сирек күрделі сулы тұздар жасайды.

Сулы тұздар арасында құрамы бойынша айрықша жағдайға уранды слюдқалар деп аталатындар және күрделі ванадаттар ие болады.

Гетеровалентті изоморфизм құбылысы айрықша қызығушылыққа ие, ол көбінесе осы класс қосылыстарында, атап айтқанда фосфаттар арасында анықталады. Әсіресе көрнекі көрсеткішті мысалдарды біз аниондық радикалдардың изоморфтық алмасуы бойынша табамыз.

Мәселен, үш валентті $[PO_4]^{3-}$ анионы бірдей құрылған және тең өлшемді екі валентті $[SO_4]^{2-}$ және төрт валентті $[SiO_4]^{4-}$ аниондармен орын алмастыра алады. Мұнда әр түрлі жағдайлар орын алуы мүмкін.

1. Қосылыстың аниондық бөлігіндегі изоморфтық орын алмасу, катион бөлігінде құрамы мен зарядын сақтаған кезде жүреді. Бұл жағдайда аниондардың жалпы зарядының шамасы өзгермеуі тиіс. Оған жету үшін үш валентті $[PO_4]^{3-}$ анионы төрт валентті $[SiO_4]^{4-}$ анионымен алмасқанда бір мезгілде минерал құрамына екі валентті $[SO_4]^{2-}$ анионы кіреді. Тек осы жағдайда ғана анионның жалпы анионы сақтала алады.

Мұндай жағдайларда минерал түрлерінің кристалдық құрылымы мен физикалық қасиеттері әрине сақталады. Оған мынаны қосуға болады: катиондар арасында Ca^{2+} иондары тең өлшемді Na^{1+} , V және TR иондарымен

(аниондық бөлігінің құрамы мен заряды сақталған кезде) бір мезгілде алмасуы мүмкін.

2. Қосылыстың аниондық бөлігіндегі изоморфтық алмасу катиондық бөлігінде өзгермелі валентті бір мезгілдік алмасумен сүйемелдене алады. Мәселен, CePO_4 құрамға ие монацитте кейде айтарлықтай мөлшерде SiO_2 болатыны баяғыдан бері байқалған болатын. Яғни мұнда $[\text{SiO}_4]^{4-}$ анионы және онымен бір мезгілде Ce^{3+} катионына тиісті мөлшерде Th^{4+} катионы, кейде U^{4+} және Zr^{4+} изоморфты қосылады. Соңғы кезде И.Д. Борнеман-Старынкевич ханым дәл химиялық талдаулармен көрсеткендей, кейбір монациттерде изоморфты Ca^{2+} қоспасы аниондық бөлік құрамына екі валентті $[\text{SO}_4]^{2-}$ анионы кіруімен сүйемелденеді. Осылайша, монациттің осы түрлестерінің жалпы химиялық формуласы мынадай түрде жазылуы тиіс: $(\text{Ce}, \text{Th}, \text{Ca})[\text{PO}_4, \text{SiO}_4, \text{SO}_4]$; кальций басым болған жағдайда монациттің құрылымдық типі сақталған кезде минерал *чералит* деген түр атауын алады.

Көрсету керектігі, гетеровалентті изоморфизм кезінде әр түрлі қосылыстардың катион және анион бөліктерінде иондардың сандық ара қатынастарының қатал сәйкес келуі міндетті емес. Маңыздысы: 1) жиынтық оң және теріс зарядтардың тең болуы; 2) алмасатын иондар өлшемдері бірдей немесе жақын екендігі; 3) алмасқан кезде катиондар мен аниондардың жалпы саны сақталуы керек (катиондар санына H^{1+} протоны кіретін жағдайларды айтпағанда).

Осы класқа кіретін аса сан қилы минералдар физикалық қасиеттерінің жалпы сипаттамасына біз тоқталмаймыз. Олар кең ауқымда ауытқиды. Оны минералдардың жекелеген топтарын сипаттаған кезде жасау орынды.

Бұл класқа жататын көп санды минералдардың жаралу жағдайларына келсек, алдымен олардың басым көпшілігінің, әсіресе сулы қосылыстарының жаралуы минералжаралудың экзогендік процестерімен байланысты (руда кенорындарының және шөгінді түзілімдердің тотығу белдемдерінде жаралады). Эндогендік минералдар қатарына тек қана дерлік фосфаттар жатады, мұнда олардың көпшілігі магмалық процестердің ақырғы сатысында, негізінен пегматиттерде, кейде гидротермалық желілерде жаралады. Апатитке де (кальций фосфатына) магмалық кенорындар белгілі (нефелинді сиениттерде).

Бұл класс тұздары арасында сусыз да, сулы да қосылыстар кең таралымды болғандықтан, сульфаттардан айырмашылығы осыған жататын минералдардың барлығы үлкен екі топқа бөлінеді:

- 1) сусыз фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар;
- 2) сулы фосфаттар, арсенаттар және ванадаттар.

СУСЫЗ ФОСФАТТАР, АРСЕНАТТАР ЖӘНЕ ВАНАДАТТАР

Бұл кластың сусыз қосылыстары табиғатта біршама көп санды минералдардан тұрады. Ортоқышқылдардың *қалыпты* тұздарынан басқа *қышқылды* тұздардың сирек өкілдері белгілі. *Негізді* тұздар әлдеқайда кең таралған.

1. Монацит тобы

МОНАЦИТТЕР – $(Ce, La, Nd, \dots)[PO_4]$. Грекше *монайзен* – оңашаланған дегеннен. Әдетте жекелеген кристалдар түрінде кездеседі.

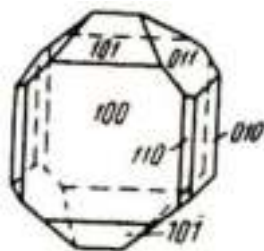
Химиялық құрамы. Сирекжерлер окисінің мөлшері (негізінен Ce, La және Nd, олардың біреуінің басым болуына байланысты монацит атауының соңынан жақшаларда суффикске ие болады) 50-68 % шамасына жетеді; изоморфты қоспалар түрінде Y_2O_5 болады (5 %-ке дейін). Әдетте P_2O_5 мөлшері 22-31,5 % ауқымында өзгереді. Изоморфты қоспалар түрінде ThO_2 біршама жиі (5-10 %, ал кейбір жағдайларда 28 %), кейде ZrO_2 (7 %-ке дейін) және солармен қатар SiO_2 (6 % шамасына дейін), ал кейде CaO және сонымен бірге SO_3 болады.

Осылайша, кристалхимиялық көзқарастан гетеровалентті изоморфизмнің тамаша мысалын көреміз. Монациттің мұндай түрлестерінің химиялық формуласы өзгермей, индекстерді пайдалана отырып мынадай түрге ие болуы тиіс: $(Ce_{(1-x-y)}Th_xCa_y)([PO_4]_{(1-x-y-2z)}[SiO_4]_{(x+z)}[SO_4]_{(y+z)})$.

Құрамында өте мардымсыз мөлшерде және де MgO, MnO, PbO, Fe_2O_3 , Al_2O_3 және H_2O болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/n(C^5_{2h})$. $a_0=6,79$; $b_0=7,04$; $c_0=6,74$; $\beta=104^{\circ}24'$. Кристалдарының келбеті әдетте $\{100\}$ бойынша тақталған (*255-сурет*), кейде призмалық, изометрлік және пирамидалық. Пішіндері ішінде таралғандары: пинакоидтар $\{100\}$, $\{010\}$, $\{101\}$, призмалар $\{110\}$, $\{011\}$ және басқа. Айғыздалу жиі байқалады. Қосақтары (100) және (001) бойынша. Әдетте ұсақ кристалдарда кездеседі. Жекелеген ірі кристалдарының салмағы кейде бірнеше килограммға жеткен.

Түсі. Монацит сарғыш-қошқыл, қоңырқай, қызыл, кейде жасыл түсті. **Жылтырлығы** шыныша күшті, майша. $Ng=1,837$; $Nm=1,787$; $Np=1,785$.



255-сурет. Монациттің тақташа кристалы

Қаттылығы 5-5,5. **Жіктілігі** кейде $\{001\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 4,9-5,5.

Басқа қасиеттері. Көбінесе радиобелсенді (ThO_2 болуынан).

Диагноздаушы белгілері. Пегматит пен граниттерде әдетте өзіне тән тақташа пішіндері бойынша, беймөлдір кристалдарының күңгірт-сары немесе қызғылт-қошқыл түсімен танылады.

НСІ қышқылында қиын ериді де ақ тұнба бөледі. Бурамен шыны жасайды, ыстық түрде сары немесе сарғыш-қызыл, салқындағанда түссіз.

Жаралуы мен кенорындары. Әдетте бұл минерал *пегматиттерде* кездеседі. Кейде гранит пен гнейсте далашпаттармен, цирконмен ($Zr[SiO_4]$), ал кейбір жағдайларда магнетитпен, ильменитпен және басқа минералдармен парагенезисте болады. Дегенмен оның гидротермалық жаралымды доломит желішіктерінде магнетитпен бірлестіктегі табылымдары белгілі.

Түбірлік кенорындары қираған кезде монацит химиялық төзімді минерал ретінде шашылымдарға өтеді (өзен және теңіз шашылымдары).

Россияда монацит гранит пегматиттері шашылымдарының *Черная Салма* (Солтүстік Карелияда) және *Имплахти* (Оңтүстік Карелияда), сондай-ақ *Мочалина Лога* кенорындарында (Оңтүстік Орал) белгісі.

Монациттің шетел кенорындарынан *Мадагаскар* пегматиттерін (Анкацобедегі *Волхамбохитра* тауында) айтуға болады, мұнда оның кристалдары өте ірі өлшемдерде кездеседі. Сондай-ақ үлкен өзен және теңіз шашылымдары Бразилияда (Минас-Жерайс, Байя) және *Траванкорде* (Индия) бар, мұнда оның арнайы өндірісі бар.

Практикалық мәні. Монацит сирекжерлер мен торийдің көзі ретінде өнеркәсіптік қызығушылық туындатады. Өндірісі тек қана шашылымдардан шаю арқылы жүргізіледі, ол меншікті салмағының ауырлығына байланысты ауыр фракцияда жинақталады.

Сирек жерлердің, негізінен церийдің қолданылуы аса сан қилы. Қазіргі кезде олар негізінен самаладағы доға шамдары үшін пирофор қорытпалар мен церий көмірін өндіруге пайдаланылады. Олар және де шынының айрықша сорттарын даярлауға қолданылады. Бұл шыны жарық сәулесін өткізеді, бірақ ультракүлгін сәулелерді және жылу сәулелерінің көпшілігін шағылыстырады. Берік жеңіл (мысалы, церийдің магниймен, алюминиймен және басқалармен) қорытпалар, химия өнеркәсібінің түрлі салаларында катализатор ретінде, бояушы ретінде және көптеген басқа мақсаттарда тұтынылады.

КСЕНОТИМ – $Y[PO_4]$. Грекше *ксенос* – бөтен, *тими* – ар, намыс дегеннен (ұзақ уақыт басқа минералдар ретінде қабылданып келген).

Химиялық құрамы. Y_2O_3 теориялық мөлшері 63,1 %-ке жетуі тиіс. Әдетте мардымсыз мөлшерде басқа сирекжерлер (Er, Ce және басқа), кейде ThO_2 , UO_2 (5 %-ке дейін), ZrO_2 (3 %-ке дейін), SnO_2 , SiO_2 (9 %-ке дейін) және басқалар болады. Гуссакит деп аталатын түрлесінің құрамында SO_3 6%-ке дейін (және CaO болуы да ықтимал) болады.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^4L^3PC . **Кристалдарының келбеті.** Касситерит пен циркон кристалдарына ұқсас призма келбетті кристалдарда, сондай-ақ тұтас массаларда кездеседі. Кристалдық құрылымы бойынша цирконге ұқсас. Кристалдары әдетте {110}, {010} және {011} комбинациясы болып табылады. Басқа пішіндері сирек кездеседі.

Түсі. Ксенотим сарғыш-бурыл, қоңырдан қызылға дейін, сұр болады. **Сызық түсі** ашық-қошқыл немесе қызғылт. **Жылтырлығы** шыныша, балауызша немесе майша. $Ng=1,815$ және $Nm=1,720$.

Қаттылығы 4-5. Омырылымы бейтегіс. Морт. **Жіктілігі** {100} бойынша жетік байқалады. **Мен. салмағы** 4,45-4,59. **Басқа қасиеттері.** Радиобелсенділігі жиі.

Диагноздаушы белгілері. Оған ұқсас цирконнен, рутилден және касситериттен төмендеу қаттылығы, ал жұқа шлифтерде оптикалық қасиеттері бойынша оңай ажыратылады.

Әдеттегі қолданыстағы қышқылдарда ерімейді. H_2SO_4 қышқылына батырғанда жалын көкшіл-жасыл түске боялады.

Жаралуы және кенорындары. Гранит пен пегматиттерде ұсақ шашыранды кристалшалар түрінде, көбінесе цирконмен (онымен кейде бағдарланған кірікпелер жасайды), апатитпен, алланитпен, монацитпен және басқалармен бірлестікте кездеседі.

Ксенотим – біршама төзімді қосылыс. Құрамында ксенотим бар таужыныстар қираған кезде, ол шашылымға өтеді.

Солтүстік Карелия гранит пегматиттерінде ксенотим Th, U-цирконмен бағдарланған кірікпелерде белгілі, *Оленчик* аралы желілерінде. Анабар үстіртінде (Батыс Якутия – Сақа Республикасы) *Томтор* массивінде байқалған. Ең белгілілері – Бразилияның (Минас-Жейрас), Норвегияның (Хиттере-Арендаль маңында, Крагере-Телемаркенде), Швецияның (Иттербии-Стокгольм маңында) және басқа жерлердегі құрамында ксенотин бар граниттері мен шашылымдары.

2. Апатит тобы

Апатит тобы $A_2[XO_4]_3Z$ типті қосылыстардан тұрады, мұнда катиондар рөлін Ca^{2+} , Pb^{2+} және бірқатар изоморфтық қоспаларында кейде TR^{3+} , Y^{3+} , Mn^{2+} және Sr^{2+} атқарады, ал қосымша аниондар ретінде F^{1-} , Cl^{1-} , $[OH]^{1-}$, O^{2-} , $[CO_3]^{2-}$ болады.

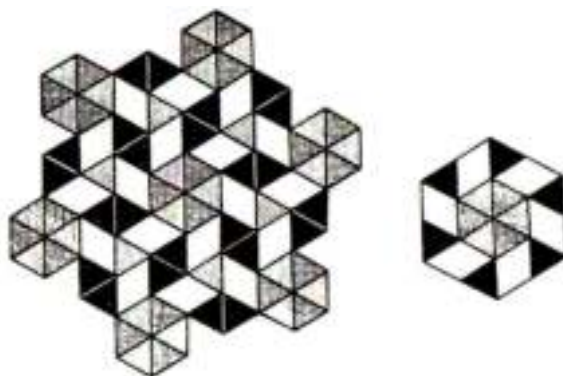
Бұл топтың тамаша ерекшелігіне жататыны – комплексті $[PO_4]^{3-}$ анионы жартылай әлсіздеу $[SiO_4]^{4-}$ анионымен, бірақ күштілеу $[SO_4]^{2-}$ анионымен комбинацияда (егер мұнда катиондардағы валенттілік өзгеріске түспейтін болса) жартылай алмаса алуы.

ФТОР және **ХЛОРАПАТИТ** – $Ca_5[PO_4]_3F$ және $Ca_5[PO_4]_3Cl$. Грекше *апатио* – алдаймын дегеннен. Бұрынғы кезде оны призмалық немесе сырықша келбетті басқа минералдар (берилл, диопсид, турмалин және басқа) ретінде жиі шатасып қабылдаған.

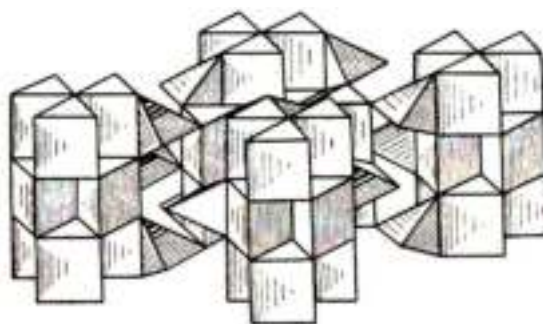
Химиялық құрамы. Фторапатит үшін: CaO-55,5 %; P_2O_5 -42,3 %; F-3,8 %. Хлорапатит үшін: CaO-53,8 %; P_2O_5 -41 %; Cl-6,8 %. Көбірек таралғаны - фторапатит. Көбінесе F-мен қатар әдетте шамалы мөлшерде Cl, OH және CO_3 (карбонат-апатит) болады. CaO-ға изоморфтық қоспаларға кейде Na_2O , сирекжерлер, негізінен Se_2O_3 (5 %-ке дейін), MgO (бірнеше %) болады; мардымсыз мөлшерде Fe_2O_3 , Al_2O_3 және басқалар кездеседі.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дипирамидалық L^6PC . Кеңістіктік тобы $P6_3/m(C^2_{6h})$. Фторапатит үшін: $a_0=9,36$ $c_0=6,88$. Хлорапатит үшін: $a_0=9,52$; $c_0=6,85$.

Кристалдық құрылымы. Элементар ұяшық (0001) жазықтығындағы проекциясында ромб түрінде болады (256-сурет), оның төбелерінде фтор иондары орналасады. Кальций иондары Н.В. Белов бойынша, тригондық призма ішінде отырып, *c* осі бойында бағана жасайды (257-сурет). Бұл бағаналар екі сортты: 1) құрылысы бойынша күрделілеу және берілген қабатта үш призмадан тұрып, олардың бағдарлануын әр қабатта алтылық осі төңірегінде өзгертеді, осыған байланысты құрылымдық мотив тұтастай гексагондық келбетке ие болады (256-суреттің оң жағында); 2) қарапайым және жекелеген үш жақты призмалардан тұрады (257-суретте). Осы бағаналардың барлығы өзара PO₄ тетраэдрлерімен байланысып, тік бағытта бос октаэдрлермен кезектеседі. Фтор аниондары тригондық призмалардың екі қабатының центрінде орналасады. Карбонат-апатитке қатысты айтсақ, Н.В. Беловтың түсінігі бойынша, мұнда [PO₄] радикалының [CO₃F] радикалына жартылай алмасуы орын алады. Апатиттің бұл түрлесінде фтордың мөлшері жоғары болатыны осымен түсіндіріледі.



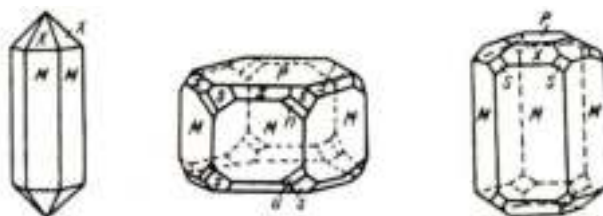
256-сурет. Апатит кристалдық құрылымының *c* осі бойынша проекциясы. Сол жағында - құрылымның пландағы жалпы түрі; оң жағында – құрылымның гексагондық бөлікшесі, ол бөлетін ақшыл сызықтарын бойлай кесілген (фигурада сол жағында) және центрінде фтор анионы бар. Қара – PO₄ тетраэдрлері; көлбеу және торлама айғыздалғаны – Ca²⁺ катионды тригондық призмалардан тұратын күрделі құрылысты бағаналар; қиғаш айғышдалған үшбұрыштар - Ca²⁺ катионды қарапайым жекелеген призмалар



257-сурет. Апатиттің аксонометриялық проекциядағы құрылымы. Фтор аниондары алтылық бұранда осьтерде (6₃) шоғырланған, олардың төңірегінде тригондық кальцийлі призмалар орналасады

Кристалдарының келбеті. Апатит жақсы жаралған кристалдар қуыстары ішінде немесе сыртында өскен алтықырлы призмалар және инелер түрінде жиі кездеседі, кейде қысқа бағана немесе тақташа пішіндер түрінде

(258-сурет). Жақтарынан әсіресе призмалар $\{10\bar{1}0\}$ және $\{11\bar{2}0\}$, пинакоид $\{0001\}$, дипирамидалар $\{10\bar{1}1\}$, $\{11\bar{2}1\}$ және басқалар кездеседі. Призма жақтары тік айғыздармен көмкерілген болады. Және де апатиттің түтікше (іші қуыс) гексагондық кристалдары кейбір гидротермалық темірруда кенорындарында және пегматиттерде кездеседі. **Агрегаттары.** Түйірлі, тығыз, майда кристалды, кейде көлденең желішікті және жер тәрізді массаларда кең таралған. Шөгінді таужыныстарда апатиттің түрлі конкреция пішінді шоғырлары кең таралған, әдетте олардың құрамында бөтен минералдар (кварц, глауконит, кальцит және басқа) түйіршіктері көптеп кездеседі. Бұл шоғырлар *фосфорит* деген жалпы атауға ие. Сондай-ақ жануарлар сүйегі және ағаш сынықтары бойынша псевдоморфозалары кездеседі. Оларда құрылысының микроскоп астында анықталатын барлық детальдары көбінесе сақталады.



258-сурет. Апатит кристалдары: $M\{10\bar{1}0\}$, $P\{0001\}$, $X\{10\bar{1}1\}$, $S\{11\bar{2}1\}$, $n\{21\bar{3}1\}$. Соңғы пішінінің болуы симметрияның тік жазықтықтарының жоқ екендігін көрсетеді

Түсі. Апатит түссіз (мөлдір), ақ, көбінесе солғын-жасылдан изумруд (зүмрат) жасылға дейін, көгілдір, сары, қошқыл, күлгін, қызғылттан қоңыр-қызылға дейін болады. **Жылтырлығы** шыныша, омырылымының бетінде майша. Таза фторапатит үшін: $Nm=1,633$; $Np=1,629$.

Қаттылығы 5. Морт. Омырылымы бейтегіс, кейде ұлуша. **Жіктілігі** $\{0001\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,18-3,21.

Диагноздаушы белгілері. Апатит кристалдарына алты қырлы призмалық келбет тән. Өзіне ұқсас берилл және аквамарин кристалдарынан төмендеу қаттылығымен ажыратылады.

HNO_3 , HCl және H_2SO_4 қышқылдарында ериді. Азотқышқылды ерітінді молибден қышқылды аммониймен фосфорға реакция береді.

Жаралуы және кенорындары. Ең соңғы *магмалық* минералдардың бірі ретінде микроскоптық түйірлер түрінде көптеген интрузиялық сілтілі таужыныстар арасында (нефелинді сиенитте) болады. Апатит оларды кейде тұтас түйірлі массалар пішінінде силикаттармен (нефелин, титанит, эгирин, кейде циркон және басқа) бірлестікте кездеседі. Мысалы, Кола түбегіндегі қоры бойынша бірегей *Хибиногорск* кенорны сондай.

Апатит *Ковдар* массиві карбонатиттерінде болады, ол мұнда форстеритпен, диопсидпен, магнетитпен және флогопитпен бірлеседі.

Біршама ірі сырықша немесе призма кристалдар түрінде қышқылды және сілтілі магмалық таужыныстардың көптеген *пегматиттерінде* анықталады. Апатиттің тамаша кристалдарымен даңқы шыққан *Слюдянск*

кенорны бар (Байкал көлі маңында), мұнда ол флогопитпен және диопсидпен бірлестікте кальцифирде болады.

Ол және де кейбір *гидротермалық* желі кенорындарында кездеседі, мұнда касситерит, флюорит және басқалар сияқты минералдардың серігі болып табылады. Альпілік типті желілерде қысқа бағана және тіпті жалпақ пішінді апатит кристалдары байқалады.

Фосфорға байыған әктастың мору процестері кезінде карст және шаймалану қуыстарында кейде қошқыл фосфорит шоғырлары жаралады, олар ағат сияқты концентрлі-зоналы құрылысты болады.

Кальций фосфаттарының көптеген ірі кенорындары теңіз *шөгінді* кенорындарында күрделі биохимиялық жолмен жаралады, олар белгілі бір стратиграфиялық горизонттарда орналасады. Фосфорит сан түрлі пішінді конкрециялардан және жалбырлардан тұрады, кейде сазды және глауконит құмы мен құмтасы арасында тұтас массалар жасайды.

Сондай-ақ фосфориттің (гуано) теңіз құстары мен жарқанаттардың саңғырығынан да жаралатынын айту керек. Олар әктастың немесе құрамында кальций бар таужыныстардан тұратын теңіз жағалары мен үңгірлерін мекендейді.

Украина аумағында бірқатар өте ірі фосфорит кенорындары бар. Мәселен, *Оңтүстік Орыс ойпаңы* кенорнын айтсақ, ол фосфоритті горизонттан тұрып, оның жоғарғы бор түзілімдеріндегі жер бетіне шығатындары үзліспен Подолиядан (Батыс Украина) Волга жағалауына дейін (Саратов облысы) орасан зор алаңға созылады; Солтүстігінде бұл шегара Курск облысы арқылы өтсе, оңтүстігінде – Донецк облысының оңтүстік шалғайымен өтеді. Фосфорит өте құмды, қалыңдығы шамалы жалбырлар немесе қабаттар түрінде жатады. Басқа өте ірі тұтас жоғары сапалы фосфориттің қабатты массасынан тұратын кенорын Қаратау жотасында (Оңтүстік Қазақстан) төменгі палеозой түзілімдерінде орналасқан. Фосфоритті тұтас массалар сан қилы күңгірт реңді, кей жерлерінде оолит құрылысты.

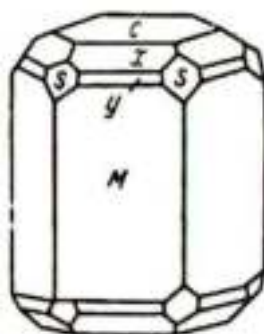
Ең ірі шетелдік кенорындардың мысалы: *АҚШ-тың батыс штаттарындағы* (Айдахо, Вайоминг, Юта, Монтана) пермь түзілімдерінде орналасқан фосфориттің қабаттық жатындары және палеоген түзілімдері арасындағы жағалау бойында орналасқан *Алжир, Тунис және Марокко* кенорындары.

Практикалық мәні. Апатит пен фосфориттің басты қолдану саласы (90 % шамасы) жасанды тыңайтқыштар (әр түрлі суперфосфаттар мен термофосфаттар) даярлау болады. Химия өнеркәсібінде апатиттен фосфор қышқылы мен тұздары өндіріледі, сондай-ақ фосфор негізінен сіріңке өндірісінде тұтынылады. Фторға бай апатитпен қосымша, өнеркәсіптің бірқатар саласы үшін құнды кремнийфторсутек қышқылы алынады. Керамика өнеркәсібінде апатиттен сүйек фарфор деп аталатын даярланады.

ПИРОМОРФИТ – $Pb_5[PO_4]_3Cl$. Грекше *пирос* - от, *морфэ* - пішін дегеннен.

Химиялық құрамы, %: PbO-82; P₂O₅-15,4; Cl-2,6. Кейбір жағдайларда CaO 8-9 %, As₂O₃ 4 % шамасына дейін анықталады. Кейде хром қоспасы (CrO₃ түрінде болатыны көрінеді) анықталып, ашық-қызыл түске бояйды, өте сирек V₂O₅ болады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дипирамидалық L⁶PC. **Кристалдық құрылымы** апатит құрылымына ұқсас (жоғарыда айтылған). **Кристалдарының келбеті.** Әдетте призма немесе бағанаша кристалдар түрінде кездеседі (259-сурет). Бөшке тәрізді және ине пішінділері байқалады. Параллель кіріккен кристалдары жиі. **Агрегаттары.** Әдетте таралған ұсақ кристалдар друзасынан басқа кристалл, бүйрек тәрізді және шар тәрізді жаралымдарын жиі байқауға болады.



259-сурет. Пироморфит кристалы: $c\{0001\}$, $M\{1010\}$, $y\{2021\}$, $x\{1011\}$, $S\{1121\}$

Түсі. Әр түрлі жасыл, сары және қошқыл түс реңдері. Кейде хроммен ашық-қызыл немесе жирен-сары түске боялған түрлестері кездеседі. Көбінесе бояуы зоналанған болады. **Сызық түсі** ақ, кейде сарғыш. **Жылтырлығы** алмасша, майша. $Nm=2,050$ және $Np=2,042$.

Қаттылығы 3,5-4. Морт. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ. **Мен. салмағы** 6,7-7,1. Кальцийге бай түрлестерінде меншікті салмағы 5,9-ға дейін төмендейді.

Диагноздаушы белгілері. Пироморфит кристалдары апатиттен меншікті салмағы және алмасша жылтырлығы бойынша ажыратылады. Мимезит пен ванадиниттен химиялық реакцияларсыз ажыратылуы көбінесе мүмкін емес.

HNO₃ қышқылында және KOH сілтісінде (егер құрамында әк болмаса) ериді.

Жаралуы және кенорындары. Пироморфит тек қана экзогендік текті дерлік минерал болғандықтан, қорғасын немесе қорғасын-мырыш сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде жаралады (шаймалану қуыстарында ұсақ кристалдар друзасы және кристалл қабыршақтары түрінде). Мұнда фосфор қышқылының көзі қорғасын минералдарына әсер ететін жер беті суында болатыны көрінеді.

Пироморфиттің церуссит пен галенит бойынша псевдоморфозалары жиі. Кері құбылыс жағдайлары да белгілі, яғни пироморфиттің галенитпен кристалдар шетінде алмасуы, ол белгілі бір айрықша жағдайларда орын алады.

Сондай-ақ пироморфиттің ванадинит, вокеленит, вульфенит, гемиморфит, халцедон және кальцит бойынша псевдоморфозалары да анықталған.

Эндогендік минерал ретінде кейбір төмен температуралық гидротермалық желілер кенорындарында болатыны көрсетіледі.

Пироморфитті серік ретінде көптеген кенорындардың тотығу белдемдерінде кездестіруге болады.

Россияда ол Оралда *Березовск* алтын рудалы кенорнының тотығу белдемінде байқалады (крокоитпен бірге). Пироморфит біршама As_2O_5 қоспасымен тамаша кристалдар түрінде *Шилка* және *Зеренту* кенорындарында (Шығыс Забайкалье), сондай-ақ *Қызыл-есне* (Қазақстан) және басқа жерлерде белгілі.

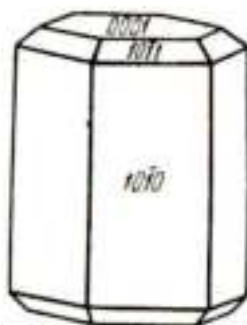
Практикалық мәні. Тотығу белдемінің басқа қорғасын минералдарымен бірге, қорғасынның көзі ретінде қызығушылыққа ие. Көп мөлшерде ол өте сирек кездеседі.

МИМЕТЕЗИТ – $Pb_5[AsO_4]_3Cl$. Грекше *миметес* – ұқсайтын дегеннен. Мұнда оның пироморфитке ұқсастығы айтылады.

Химиялық құрамы, %: $PbO-74,9$; $As_2O_3-23,2$; $Cl-2,4$ шамасында.

Изоморфтық қоспалар түрінде P_2O_5 , Sb_2O_5 , сондай-ақ CaO (10-14 %) жиі анықталады, ал кейде BaO мен CO_3 болады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дипирамидалық L^6PC . **Кристалдарының келбеті.** Әдетте призма (*260-сурет*), көбінесе ине пішіндерінде кездеседі. Бөшке тәрізді, тақташа және дипирамида кристалдары белгілі. **Агрегаттары.** Бос қуыстарда ұсақ кристалдар друзасы мен табақшалары, қабыршақтар, кейде тұтас сауыс және жер тәрізді массалар түрінде байқалады.



260-сурет. Миметезит кристалы

Түсі. Таза түрлестері мөлдір және түссіз. Көбінесе бал-сары, қошқыл немесе жасылтым түске боялады. **Сызық түсі** ақ. **Жылтырлығы** алмасша, майша. $Nm=2,135$ және $Np=2,120$.

Қаттылығы 3,5. Морт. Омырылымы ұлуша, бейтегіс. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ. **Мен. салмағы** 7,19-7,25.

Диагноздаушы белгілері. Пироморфит пен ванадиниттен тек химиялық реакция көмегімен ғана сенімді анықтауға болады.

H_2SO_4 және HCl қышқылдарында қиын еритін $PbSO_4$ мен $PbCl_2$ түріндегі тұнба бөліп ериді.

Жаралуы мен кенорындары. Пироморфит сияқты сульфид қорғасын-мырыш кенорындары тотығу белдемдерінде кездеседі, бірақ айтарлықтай сирек. Күшәла көзі тотығатын арсенидтер, сульфоарсенидтер мен сульфоарсенидтер, атап айтқанда бастапқы қорғасын рудаларында қоспалар түрінде байқалатын арсенопирит пен солғын кендер болып табылуы ықтимал.

Әдебиетте эндогендік мимезиттің төмен температуралық гидротермалық *Лиали* кенорнында (Боливия, Сика-Сика провинциясы) желілерде кварцпен, халседонмен, кальцитпен және басқалармен бірге жаралу жағдайы жазылған.

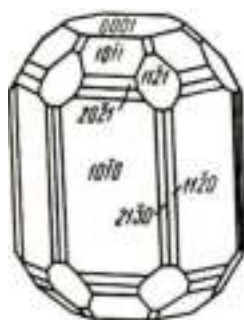
Россияда бүйрек тәрізді жаралымдар мен кристалдар түрінде Шығыс Забайкальенің бірқатар қорғасын-мырыш руда кенорындарында (Нерчинск ауданы) анықталған: *Трехсвятительск, Спасск, Кличкинск* және *Кадаинск*.

Шетел кенорындарынан айта кететіні: *Тсумеб* Отави маңында (Намибия, Оңтүстік-Батыс Африка), мұнда ірі, тамаша жаралған кристалдары кездескен; *Сан-Пьедро-Коральитос* Чиуауада (Мексика) және *Тинтик* Ютада (АҚШ).

Ванадинит – $Pb_5[VO_4]_3Cl$. Атауы құрамында құнды элемент – ванадий болуына байланысты берілген.

Химиялық құрамы, %: PbO – 78,3; V_2O_5 – 19,3; Cl – 2,4. Шамалы мөлшерде кейде P_2O_5 , As_2O_5 және басқалар болады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дипирамидалық L^6PC . **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары әдетте ұсақ және призмалық (261-сурет) немесе ине келбетті болады. Көбінесе кристалшалары қуыс призмалар немесе еңсіз дипирамидалар түрінде байқалып, қуыстарда кристалдар щеткасын және призма кристалдардың параллель өскіндерін жасайды (262-сурет). Мұндайлар пироморфитте де белгілі. Бүйрек тәрізді агрегаттарда радиал-сәуле немесе талшық құрылысты болып кездеседі.



261-сурет. Ванадинит кристалы



262-сурет. Ванадиниттің жеткіліксіз жаралған кристалдар өскіні

Түсі. Ванадинит сары, қошқыл, кейде қызыл түсті. **Сызық түсі** ақ немесе солғын-сары. **Жылтырлығы** алмасша, майша. $Nm=2,354$ және $Np=2,299$.

Қаттылығы 3. Морт. Омырылымы бейтегіс. **Жіктілігі** байқалмайды. **Мен. салмағы** 6,66-7,1.

Диагноздаушы белгілері. Ванадинит пироморфит пен мимезитке карағанда төмендеу қаттылыққа ие. Сенімділеу анықтау үшін бірақта химиялық реакцияларға жүгіну қажет.

Минерал ұнтағын сұйытылған HNO_3 тамшысында шыны бетінде еріткенде және ары қарай құрғағанға дейін кептіргенде, күңгірт-қызыл қалдық жаралуына әкеледі (бұл топтың басқа минералдары ақ немесе сары қалдық береді).

Жаралуы және кенорындары. Пироморфит пен мимезит сияқты негізінен карбонат таужыныстар арасында орналасатын қорғасын-мырыш сульфид кенорындары тотығу белдемдерінде орналасады. Пироморфит бойынша псевдоморфозалары анықталған.

Россия ауқымында ванадинит *Березевск* алтын руда кенорны (Екатеринбург маңында, Ортаңғы Орал) тотығу белдемдерінде белгілі.

Сүлейменсай кенорнында (Жамбыл облысы) ванадинит айтарлықтай мөлшерде жақсы жаралған кристалдар түрінде, сондай-ақ тотықпаған ұсақ түйірлі галенитті көмкеретін жер тәрізді және қопсық масса түрінде кездескен. Бос қуыстардағы ірі кристалдары *Мибладен* (Марокко) және *Апач-Майн* (АҚШ, Аризона) кенорындарында бар. Сондай-ақ *Сьерра-де-Кордоба* (Аргентина) және *Лос-Ламентос* (Чичуа, Мексика) кенорындарын атаймыз. Оларға деген қызығушылық мынада: ванадинит, деклуазит пен вульфенит мұнда тотығу белдемдерінің төменгі жағында шоғырлар жасаған.

Практикалық мәні. Құрамында ванадинит бар рудалар айтарлықтай шоғырлар жасаған жағдайларда, олар ванадий көзі ретінде өнеркәсіптік қызығушылыққа ие болады.

Қорытындылау. Сипаттамадан шығатыны, қарастырылып отырған топ минералдары ортақ қасиеттерімен қатар елеулі айрықшалықтарға да ие болады, олар осы топқа жататын қосылыстардың химиялық құрамына байланысты. Ең маңызды минералдардың ең басты ерекшеліктерін өзара салыстырып өтейік (14-кесте).

14-кесте. Апатит тобындағы басты минералдардың ең маңызды қасиеттері

Минерал	Мен. салмағы	Қаттылығы	Шағылыстыру коэффициенті		Жылтырлығы
			Nm	Np	
Фторapatит - $Ca_5[PO_4]_3F$	3,2	5	1,633	1,629	Шыныша
Пироморфит - $Pb_5[PO_4]_3Cl$	6,9	3,5-4	2,050	2,042	Алмасша
Миметезит - $Pb_5[AsO_4]_3Cl$	7,2	3,5	2,135	2,120	Шыныша
Ванадинит - $Pb_5[VO_4]_3Cl$	7,0	3	2,354	2,299	Алмасша

Пироморфит, миметезит пен ванадинит қасиеттерін салыстырудан оңай байқалатыны, комплексті XO_4 анионында Р біртіндеп As және V

элементтеріне алмасу барысында минерал қаттылығы төмендейді, ал шағылыстыру коэффициенттері, керісінше артады. Меншікті салмағындағы айырмашылық олардың барлығында ауыр металл-қорғасын мөлшері басқа элементтерден көп басым болуы салдарынан байқалмайды.

Апатит пен осы қарастырылған минералдар қасиеттеріндегі үлкен айырмашылық табиғи нәрсе.

3. Амблигонит-триплит тобы

АМБЛИГОНИТ – $(\text{Li,Na})\text{Al}[\text{PO}_4]\text{F}$. Монтебразитпен $(\text{Li,Na})\text{Al}[\text{PO}_4](\text{OH})$ ұдайы қатар жасайды.

Сингониясы триклиндік. Кейде ірі, нашар жаралған кристалдар түрінде кездеседі. **Түсі** ақ, жасылтым, көкшіл, сарғыш және басқа реңді. Шала мөлдір. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. **Қаттылығы** 6. Морт. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша өте жетік. **Мен. салмағы** 2,98-3,15. H_2SO_4 қышқылында ериді.

Негізінен сирек металды пегматит желілерінде құрамында литий бар басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Россия аумағында амблигонит пен монтебразит кварцпен, альбитпен, лепидолитпен, эльбаитпен және сподуменмен бірге *Воронье-Тундра* кенорнында (Кола түбегі) белгілі; *Кестер* (Сақа Республикасы) кенорны грейзендері арасында кварц-сульфит желілері құрамында болады. Амблигонит *Вишняковск* (Шығыс Саян), *Енашимо* (Енисей бұйраты) кенорындарында табылған. Ірі кристалдары Қара-Адыр (Тыва Республикасы) пегматиттерінде белгілі.

Эстремадурде (Испания) *Кесерес*, Мэйн штатындағы *Хеброн* және Оңтүстік Дакотадағы (АҚШ) *Кастер* қалайылы жатындарда, сондай-ақ басқа да жерлерде табылған.

ЛИТИОФИЛИТ – $\text{Li}(\text{Mn,Fe})\text{PO}_4$. Сирек кездеседі. *Трифилинмен* $\text{Li}(\text{Fe,Mn})\text{PO}_4$ жетік изоморфизмі бар. **Сингониясы** ромбылық. **Түсі**. Литиофилит қызғылт-бурыл, қызғылт-қоңырдан бал-сарыға дейін, солғын жирен-қызғылт түсті. **Сызық түсі** ақ немесе ашық түсті. **Жылтырлығы** шынышадан шала шайыршаға дейін. **Қаттылығы** 4,5-5. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша жетік және $\{010\}$ бойынша онша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,34-3,58, мұндай ауытқу қатардың тиісінше марганецті және темірлі мүшелеріне сәйкес келеді. Шағылыстыру көрсеткіштері темір мөлшерінің артуына байланысты жоғарылайды. Тотығу белдемінде литиофилит пен трифилин өзгеріске ұшырап, ақыр соңында енді үш валентті Fe және Mn фосфаттары *пурпурит* $(\text{Mn,Fe})\text{PO}_4$ және *гетерозит* $(\text{Fe,Mn})\text{PO}_4$ қосылыстарына өтеді.

Қышқылдарда ериді. Mn, Fe және P элементтеріне реакция береді.

Россияда сирек металды (натрий-литийлі, А.Е. Ферсман бойынша) пегматиттерде *Елаш* (Батыс Саян), *Воронье-Тундра* (Кола түбегі) және *Қара-Адыр* (Тыва) кенорындарында кездескен. Пегматиттерде кварцпен, бериллмен және литий минералдарымен *Брэнчвилл* кенорнында (АҚШ,

Коннектикут штаты) және басқа жерлерде кездескен. Тотығу белдемінде өзгеріске ұшырайды.

ТРИПЛИТ – $(\text{Mn,Fe})_2[\text{PO}_4](\text{F,OH})$. Құрамында изоморфты қоспалар түрінде Са және Mg болады. Тұтас массаларда кездеседі. **Сингониясы** моноклиндік. **Түсі** қызғылт немесе қошқыл. **Жылтырлығы** шыныша. **Қаттылығы** 4-5. **Жіктілігі** нашар білінген. **Мен. салмағы** 3,44-3,87.

Магнит ұнтағымен фосфорға реакция береді. HCl қышқылында ериді.

Пегматит желілерінде кварцпен, бериллмен, апатитпен, флюоритпен және басқалармен бірлестікте, сондай-ақ кейбір гидротермалық желілерде кездеседі. Россияда гидротермалық *Джидда* кенорнында (Бурятия) кварцпен, родохрозитпен, солғын кендермен және *Тигринос* қалайы-полиметалл кенорнында (Приморье) кварцпен, касситеритпен, арсенопиритпен, топазбен және флюоритпен бірге кездескен. Тотығу белдемінде өзгеріске ұшырайды.

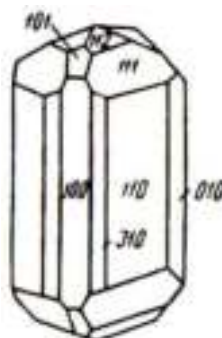
СУЛЫ ФОСФАТТАР, АРСЕНАТТАР ЖӘНЕ ВАНАДАТТАР

1. Вивианит тобы

Бұл топқа жатқызылатын минералдар темір, никель, кобальт катиондарын гидраттайтын судың сегіз молекуласы бар сулы қалыпты фосфаттардан және арсенаттардан тұрады.

ВИВИАНИТ – $\text{Fe}^{2+}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. **Химиялық құрамы**, %: FeO – 43; P_2O_5 – 28,3; H_2O – 28,7. Темір окисі жиі анықталады, ол закись тотыққан кезде жаралады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. $a_0=10,01$; $b_0=13,43$; $c_0=4,70$; $\beta=104^{\circ}30'$. **Кристалдарының келбеті** әдетте призмалық (*263-сурет*), сырықша, ине тәрізді. **Агрегаттары**. Көбінесе радиал-сәуле, жұлдызша, кейде бүйрек тәрізді, шар тәрізді агрегаттарда, сондай-ақ жер тәрізді массаларда («көк темір жер») байқалады.



263-сурет. Вивианит кристалы

Түсі. Өзгермеген түрде ақшыл реңді және тіпті түссіз, мөлдір; шала тотыққан кезде ауада сұрғылт-көк немесе сұрғылт-жасыл, күңгірт-көктен кара-көкке дейін. **Сызық түсі** тотықпаған минералда түссіз, ал тотыққан түрлестерінде – көкшіл-ақ, көк немесе қошқыл. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,633$; $N_m=1,603$; $N_p=1,579$.

Қаттылығы 1,5-2. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша аса жетік. Мен. салмағы 2,95.

Диагноздаушы белгілері. Вивианиттің шала тотыққан түрлестері жасылтым-көк немесе көк бояуы, сызық түсі және төмен қаттылығы бойынша оңай танылады. Және де сәулелі-ине тәрізді, сырықша, жұлдызша және жер тәрізді агрегаттары аса тән. Олар темір гидрототықтары, жануарлар мен жарғақтардың қазба сүйектері қуыстарында біршама жиі байқалады.

Фосфор тұзымен темірге тән тұз береді. Шыны түтікшеде қыздырған кезде көп су бөледі, бейтарап реакция береді, күмпиеді және сұр, кей жерлерінде қызыл түске боялады. HCl және HNO₃ қышқылдарында оңай ериді.

Жаралуы және кенорындары. Вивианит экзогендік процестерде, бірақ тотықсыздану жағдайларындағы ортада жаралады. Көбінесе фосфордың көзі болып органикалық қалдықтар табылады. Әдетте фосфорға бай теміррудалы шөгінді кенорындарда және шымтезектікте (жер тәрізді түрлестері түрінде) таралған, ол сидеритпен және басқа темір закісі минералдарымен сүйемелденеді. Тотығу белдемінде өзгеріске ұшырайды.

Вивианит кездесетін кенорында өте көп. Бізде бақалшақтардағы және қошқыл теміртас кенорындарындағы сәуле кристалл агрегаттары кеңінен белгілі: *Тамань* түбегінде, осындай білінімдер *Керчь* түбегінде (Украина) кең дамыған. Жер тәрізді вивианит және де батпақ темір рудасында кең таралған, мысалы Москва және Липецк облыстарында. *Ковдор* массиві (Кола түбегі) карбонатиттері қуыстарында эндогендік вивианиттің табылуы айрықша қызығушылыққа ие.

Практикалық мәні. Көп мөлшерде кездескен кезде арзан көк бояу ретінде пайдаланылады.

АННАБЕРГИТ – Ni₃[AsO₄]₂·8H₂O. Табылған жері бойынша (Саксониядағы Аннаберг кенорны, Германия). Синонимі: никель гүлі.

Химиялық құрамы, %: NiO – 37,5; As₂O₃ – 38,5; H₂O – 24. Кейде құрамында шамалы мөлшерде изоморфтық қоспалар түрінде Co, Fe, Mg, сирек Ca болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L²PC. Кеңістіктік тобы C₂/m(C_{2h}³). a₀=10,12; b₀=13,28; c₀=4,70; β=104°45'. Шаш тәрізді келбетті кристалдары өте сирек кездеседі. Әдетте жер тәрізді массалар түрінде кездеседі.

Түсі. Аннабергит алма-жасылдан күңгірт-жасылға дейін. Сызық түсі жасыл түске боялған. **Жылтырлығы** шыныша. Ng=1,687; Nm=1,658; Np=1,622.

Қаттылығы 2,5-3. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша жетік. Мен. салмағы 3.

Диагноздаушы белгілері. Жасыл түсі және никель арсенидтерімен: никелинмен, хлоантитпен және басқалармен (ол әдетте осылар бойынша жаралады) бірлестігі тән.

Қышқылдарда оңай ериді. Диметилглиоксиммен Ni-ге реакциясы әсерлі.

Жаралуы және кенорындары. Аннабергит тек қана бастапқы руда құрамында никель арсенидтері бар рудалар кенорындарының тотығу белдемдерінде кездеседі. Әдетте, ол бұл минералдарды тікелей алмастырады.

Россияда кобальт-никель рудаларының арсенидті *Хову-Акси* (Тыва Республикасы) кенорнында байқалған. Оның Оралдағы, Солтүстік Кавказдағы және басқа жерлердегі табылымдары тек минералогиялық мәнге ғана ие.

Айтарлықтай шоғырларда никель арсенидтерінің *Аннаберг* және *Шнееберг* кенорындарында (Саксония, Германия) белгілі.

ЭРИТРИН – $\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Грекше *эритрос* – қызыл дегеннен. Синонимі: кобальт гүлі.

Химиялық құрамы, %: CoO – 37,5; As_2O_5 – 38,5; H_2O – 24,0. Изоморфтық қоспа түрінде Ni, Fe, Ca, сондай-ақ бөтен заттардың механикалық қоспалары кездеседі.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. $a_0=10,18$; $b_0=13,34$; $c_0=4,73$; $\beta=105^{\circ}01'$. Сирек кездесетін кристалдары ұсақ. Ине тәрізді немесе жұқа қалақша келбетке ие. Әдетте жер тәрізді массалар түрінде таралған («кобальт кіреуекесі»).

Түсі. Эритрин қызғылт, сарғыш-қызыл, күңгірт-қызыл түсті болады. **Сызық түсі** солғын-қызыл. **Жылтырлығы** кристалдарда шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше құлпырымды. $N_g=1,701$; $N_m=1,663$; $N_p=1,629$.

Қаттылығы 1,5-2,5 (жер тәрізді массаларында 1-ге дейін). **Жіктілігі** (010) бойынша аса жетік. **Мен. салмағы** 2,95.

Диагноздаушы белгілері. Көзге бірден түсетін қызғылт немесе қызыл түсі, жер тәрізді күйі және кобальт арсенидтерімен (кобальтин, скуттерудит және басқалар) бірлестігі бойынша оңай танылады.

Бура мен фосфор тұздарының қанық көк перлі аса тән. Жабық түтікшеде суды көп бөледі. HCl қышқылында ериді, ерітіндінің түсі қызғылт болады.

Жаралуы және кенорындары. Аннабергит сияқты, құрамында кобальт арсенидтері бар руда кенорындарының тотығу белдемінде кездеседі. Смальтин бойынша псевдоморфозалары белгілі.

Кенорындары сол аннабергиттегідей, өйткені никель мен кобальт арсенидтері көбінесе бірге кездесетіні бізге белгілі. Дегенмен бірқатар кенорындарда тек қана кобальт арсенидтері болады, сондықтан эритрин аннабергитпен сүйемелденбейді.

Мысалы *Дашкесан* (Әзірбайжан), *Ақ-Жылға* (Алай Жотасы, Орта Азия) және басқалар осындай.

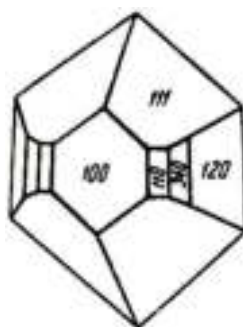
2. Скородит тобы

СКОРОДИТ – $\text{Fe}^{3+}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Грекше *скородон* – сарымсақ дегеннен. Атауы минералды қатты соққан кезде сезілетін сарымсақ исіне ұқсас иіс шығару қасиеті бойынша берілген.

Химиялық құрамы, %: Fe_2O_3 – 34,6; As_2O_3 – 49,8; H_2O – 15,6. Құрамында Al_2O_3 мөлшері 7,1 % болатын түрлестері белгілі, ол – *алюмоскородит*. Тұтас массаларда бөтен қоспалармен ластануы жиі.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pcab(D^{15}_{2h})$. $a_0=10,28$; $b_0=10,00$; $c_0=8,90$. **Кристалдарының келбеті** дипирамидалық, кейде призмалармен комбинацияда (264-сурет). Көбінесе ұсақ кристалды друзаларда байқалады. Әдетте тығыз жер тәрізді массаларда таралған.

Түсі. Скородит жасылтым ақ, алма-жасыл, көкшіл-жасыл, қошқыл-сұр, кейде ақ (жасырын кристалды жер тәрізді массаларда) түсті болады. Темір гидроокиселдеріне боялған лас, шала гидролизденген түрлесі – *питтицит* қызғылт-қошқыл түске боялады. **Жылтырлығы** шыныша күшті, тығыз массаларда шайырша. $N_g=1,79-1,81$; $N_m=1,77-1,79$; $N_p=1,76-1,78$.



264-сурет. Скородит кристалы

Қаттылығы 3,5. Морт. Омырылымы бейтегіс. **Жіктілігі** $\{100\}$, $\{001\}$ және $\{201\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,3.

Диагноздаушы белгілері. Қуыстардағы немесе көбінесе күңгірт массалардағы тұтас пирамида кристалшаларының бояуына солғын-жасыл рең тән. Алмаспаған арсенопирит қалдықтарымен бірлестігі өте тән.

HCl қышқылында оңай және HNO_3 қышқылында шала ериді. KOH ерітіндісі минерал ұнтағын қызғылт-қошқыл түске жылдам бояйды.

Жаралуы және кенорындары. Кейде айтарлықтай массаларда арсенопиритке бай кенорындардың тотығу белдемдерінде жаралады. Әдетте тікелей арсенопирит пен лёллингит бойынша метасоматоздық жолмен дамиды.

Россияда арсенопиритке бай сульфид рудалы кенорындардың көпшілігінде, мәселен *Кочкар* (Оңтүстік Орал), *Запокровское* (Шығыс Забайкалье) және басқалар сияқты кенорындарда кездеседі. *Шерловогорск* қалайы рудалы грейзен кенорнында (Чита обл., Забайкалье) арсенопирит бойынша дамиды жасырын кристалды скородит кварц, топаз және аквамарин сынықтарын цементтейді.

Басқа кенорындардан мыналарды атаймыз: *Такели* (Қарамазар тауларында, Тәжікстан) және *Брич-Мулла* (Ташкенттен солтүстік-шығысқа қарай) – мұнда скородит көп мөлшерде тығыз түйірлі массалар түрінде де, жасырын кристалды желім тәрізді шайырша жылтыр жаралымдар түрінде де

табылған. Олардың түсі әр түрлі: ақ, түрлі реңді жасыл, қошқыл және тіпті кара.

3. Уран слюдкаларының тобы

Мұндай атаумен сулы негізгі фосфаттардың, арсенаттардың (кейде мұнда ванадаттар да кіреді) біршама үлкен тобы аталады. Олар негізінен екі валентті металдардың: Cu^{2+} және Ca^{2+} , содан соң K^{1+} , Na^{1+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} Al^{3+} мен U^{6+} қос тұздары болып табылады. Уран қосымша O^{2-} аниондарымен комплексті уранил $(\text{UO}_2)^{2+}$ катионын жасайды. Формуладағы H_2O бөлшектерінің мөлшері кең ауқымда өзгереді. Егер жоғарыда аталған катиондар үшін (ураннан басқаларын) A деген, ал анионжасаушылар P мен As үшін – X деген белгілеу қабылдасақ, онда бұл топ минералдарының жалпы формуласы $A(\text{UO}_2)_2[\text{XO}_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ түрінде жазыла алады, мұндағы $n=6-40$.

Уран слюдкаларына аса тән ерекшелікке слюдаға ұқсас бір бағыттағы жетік жіктілік жатады, бұл қасиет оларды слюдаларға жақындастырады.

Уран слюдкаларының кристалдық құрылымы – нағыз қабатты. Қабаттар тетраэдрлік XO_4 топтарынан тұрады, олардың арасында уранил $[\text{UO}_2]^{2+}$ катиондары былайша «қыстырылған» - U^{6+} оттегі иондарымен алты еселіп қоршалып орналасады. Осындай қатарлар аралығында Cu , Ca , Ba ,... және H_2O молекулалары орналасады. Қабат аралық катиондар уранил иондарына жататын оттектің тек қана екі аниондарымен емес және де қабатаралық судың төрт молекуласымен координацияланады. Уранил жапсарлас қабаттардан шамалы шығыңқы болып, қабат аралық кеңістік ішінде орналасады. Қабат аралық судың бір бөлігі бір валентті K^{1+} немесе Na^{1+} катиондарымен алмаса алады.

Уран слюдкаларына судың өзгермелі мөлшері тән; гидраттану дәрежесі су буы қысымына тәуелді. Суға бай уран слюдкалары ауа жағдайында бу серпімділігінің төмендігіне байланысты сыртқы ортада дегидратацияға ұшырайды, әсіресе қыздырған кезде күшейеді. Осылайша, осы топ минералдық түрлерінің көпшілігінен метаформалар жаралып, оларға тиісінше «мета» деген қосымшасы бар атау беріледі. Осыған сәйкес бұл минералдардың кейбір физикалық қасиеттері де өзгереді, әсіресе меншікті салмағы мен жарықтың сыну көрсеткіштері. Уран слюдкаларының құрылымы су молекулаларын жоғалтуымен немесе қабылдауымен өзгереді, сондықтан мұндай суды цеолиттік деп санауға болмайды.

Уран слюдкаларының құрылымдық әркелкілігі бірінші кезекте қабатаралық катиондардың уранил оттегімен жапсары сипатындағы айырмашылыққа байланысты, ал бұл катион типіне байланысты. Гидратация дәрежесі де құрылымға ықпал жасайды, гидратталған формалар өздері тетрагондық симметрияға ие болатын қабаттарға дәл бірінің үстінде бірі орналасуына мүмкіндік береді, бұл жағдай жоғары симметриялы формаларға әкеледі. Дегидратация қабаттардың ығысуына әкеледі де ол симметрияның

төмендеуін туындатады және қабаттардың әркелкі өзара ығысуынан политипия жасайды.

Изоморфтық алмасу негізінен қабатаралық кеңістікті әр түрлі катиондармен толтыру жолымен емес, әр түрлі қабатаралық толтырымды пакеттердің синтаксиясы (кірігуі) жолымен жүреді. Бұл жағдай қосымша құрылымдық әркелкілікке әкеледі.

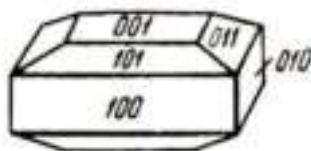
Мұнда жататын барлық минерал түрлері ашық сары немесе жасыл түске, жіктілігі бойынша інжуше құлпырымға, біршама төмен қаттылыққа, қышқылдарда оңай ерігіштікке және күшті радиобелсенділікке ие болады. Бұл қосылыстар тиісті құрамды және концентрациясы тиісінше болатын салқын ерітінділерден жасанды жолмен оңай алынады. Кристалдық құрылымы бойынша ванадаттар біршама өзгеше тұрады. Өйткені мұнда құрылымдық планда жалпы ұқсастық болғанымен, ванадиймен қосарланған тетраэдрлердің болуын көреміз. Бірақ келбеті мен қасиеттері бойынша уранил ванадаттары мен уран слюдкалары оларды бірге қарастыру үшін бір-біріне жеткілікті жақын.

Сонымен, олардың барлығы уран кенорындары тотығу белдемдерінің өнімдері болып табылатындықтан, бірдей жағдайларда кездеседі. Бұл минералдардың елеулі шоғырлары уран, радий, кейде ванадий көздері ретінде практикалық мәнге ие болады.

ТОРБЕРНИТ – $\text{Cu}[\text{UO}_2]_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Осы минералды алғаш байқаған Швед химигі Торберн Бергманның (1735-1784) құрметіне аталған.

Химиялық құрамы. Қолда бар талдаулар бойынша, %: CuO – 7,73; UO_3 – 57,5; P_2O_5 – 14,5; H_2O – 20,3. Теориялық құрамына біршама дәл сәйкес келеді. 45°C кезінде судың төрт бөлшегі жойылады да *метаторбернит* жаралады.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^44L^25PC . Кеңістік тобы $I4/mmm(D_{4h}^{17})$. $a_0=7,06$; $c_0=20,5$. Метаторберниттің $\text{Cu}[\text{UO}_2]_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ кеңістіктік тобы $P4/n$, c_0 параметрі 17,31 мәніне дейін төмендейді. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары ұсақ, жақсы жаралған және тақталанған келбетке ие (*265-сурет*). Әдетте қабыршақ шоғырлар және ұнтақ жұқпалар түрінде кездеседі. Тақташа кристалдары $\{001\}$ бойынша шаршы келбетке ие. Отенитпен, цейнеритпен және басқа уран слюдкаларымен заңдылықты кірігу жағдайлары байқалған.



265-сурет. Торбернит кристалы

Түсі. Торбернит изумруд-жасылдан сарғыш-жасылға дейін. **Сызық түсі** ақшыл. **Жылтырлығы** шыныша күшті, жіктілік жазықтығында інжуше. Жұқа парақшаларда жарық өткізеді. $Nm=1,590-1,592$; $Np=1,576-1,582$.

Қаттылығы 2-2,5. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік. Парақшалары майысқақ, бірақ серпімді емес. **Мен. салмағы** 2,3-3,6. Күшті радиобелсенді.

Диагноздаушы белгілері. Жетік жіктілік (слюдалардағы сияқты) және ашық-жасыл түс тән. Торбернитті басқа жасыл минералдардан оптикалық константаларын өлшеу және химиялық реакциялар көмегімен ажыратуға болады.

HNO_3 қышқылында ериді, аммиак қосқан кезде ерітінді көк түске боялады (мыс) да сары тұнба отырады.

Жаралуы және кенорындары. Құрамында уран бар пегматиттер мен гидротермалық, сондай-ақ шөгінді және басқа кенорындардың тотығу белдемдерінде жаралады. Әдетте шамалы мөлшерде жарықшақтар мен шаймалану қуыстары қабырғаларында, көбінесе лимонит бетінде, кейде отенитпен және басқа құрамында уран бар туынды минералдармен бірлестікте байқалады. Алғаш гидротермалық уран-полиметалл *Яхимов* (Чехия) кенорнының тотығу белдемінде табылған. Сондай-ақ *Редрут* (Корнуолл, Англия) және *Казоло* (Шаба провинциясы, Конго Демократиялық Республикасы) кеніштерінде байқалған. Россияда жекелеген табылымдары *Джидда* (Бурятия) және *Шерлова Гора* (Шығыс Забайкалье) кенорындарында білінген.

Торбернит біршама сирек таралған минералдар қатарына жатады.

ОТЕНИТ – $\text{Ca}[\text{UO}_2]_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Синонимі: отунит. Атауы Франциядағы Отен (Отэн) мекені бойынша.

Химиялық құрамы, %: CuO – 6,1; UO_3 – 62,7; P_2O_5 – 15,5; H_2O – 15,7. Кейде BaO , MgO , Fe_2O_3 және басқа қоспалар болады (әдетте өте мардымсыз мөлшерде). Отенитте және де актиний мен полоний анықталған.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагон-дипирамидалық $L^4 4L^2 5PC$. Кеңістіктік тобы $I4/mmm(D_{4h}^{17})$. $a_0=7,00$ $c_0=20,67$. Кристалдарының **келбеті.** Кристалдары жұқа тақташа (266-сурет), слюда сияқты, шаршы пішінді. Жақтары аралығындағы бұрыштары бойынша торбернитке жақын. Ұсақ кристалшаларының дразасы немесе қабыршақ агрегаттары байқалады.



266-сурет. Отенит кристалы

Түсі. Отенит жасыл, жасылтым-сары, сұр-сары түсті болады. **Жылтырлығы** жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,594$; $N_m=1,590$ $N_p=1,571$.

Қаттылығы 2-2,5. Морт. **Жіктілігі** {001} бойынша аса жетік, сондай-ақ {100} және {010} бойынша төмендеу жетік байқалады. **Мен. салмағы** 3,05-3,19. Күшті радиобелсенді. Люминесценциясы байқалады. Ультракүлгін сәуледе сары-жасыл түске боялады.

Диагноздаушы белгілері. Түсі бойынша өзіне ұқсас басқа уран слюдкаларынан спектрлік және химиялық талдаулар көмегімен ғана сенімді ажыратуға болады.

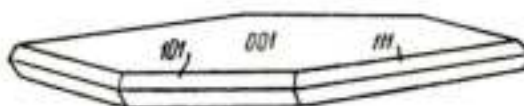
Бурамен уранға реакция береді. HNO_3 қышқылында ериді, ерітінді жасыл түске боялады.

Жаралуы және кенорындары. Басқа да уран слюдкалары сияқты, құрамында уран минералдары бар уран кенорындарының тотығу белдемдерінде жаралады.

Отенит кездесетін кенорындар біршама көп: *Отен* (Франция, Луар департаментіндегі Орталық массив), *Шнееберг* (Германия, Саксония), *Яхимов* және *Циновец* (бұрынғы *Циннвальд*) Чехияда, *Редрут* (Англия, Корнуолл), Мадагаскар пегматиттерінде және басқа жерлерде.

ТЮЯМУНИТ – $\text{Ca}[\text{UO}_2]_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Туя-Муюн (Фергана, Өзбекстан) кенорнында К.А. Ненадкевич анықтаған.

Химиялық құрамы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^2 3PC$. $a_0=10,63$; $b_0=8,36$; $c_0=20,40$. Кристалдық құрылымы бойынша карнотит сияқты нағыз уран слюдкаларынан біршама айрықшаланады, өйткені қабат құрамында жекелеген XO_4 тетраэдрлік топтары емес, қыры бойынша қосарланған VO_5 бес координациялық ванадий шала октаэдрлері болып, олар нәтижесінде комплексті $[\text{V}_2\text{O}_8]^{6-}$ радикалын береді. Дегенмен құрылымның жалпы қабаттық мотиві және физикалық қасиеттерінің көпшілігі осындай уран слюдкаларына жақын болып қала береді. **Кристалдарының келбеті** жұқа қалақша сияқты (267-сурет). Байқалған пішіндері: $\{100\}$, $\{010\}$, $\{110\}$, $\{120\}$, $\{001\}$, $\{101\}$ және $\{111\}$. **Агрегаттары.** Ұсақ қабыршақты жер тәрізді массаларда таралған. Сондай-ақ жұғындар мен қуыстарда қабыршақтар түрінде де байқалады.



267-сурет. Тюямунит кристалы

Түсі. Тюямунит ашық-сары, кейде жасылтым немесе жирен реңді болады. **Жылтырлығы** күшті, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,895$; $N_m=1,870$; $N_p=1,670$.

Қаттылығы 1. Морт. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша жетік, $\{010\}$ және $\{100\}$ бойынша орташа. **Мен. салмағы** 3,68 (судың мөлшеріне байланысты ауытқиды). Күшті радиобелсенді.

Диагноздаушы белгілері. Құрамы басқа уран слюдкаларынан химиялық реакция деректері және оптикалық константалары бойынша ғана ажыратылады. Ол майда дисперсиялы шоғырларда кейбір темір сульфаттарының ашық-сары таңдақтарына ұқсас. Олардан суда қиын ерітіндігімен және радиобелсенділігімен ажыратылады.

Бурамен уранға айқын реакция береді (мыс болмағанда). Қышқылдарда оңай ериді. Сутек асатотығымен ванадийге реакция береді. Тиісті

ерітінділерде және концентрацияларда Ca^{2+} катионы екі K^{1-} ионымен алмасуға қабілетті және карнотит жаралады.

Жаралуы және кенорындары. Экзогендік жаралымды басқа минералдармен бірге құрамында уран бар минералдар кенорындарының тотығу белдемінде кездеседі. Органикалық заттар болғанда да жаралады, олармен жалпы ванадий минералдары жиі байланысты.

Сондай-ақ туюмунит шөгінді таужыныстарда карнотит есебінен оған құрамында кальций бикарбонаты бар су әрекет ету жолымен жаралуы аса ықтимал. Эксперименттік зерттеулер калийдің кальциймен алмасу мүмкіндігін қуаттайды.

Әдетте жер тәрізді шоғырлар түрінде құрамында органикалық қалдықтар бар шөгінді таужыныстар арасындағы жарықшақтарда гипспен бірлестікте кездеседі. Шетел кенорындарынан *Колорадо* үстіртіндегі (АҚШ) ванадийлі құмтасты атаймыз.

КАРНОТИТ – $\text{K}_2[\text{UO}_2]_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. А. Карно фамилиясы бойынша аталған.

Химиялық құрамы, %: K_2O – 10,44; VO_3 – 63,41; V_2O_5 – 20,16; H_2O – 5,99. Қоспалар түрінде анықталатындар: Na_2O , MgO , CaO , өте мардымсыз мөлшерде CuO , PbO және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі ромб-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/a(C^5_{2h})$. $a_0=10,47$; $b_0=8,41$; $c_0=6,91$; $\beta=103^040'$. Әдетте ұнтақ массаларда және жұғындар түрінде байқалады.

Түсі. Карнотит ашық-сары немесе жасылтым сары болады. Жылтырлығы күшті, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,950$; $N_m=1,925$; $N_p=1,750$.

Қаттылығы 2-2,5. Морт. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 4,46. Күшті радиобелсенді.

Диагноздаушы белгілері. Көбінесе туюмунитке ұқсас. Оптикалық константалары бойынша ажыратылады.

Бурамен уран перлін береді. Қышқылдарда оңай ериді. Сутек асатотығымен ванадийге реакциясы бар. HCl қышқылымен сулаған ұнтақ қан-қызылға айналады (ванадий болуынан).

Жаралуы және кенорындары. Шөгінді таужыныстардың, негізінен органикалық қалдықтарға байыған құмтастың мору белдемінде таралған. Алғаш *Юта* мен *Колорадо* штаттарындағы (АҚШ) ванадийлі юра құмтасында табылған.

Сондай-ақ *Шаб* провинциясы (Конго Демократиялық Республикасы), *Радийум-Хилл* (Австралия) әкті құмтасында және басқа көптеген жерлерде кездескен.

4. Бирюза тобы

Мұнда бесулы Cu , Al және Fe^{3+} негізгі фосфаттары біріктіріледі, олар триклиндік сингонияда кристалданады. Төменде тек бирюзаны ғана береміз.

БИРЮЗА – $\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4[\text{OH}]_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Синонимі: каллаит (бирюзаның көне атауы). Темірге бай түрлесі рашлеит аталса, ал бирюзаның ферродоминагты баламасы *халькосидерит* $\text{CuFe}^{3+}_6[\text{PO}_4]_4[\text{OH}]_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ деп аталады.

Химиялық құрамы, %: CuO – 0,57; Al_2O_3 – 36,84; Fe_2O_3 – 0,5-21; P_2O_6 – 34,12; H_2O – 19,47. Әр түрлі қоспалары анықталады.

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық. Әдетте бүйрек тәрізді пішінді жасырын кристалды массаларда немесе қабыршақ, желішік және бұрыс пішінді шоғырлар түрінде таралған.

Түсі аспан-көк, алма-жасыл, жасылтым-сұр. **Жылтырлығы** балауызша. $N_g=1,65$; $N_m=1,62$; $N_p=1,61$.

Қаттылығы 5-6. Біршама морт. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік, (010) бойынша орташа. Омырылымы аздап ұлуша. **Мен. салмағы** 2,60-2,83.

Диагноздаушы белгілері. Түсі және балауызша жылтырлығы тән. Дегенмен бірқатар жағдайларда кейде өзіне ұқсас хризоколла және басқа мыс минералдарынан ажырату үшін химиялық реакцияларға жүгінуге тура келеді.

Бурамен және фосфор тұзымен мысқа реакция береді. Қышқылдарда ериді. Фосфорға реакция береді.

Жаралуы және кенорындары. Мору жағдайларында (көбінесе лимонитпен бірге) құрамында алюмототық (далашпаттар және басқалар) мен фосфор (апатит түрінде және басқа) таужыныстарға мысты жербеті ерітінділері әсер еткенде жаралады. Бирюзаның жануарлардың қазба сүйектері мен тістерінен жаралу жағдайлары белгілі. Мұндай бирюзаның органикалық жаралымы шлифтерде микроскоп астында айқын анықталады.

Ең жақсы бирюза бірнеше ғасыр бойы *Мадан* кенорнында (Ниишапур қаласы маңында, Иран) өндіріліп келген. Мұнда ол лимонитпен бірге бұрыс пішінді шоғырлар және майда желішіктер түрінде моруған эффузиялық таужыныс - трахит арасында жаралған. Бирюза асыл тас ретінде осы жерден Еуропаға Түркия арқылы жөнелтілген. Басқа кенорындардан атайтынымыз: *Вади-Магара* (Синай түбегі), Қара-Төбе (Самарқандтың оңтүстігіне қарай, Өзбекстан) және басқалар.

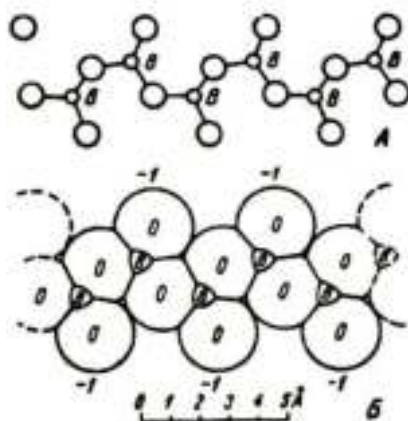
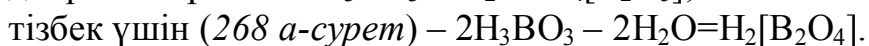
Практикалық мәні. Бирюзаның бояуы бойынша ең жақсы түрлестері (аспан-көк түсті) әшекей ретінде тұтынылады. Нашар түрлестерін жасанды бояуға болады.

КЛАСС 7. Бораттар

Жалпы ескертпелер. Бұл класқа бор қышқылы қосылыстары жатады. Олардың құрамында әр түрлі катиондар, көбінесе N^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} және Fe^{2+} , сондай-ақ амфотер Al^{3+} пен Fe^{3+} қатысады. Химиялық жағынан мұндай минералдардың барлығы – бор қышқылдарының қалыпты, қышқылды және негізді тұздары. Олардың қатарына H_3BO_3 ортоқышқылынан басқа HBO_2 метабор қышқылы және полибор қышқылдары деп аталатындар жатады. Соңғылардың көпшілігі жорамал болып табылады да қосылыстарды тек үстіртін сипаттау үшін пайдаланылады. Минералдардағы комплексті бор

аниондарының нақты формалары мен құрамы бірнеше белгілерімен сипатталады. Бұл белгілер қатарында мыналарды айтуға болады: біріншіден, бордың оттекке қатысты координациясын, одан кейін – қарапайым (моноядролы) бор-оттек аниондары конденсациясының дәрежесін және ақыр соңында оттек иондары бір бөлігінің гидроксил топтарымен алмасқандығын. Осы үш сипаттама қандай да бір әр түрлі бораттардың ең басым катиондық құрамын ғана емес, олардың физикалық және химиялық қасиеттерін, сондай-ақ жаралу жағдайлары мен типтік парагенезистерін де анықтайды.

Бор табиғи оттекті қосылыстарда 3 немесе 4 координациялық сандарымен сипаттала алады. Координациялық бор-оттек топтамалары мұндай жағдайларда тиісінше жазық үшбұрышты немесе тетрадр радикалдарынан тұрады. Бор кейбір минералдар құрылымында мұндай координациялардың бірінде болса, ал басқаларында – екі координацияда бірден болады. Екі координациялық типтің бор-оттек радикалдары үшін күрделі комплексті радикалдар жасап поликонденсациялану тән. Мәселен, үшбұрышты $[\text{BO}_3]^{3-}$ ортотоптары төбелерін диортотоптарға $[\text{B}_2\text{O}_5]^{4-}$, сақиналарға $[\text{B}_3\text{O}_6]^{3-}$ және тізбектерге $[\text{B}_2\text{O}_4]^{2-}$ және басқаларға бірігу арқылы конденсациялана алады. Осындай радикалдарға сәйкес келетін жорамал полибор қышқыл тұздары қалыпты ортоқышқыл бөлшектерінің артық немесе тең мөлшерімен H_2O бөлшектерінің белгілі бір мөлшерін алу арқылы шығарылады. Егер ортобораттар – ортобор $\text{H}_3[\text{BO}_3]$ қышқылының тұздары болса, онда үшкоординациялық бордың конденсацияланған полиядролы радикалдары үшін мынадай реакцияларды көреміз:



268-сурет. Байланысқан BO_3 комплекстер тізбектері: *a* – иондар центрінің орналасуы; *б* – кристалдық құрылымдағы тізбек түрі

Соңғы реакция тек 2 көбейткішін 3-ке алмастырғанда ғана сақиналы $[\text{B}_3\text{O}_6]$ радикалы үшін де әділетті. Бор мен оттек арақатынасы бойынша сусызданудың ақыр соңында ортобор қышқылынан метабор қышқылына әкелетінін көру қиын емес. Метабор қышқылы үшкоординациялық борлы радикалдар конденсациясының максимал дәрежесіне сәйкес келеді.

Сондай-ақ ортобор қышқылының $[\text{BO}_3]^{3-}$ радикалын оқшауланған үшбұрыш ретінде емес, төбесімен қосылған $[\text{BO}_4]$ тетраэдрлердің шексіз тізбегі (немесе сақина) ретінде, яғни төрткоординациялық бордың айтарлықтай конденсацияланған полиядролы радикалы ретінде қарастыруға болады. Тетраэдрлі радикалды аздау конденсацияланған қышқылдарға өтуді ортобор қышқылының артық мөлшерін су молекулаларының біршама мөлшерімен қанығу нәтижесі ретінде қарастыруға болады: $2\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_8[\text{B}_2\text{O}_7]$ – аралдық екітетраэдрлік топтамалы қышқыл. Сумен тең мөлшерде қанығу $[\text{BO}_4]$ – тетраэдрлерінің толық деконденсациялануына және радикалы оқшауланған моноядролы комплексті анионды қышқыл жаралуына әкеледі: $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_5[\text{BO}_4]$.

Осылайша, біз ортобор қышқылы өзіндік құрылымдық полиморфизмге ие болып, үшбұрыштағы қарапайым бор топтамасымен де, тетраэдрдегі жоғары конденсацияланған бор радикалдарымен де тұздар жасайтынын көреміз. Сондықтан конденсацияның аралық дәрежесіндегі және бордың аралық орташа 4 пен 3 аралығындағы координациялық санды, яғни үшбұрыштармен де, тетраэдрлермен де жаралған әр осы немесе келесісі басым болатын радикалдар болатыны кәдімгі жағдай.

Шын мәнінде осылай болып шығады да. Дербес бораттар басым көпшілік жағдайында, яғни борат-силикаттар және соларға ұқсас күрделі тұздар болмағанда, бор екі координацияда да болып, конденсацияланған полиядролы радикалдар жасайды. Бордың қайсы бір координациясының басым болуына қысым ықпал етеді, ал қысым тұрақты болған кезде суқанықтылық дәрежесін температура анықтайды (жоғары температуралық парагенезистер құрғақтау болады). Осыдан шығатыны, конденсация дәрежесі температураға тәуелді екендігі.

Катиондар табиғатына және минералжаралу ортасының қышқылдық-сілтілік сипаттамасына байланысты негізді, қалыпты және қышқылды тұздар жаралуы мүмкін. Бірінші жағдайда, анион функцияларының бір бөлігін гидроксил (немесе галогендер иондары) өзіне алады, олар анион радикалымен қатар катиондардың оң валенттілігін өтемелейді. Қышқылды тұздар жағдайында протондар радикалдар оттегіне барып қосылады (дәлірек айтқанда, катиондармен ығыстырылып шығарылмай қышқылдарда қайда болса, сол жерде қалады), өйткені радикалдағы оттектің бір бөлігі гидроксилмен алмасқан болады және радикал заряды төмендейді, егер қышқылдың негізділігі төмендеу болған кездегідей.

Жоғарыда алынған моноядролық және конденсацияланған радикалдардың геометриясын сақтай отырып, біз осындай айрықша қышқылдар формуласын шығара аламыз. Мұнда сутектің бір бөлігін тік жақшаға аламыз да оны оттекке қосамыз. Мұндай жағдайда, конденсацияланған радикалдарға ортақ (көпірше) оттек атомдары гидроксилмен алмаса алмайды, өйткені оларға бор және басқа қышқылжасаушы амфотер катиондар, мысалы борат-силикаттардағы Si^{4+} жағынан үлкен валентті күш келіп бірігеді. Мәселен, үшбұрыштардың екіядролы $\text{H}_4[\text{B}_2\text{O}_5]$ топтамалы қышқылдан $\text{H}_3[\text{B}_2\text{O}_4(\text{OH})]$ аламыз. Мұндай

қышқылдың тұзына *ссайбелиит* (берілген сипаттамасын қараңыз) жатады деп есептеуге болады. Осындай операцияны екіядролы тетраэдр топтамасы бар $H_2[B_2O_7]$ тобымен жасай отырып $H_2[B_2O(OH)_6]$ қышқылын аламыз, оның тұзын *пинноит* $Mg[B_2O(OH)_6]$ болады деп есептейміз.

Қышқылды тұздар төрткоординациялық да, үшкоординациялық та борлы бораттарда жаралуы мүмкін, ал аралас координациялық борлы бораттар үшін – міндетті. Бұл жағдай полиядролы радикалдар бормен екі типті ортада гидроксилді болуы міндетті; дәл осындай радикалдардың көпіршесіз оттектірінің барлығы міндетті түрде протон қосып алу тиіс. Мәселен, екі үшбұрышты және екі тетраэдрден қосарланған төрт еселенген $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ сақинасы жаралады, сонымен қатар ортақ төбесі бойынша *бура* құрылымында; төрт аяққы оттекті гидроксилмен алмасқан.

Әр түрлі бораттардың катиондық құрамы және қасиеттері ерекшеліктерін қарастырамыз. *Ортобораттар* және *оқшауланған* тетраэдрлік радикалды бораттар үшін өзіндік катиондарға Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} және Fe^{3+} , кейде Ca^{2+} жатады. Ортобораттардың барлығы тек қана сусыз қосылыстар түрінде кездеседі. Қалыпты ортобораттар тек суда ғана емес, сондай-ақ қышқылдарда да ерімейді (немесе оларда өте қиын ыдырайды), жоғары температурада балқиды және жоғары немесе жоғарылау қаттылыққа ие болады.

Полибораттар үшін катиондар қатарында Mg^{2+} -ден басқа және де ірілеу Ca^{2+} мен Na^{1+} катиондар болуы аса тән, мұнда олар тек қана дерлік сулы тұздар (кристалгидраттар) түрінде таралған. Na^{1+} және басқа күшті катиондар полибораттары салқын суда оңай ерісе, ал қосарланған Na^{1+} мен Ca^{2+} бораттары – ыстық суда ериді. Магнийдің сусыз полибораттары (мысалы, борацит) сулы ортада біртіндеп қалыпты температурада гидратталады, мұндай жағдай ортобораттарда байқалмайды.

Бордың табиғи процестерде өзін-өзі ұстаудың кейбір басқа ерекшеліктері де қызығарлық. Анықталғандай, B_2O_3 төмен температурада CO_2 -мен ығыстырылып шығуға қабілетті, ал жоғары температура жағдайында бұл көрініс керісінше орын алады. Морыған кезде бораттардың карбонаттармен алмасу құбылысын байқауға болады. Бұл жағдай бораттардың *Индер* кенорнында анықталған болатын. Басқа жағынан, жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда бораттардың әктастағы карбонаттарды алмастыру табылымдары белгілі.

Бор сулы ерітінділерде біршама жылыстағыш элементтер қатарына жатады. Бұл ерітінділер құрамында Cl , OH және әсіресе F сияқты компоненттер болады, бор осы элементтермен айтарлықтай химиялық жақындықта. Сондықтан бор қосылыстарының концентрациясы мен жаралуы қандай да бір геологиялық процестердің қалдық өнімдерінде орын алады, кейде пегматиттер мен гидротермалық жаралымдарда болады (ортобораттар, борсиликаттар), бірақ негізінен борға байыған кебірсіген тұзды алаптарда жүреді (полибораттар, кейде сулы борат-силикаттар).

Бірқатар кристалхимиялық қасиеттері бойынша, бораттар басқа оттекті тұздарға қарағанда силикаттарға жақын тұрады. Кристалдық құрылымында

қарапайым комплексті $[\text{BO}_3]^{3-}$ пен $[\text{BO}_4]^{5-}$ аниондары болуымен сипатталатын бораттар нағыз оттек тұздарынан шамалы ғана өзгешеленеді, солардың ішінде $[\text{SiO}_4]^{4-}$ топты ортосиликаттардан да.

Сусыз бораттар

Сусыз бораттар негізінен ортобор қышқылы тұздарынан тұрады (қалыпты, қышқылды және негізді). Жекелеген минералдар мета- және полибораттарға жатады.

ССАЙБЕЛИИТ – $\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_4(\text{OH})](\text{OH})$ немесе $2\text{MgO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$.
Синонимі: ашарит.

Химиялық құрамы, %: MgO – 47,91; B_2O_3 – 41,38; H_2O – 10,71. Кейде марганец болады. Фтордың мардымсыз мөлшері анықталады.

Сингониясы моноклиндік. Құрылымда екі төбесінде байланысқан бор-оттек тетраэдрлерінің оқшауланған топтары болады, олардағы оттектердің бірі гидроксилмен алмасады. Осылайша, ссайбелиит бір мезгілде қышқылды және негізді тұз болып шығады. Қопсық бор сияқты, кейде тығыз параллель-талшық немесе ине тәрізді құрылымды массаларда кездеседі.

Түсі – ссайбелиит ақ. **Жылтырлығы** шыныша, қопсық массалары күңгірт. $N_g=1,650$; $N_m=1,646$; $N_p=1,575$.

Қаттылығы 3-3,5. Қопсық бор тәрізді массасы саусақтарға жұғады.
Мен. салмағы 2,65.

Диагноздаушы белгілері. Басқа бораттармен парагенезисте болған жағдайда сыртқы түрі бойынша жорамалдап анықтауға болады. Тек оптикалық өлшеулер және химиялық талдау көмегімен ғана дәл анықтау мүмкін.

Суда ерімейді. Қышқылдарда еруі қиын. Судың негізгі массасы температура 800°C -тан асқанда бөліп шығарады.

Жаралуы және кенорындары. Ссайбелиит көбінесе туынды минерал ретінде бораттардың тұзды шөгінді кенорындарда кездеседі. Ол құрғақ ыстық климат жағдайларында басқа, негізінен сулы борқышқылы қосылыстарының табиғи өңделу және дегидратация өнімі ретінде жаралады. Ол метасоматоздық жолмен және де саздарда шоғырланады. Ссайбелиит шаймаланған кезде жаралған қуыстарда радиал-сәуле немесе ине тәрізді құрылысты колломорфты бүйрек тәрізді массалар түрінде байқалған.

Сондай-ақ ссайбелииттің жапсарлық-метасоматоздық кенорындардағы әктаста немесе доломитте серпентинитпен (магний гидросиликаты), магнетитпен және басқа минералдармен бірлестікте табылу жағдайлары белгілі.

Шетел кенорындарынан мыналарды атаймыз: *Ашерслебен* және *Нейстассфурт* (Саксония, Германия), *Рецбанья* (Румыния), *Гунгари* (Невада, АҚШ).

Практикалық мәні. Ссайбелиит айтарлықтай массаларда кездескен жағдайларда, ол басқа бораттармен бірге өнеркәсіптік қызығушылық туындайды.

Бораттар олардан әр түрлі салаларда қолданылатын бор қышқылын алу үшін минералдық шикізат болып табылады. Бор қышқылы химиялық өнеркәсіпте бор тұздарын алу үшін бастапқы материал болады. Бурамен бірге темір құтыларына эмаль және глазурь (мұндай эмальдың ұлғаю коэффициенті металдың ұлғаю коэффициентіне жақын) өндірісінде, шам білтелеріне оларға жанған кезде қатандық беру мақсатында сіңіріледі, тері илеу ісінде, медицинада және басқа салаларда қолданылады.

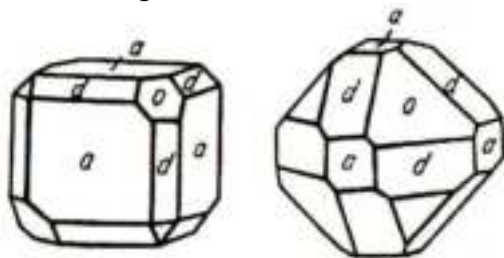
Бура сонымен қатар шыны өндірісінде шамдардың және басқалардың температура ауытқуына ұшырайтын шынысын даярлауға, сондай-ақ лаборатория ыдысы үшін «пирекс» шынысына (B_2O_3 11,8 %), оптика линзаларында (Цейс фирмасы даярлайтын шыныда B_2O_3 мөлшері 56 % шамасына дейін жетеді) пайдаланылады. Бура металл окиселдерін еріту қабілетіне байланысты дәнекерлеуде көмкеруші ретінде қолданылып, ол дәнекерлеу бетінде окиселдер жаралуына мүмкіндік бермейді.

Бура қағаз массасына жылтыр жоғары сорттарын алу, сондай-ақ тұтанбайтын қағаз бен одан алынатын бұйымдар жасау мақсатында қосылады. Сонымен қатар, бор қосылыстары топырақты тыңайту үшін өте маңызды мәнге ие; дұрыс мөлшерде қолданған кезде өсімдіктердің калий тұздарымен оңтайлы қоректену режимін анықтауға болады, ол өнімділікті арттыруға қол жеткізеді.

Соңғы кезде бор реактивтік қозғағыштар үшін жоғары энергетикалық отын алуда айрықша мәнге ие болады. Бор карбидтері (B_6C , B_4C , B_3C) жоғары түрпілік (қаттылықты) материал болып табылады. W, Ti, Ta боридтері өте қатты және оттөзімді. Борлы болат атом реакторларында пайдаланылады (бор – нейтрондардың жақсы жұтқышы).

БОРАЦИТ – $Mg_3[B_7O_{12}]OCl$. Химиялық құрамы, %: B_2O_3 – 62,1; MgO – 30,7; Cl – 8,1.

Сингониясы ромбылық; жалған кубтық. $265^{\circ}C$ -тан жоғары температурада кубтыққа айналады. $265^{\circ}C$ -тан төмен температурада ромбылық модификацияға айналуға ұшырайды. Жоғары температуралық модификациясының кеңістіктік тобы $F43c(T^5_d)$. $a_0=12,10$. Кристалдарының келбеті кубтық немесе октаэдрлік (269-сурет). Сондай-ақ мәрмәрге ұқсас тұтас майда кристалды массаларда байқалады.



269-сурет. Борацит кристалдары: $a\{100\}$, $o\{111\}$, $d\{110\}$.

Түсі ақ; сұрғылт, сарғыш немесе жасылтым реңді болады. **Жылтырлығы** шыныша, күшті. $Ng=1,673$; $Nm=1,667$ және $Np=1,662$.

Қаттылығы 7. Жіктілігі жоқ. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 2,95.

Диагноздаушы белгілері. Борацитке кубтық сингония кристалдық пішіндері тән, оларда жұқа шлифтерде микроскоп астында оптикалық анизотропия және күрделі құрылыс байқалады. Айрықша қасиетіне және де жоғары қаттылығы (7) мен біршама жоғары меншікті салмағы жатады.

Суда ерімейді. HCl қышқылында ериді. Морыған кезде суды жұтып, талшық тәрізді болады (басқа минералға өтетіні көрінеді).

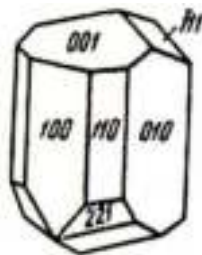
Жаралуы мен кенорындары. Тұз кенорындарында карналлитпен, сильвинмен, галитпен, гипспен, ангидритпен және басқа минералдармен бірге кездеседі. Метаморфизм процесінде магнийдің бастапқы сулы бораттарының сусыздану жолымен жаралатыны көрінеді. *Штассфурт* (Ангальт, Германия), *Люнебург* (Ганновер, Германия) және басқа кенорындарда таралған. Өнеркәсіптік мәнге ие.

Сулы бораттар

Мұнда қарастырылатын сулы тұздардың барлығы дерлік Mg, Na және Ca полибораттарынан тұрады.

БУРА – $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5](\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Сингониясы моноклиндік. L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=11,82$; $b_0=10,61$; $c_0=12,30$; $\beta=106^{\circ}35$.

Кристалдар келбеті. Кейде ірі призма кристалдарда кездеседі (270-сурет). Жер тәрізді массаларда да таралған.



270-сурет. Бура кристалы

Түсі. Әдетте түссіз, бірақ сұрғылт, сарғыш, көкшіл немесе жасылтым реңді ақ болады. **Жылтырлығы** шыныша, майша.

Қаттылығы 2-2,5. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 1,69-1,72.

Диагноздаушы белгілері. Жалынды бояуы бойынша реакция береді. Біршама төмен қаттылық және суда оңай ерігіштік тән. Өзіне ұқсас улекситтен тек химиялық реакциялары бойынша ғана ажыратуға болады (бураның құрамында кальций жоқ).

Суда ериді, ерітінді шамалы сілтілі реакцияға ие. Дәмі тәттілеу сілтілі, шамалы.

Ауада оңай дегидратацияланады, күнгірттенеді және ақыр соңында майда ақ ұнтаққа айналады (тинкалконит немесе кернит болуы ықтимал). Балқытқан кезде өзінде металдар окиселін еріту қабілетіне ие. Қолданылуы туралы *ашаритте* айтылған.

Жаралуы және кенорындары. Бура кебірсіген борлы тұзды көлдерде жаралады. Үлкен массаларда натрийдің басқа тұздарымен бірге Кашмир және Тибет көлдерінің жағаларында кездеседі. Калифорнияның кейбір

көлдерінде: *Өлім Аңғары* (Сан-Бернардино) ауданында бар, мұнда ол колеманит немесе кернит жатындарының шаймалануы есебінен жаралатыны көрінеді. Россияда бура кенорындары белгісіз, егер оның *Тамань түбегіндегі* балшық төбелерінде шамалы мөлшерде кездескенін санамағанда.

УЛЕКСИТ – $\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$. Синонимі: борнатр кальцит.

Химиялық құрамы, %: Na_2O – 7,7; CaO – 13,8; B_2O_3 – 43; H_2O – 35,5. Қоспалардан шамалы мөлшерде K_2O және MgO , сондай-ақ бөтен заттар кездеседі.

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық (?). Жалбырлар мен бүйрек тәрізді массаларда байқалып, асбест тәрізді немесе ине тәрізді, параллель-сырықша, кейде шатасқан талшық құрылысты болады. Кейде жұқа қалақша агрегаттары кездеседі.

Түсі ақ. **Жылтырлығы** шыныша, жібекше. $N_g=1,519$; $N_m=2,505$; $N_p=1,496$.

Қаттылығы 1. **Жіктілігі** микроскоп астында үш бағытта байқалады. Бұл бағыттар тік бұрыш жасап қиылысып, қалақшаларға тік бұрышты келбет береді. **Мен. салмағы** 1,65.

Диагноздаушы белгілері. Төмен қаттылық тән, жібекше жылтыр массасында асбест тәрізді құрылыс байқалады және суда ерімейді. Дұрыстау диагноздау үшін химиялық реакция және оптикалық константаларын анықтау қажет.

Салқын суда ерімейді десе де болады, бірақ ыстық суда ериді. Қышқылдарда ерітіндіге оңай өтеді.

Жаралуы және кенорындары. Кеуіп кеткен құрамында бор бар тұзды көлдерде және әсіресе сортаңдар арасында кездесіп, ыстық құрғақ климат жағдайларында жаралады. Тұз күмбездер мұрыған кезде, оның құрамындағы бораттардан улексит гидроборациит бойынша, кейде иньоиттен $(\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ сіңетін ерітінділерде натрий концентрациясы біршама жоғары болған жағдайда жаралуы мүмкін. Бұл элементтің концентрациясы төмендеу болған кезде, оның өзі иньоитке өтеді. Тоқтау су горизонттарында ерітінділер булану арқылы суын жоғалту процесінде метасоматоздық жолмен сыйыстырушы таужыныстарда, атап айтқанда сазда дамиды.

Бораттардың *Индер* кенорнында белгілі (Батыс Қазақстан). Үлкен массаларда Калифорнияның бірқатар сортаң кенорындарында белгілі: *Өлім Аңғары*, Керн округіндегі *Борон* кеніші; *Ланг* (Лос-Анжелес) – колеманитпен бірге; сондай-ақ Невада штатының шөл аудандарында – *Эсмеральда* және басқалар; *Тарапақ* құрғақ аудандарында (Чили) және басқалар.

Практикалық мәні. Басқа бораттар сияқты, жаппай шоғырлану жағдайында борқышқылы қосылыстарының көзі ретінде өнеркәсіптік мәнге ие болады. Қолданылуы туралы *ссайбелиитте* айтылған.

ГИДРОБОРАЦИТ – $\text{MgCa}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Атауы борацитке байланысты емес, одан құрамы бойынша елеулі айрықшаланады.

Химиялық құрамы, %: MgO – 9,9; CaO – 13,9; B_2O_3 – 49,5; H_2O – 26,7. Өте мардымсыз мөлшерде сілтілер болады. Кезінде академик Г.И. Гесс анықтаған.

Сингониясы моноклиндік. Құрылымы тізбекті. Ине тәрізді және талшықты агрегаттарда, кейде ақпа, өте әсерлі сферолит немесе жұлдызша жаралымдарда кездеседі.

Түсі. Түссіз немесе ақ, кейде қызғылт, қызыл немесе сұр түске боялады. **Жылтырлығы** шыныша. $Ng=1,571$; $Nm=1,534$; $Np=1,522$.

Қаттылығы 2. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,167.

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша оған ұқсас басқа бораттардан оптикалық константаларын өлшемей және химиялық талдау деректерісіз ажыратылмайды.

Суда ерімейді десе де болады, тіпті қайнатқанда да. Қышқылдарда шамалы қыздырған кезде ериді.

Жаралуы және кенорындары. Құрамында бор бар және гипс, ангидрит пен саз қабаттарымен сүйемелденетін тастұз кенорындарында кездеседі. Саз қабаттарының гидроборациппен баюы саздың заттарды оптаудың жалпы қасиетімен түсіндіріліп, негізінен борқышқылы тұздары болып табылады.

Гидроборацит тұз күмбездерінің қалыптасу процесінде мору белдеміне түскенде және сіңген жер беті суымен әрекеттескенде орнықсыз болып шығады, мұнда ол қайта түзіледі немесе біртіндеп бірқатар басқа орнықтылау бораттармен (улекситпен, иньбитпен, колеманитпен, ссайбелиитпен және басқалармен алмасады. Олар метасоматоздық жолмен дамиды немесе жер бетінен белгілі бір горизонттарда шаймалану қуыстарында (каверна және карст) түзіледі. Осындай жолмен гипспен бірге біртіндеп туынды борқышқылы тұздарының елеулі шоғырлары тұз күмбездерінің телпектері түрінде жаралады.

Шетел кенорындарынан атайтынымыз: *Штассфурт* (Германия) және *Иньо* ауданындағы кенорындар (Калифорния).

Практикалық мәні. Гидроборацит егер елеулі шоғырларда кездесе, химиялық өнеркәсіп үшін борқышқылы қосылыстарының көзі ретінде маңызды шикізат болып табылады. Қолданылуы *ссайбелиитте* айтылған.

КОЛЕМАНИТ – $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Сингониясы моноклиндік. Құрылымында тетраэдрлер саны октаэдрлер санынан екі есе артатын тізбекті радикал болады. Кристалдары қысқа бағана, дипирамида келбетті. Көбінесе түйірлі және сферолит массаларда таралған.

Түсі ақ. **Жылтырлығы** шыныша. $Ng=1,614$; $Nm=1,592$; $Np=1,586$.

Қаттылығы 4. **Жіктілігі** {010} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,44. Суда ерімейді. HCl қышқылында қыздырған кезде ериді.

Колеманиттің ірі кенорындары гипспен және басқа бор минералдарымен Калифорния және Невада штаттарында (АҚШ) кеуіп кеткен тұзды көлдермен сортаңдар түрінде ыстық құрғақ климатты аудандарда белгілі. Колеманит Чилиде, *Бакос-дель-Торо* маңында ыстық бұлақ көздерден түзіледі. Шамалы массаларда *Индер* кенорнында кездескен.

ПРАЙСЕЙТ – $\text{Ca}_2[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_7] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Синонимі: пандермит.

Сингониясы триклиндік. Тығыз, бор сияқты жасырын кристалды ак түсті массаларда кездеседі, беті бүйрек тәрізді және омырылымы ұлуша, жылтырлығы күңгірт. $N_g=1,593$; $N_p=1,574$.

Қаттылығы 3,5. **Мен. салмағы** 2,43. Қышқылдарда өзін-өзі ұстауы бойынша колеманитке ұқсас.

Алғаш мәрмәр теңізіндегі *Пандерма* айлағы маңында (Түркия) ашылған. Калифорния штатының (АҚШ) *Иньо* және басқа жерлерінде кездескен. Елеулі мөлшерде бораттардың *Индер* кенорнында (Каспий теңізінің солтүстігінде, Қазақстан) тығыз массалар түрінде кездеседі.

КЛАСС 8. Силикаттар және алюмосиликаттар

Жалпы ескертпелер. Силикаттар класына минералдардың орасан зор саны жатады. Олардың үлесіне табиғатта белгілі минерал түрлерінің шамамен үштен бір бөлігі тиеді. Олардың сандық мәні егер біз олардың жер қыртысында таралғандық дәрежесі мен салмақтық мөлшерін ескерсек, тіпті орасан болып шығады.

А.Е. Ферсманның есептеулері бойынша, силикаттар жер қыртысының 75 % шамасын құрайды. Егер біз мұнда еркін кремний тотықтың (негізінен кварц пен опал түрінде) және 12 % мөлшерін қоссақ, онда кремний жалпы алғанда геохимияда қандай рөл атқаратыны айрықша айқын көрінеді.

Көптеген силикаттар тек барлық магмалық таужыныстар, олардың гидротермалық өзгерген түрлестері және жапсарлық-метасоматоздық жаралымдар ғана емес, сондай-ақ олардың мору өнімдерінде, көптеген шөгінді таужыныстарда (негізінен саздарда және саз таужыныстарда), және де әр түрлі кристалды тақтатастарда ең маңызды таужынысжасаушы минералдар болып табылады. Елеулі рөлді олар барлық дерлік пайдалы қазба кенорындарының минералдық құрамында атқарады, және руда минералдардың серіктері ретінде ғана емес, сондай-ақ бірқатар жағдайларда құнды металдар (Ni, Zn, Be, Zr, Li, Cs, Rb, U, TR және басқа) әкелуші ретінде де. Силикаттардан тұратын бейметалл пайдалы қазбалар да көптеп белгілі. Олардың қатарына жататындар, мысалы: асбест, каолин, ағартқыш деп аталатын саздар, далашпаттар оттөзімділер мен керамика үшін шикізат ретінде және басқалар. Тіпті әр түрлі құрылыс материалдарын айтпағанда, бірқатар силикаттар (изумруд, аквамарин, турмалин, топаз, родонит, нефрит және басқалар) ежелден бері асыл және әсем тастар ретінде пайдаланылып келеді.

Силикаттар құрамына кіретін ең басты элементтер мыналар:

- Na, K, Li;
- Ca, Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Be;
- Al, Fe^{3+} , B;
- Si, Zr, Ti;
- O, F, H (H^{1+} , $[OH]^{1-}$ және H_2O түрінде).

Көптеген басқа элементтер (Rb, Cs, Ba, Sr, Pb, Zn, Ni, Co, Cu, Bi, Sb, Cr, V, Sc, Y, TR, Th, Sn, U, Nb, S, Cl, C ол $[\text{CO}_3]^{2-}$ түрінде, P және басқалар) біршама сирек минерал түрлерінде болады.

Силикаттар құрамына қатысатын жоғарыда келтірілген ең басты элементтер саны біршама аз болғанына қарамай, табиғатта қосылыстардың орасан зор әртүрлілігі байқалады, көбінесе аса күрделі конституциялы және өзгермелі құрамды келеді. Бұрынырақ қарастырылған оттегі тұздары кластары минералдарының химиялық құрамы, біз көргеніміздей, біршама қарапайым химиялық формалармен өрнектелген еді. Силикаттар арасында мұндай қосылыстар қатарына минералдардың біршама шағын тобы ғана жатады. Өте көп жағдайларда химиялық талдау деректері бойынша, кейде көптеген қоспалары болуы салдарынан және минерал түрлері құрамының біршама тұрақсыздығынан, олардың қарапайым формулаларын шығару мүмкін болмайды. Бұл құбылыс химиялық талдаулардың өзінің қателіктерімен немесе қандай да бір бөтен минералдардың микроскоптық кірінділері болуымен түсіндіріле алмайды. Олардың құрамының күрделілігі, минералдардың жекелеген топтарын сипаттаған кезде көретініміздей, бұл қосылыстардың кристалхимиялық ерекшеліктеріне байланысты болады.

Силикаттардың конституциясы туралы. Рентгенметриялық зерттеулерге дейін-ақ силикаттардың химиялық табиғаты мәселесіне аса үлкен көңіл аударылып келген болатын. Бұл мәселемен Вернадский, Чермак, Грот, Кларк сияқты және басқа көптеген ірі ғалымдар айналысқан.

Осы өте қиын проблеманы шешуге мынадай жолдармен келген: минералдардың эмпирикалық формуласы жекелеген элементтердің сол кездегі химиядан белгілі валенттілігін ескеріп салыстыру жолымен; минералдардың химиялық пен физикалық қасиеттерін және лабораториялық синтездеу өнімдерін түбегейлі зерделеу жолымен; минералдардың табиғатта өзін-өзі ұстауын, әсіресе олардың ыдырау өнімдерін зерделеумен – олар бірқатар эмпирикалық заңдылықтарын анықтауға әкеледі. Жалпы алғанда зор жұмыс атқарылған болатын.

Көптеген жанама пікірлер негізінде құрамы бойынша көптеген күрделі силикаттар конституциясы мәселесі бойынша әр түрлі, кейде кереғар жорамал түсініктер қалыптасып, құрылымдық формулаларының қандайда бір сұлбасы жасалған. Түйсік тереңдігі бойынша асқан шеберлікпен шығарылған бір қатар ережелер (Вернадский) өздерінің мәнін қазір де толық сақтауда. Бірақ кейбір ережелер зерттеудің заманауи дәл әдістерін қолданған кезде қуаттауға ие болмады.

Осыған қарамай бұрынғы жорамал түсініктер қазіргі кезде көпшілігінде өзінің мәнін жоғалтқан, бірақ айта кететіні, олар силикаттар минералогиясын дамытуда тарихи рөл атқарғаны даусыз. Бұл зерттеулерсіз, әсіресе минералдар қасиеттерін анықтау бойынша, бірқатар ең күрделі кристалдық құрылымдарды танымдау, атап айтқанда далашпаттардың, айтарлықтай шамада қиындаған болар еді.

Минералогиялық әдебиетке нық енген кейбір терминологиялық мәселелерге келейік.

Силикаттар заттың молекулалық құрылысы туралы түсінік негізінде көптеген жорамал қышқылдар: кремний, алюмокремний, титан-циркон-кремний және басқа қышқылдар тұздары (қышқылды, орташа және негізді) ретінде қарастырылған. Осы көзқарастан дербес силикаттар арасында мыналар бөлінген:

- 1) ортосиликаттар – H_4SiO_4 қышқылының тұздары ретінде;
- 2) метасиликаттар – H_2SiO_3 қышқылының тұздары ретінде;
- 3) пиросиликаттар – $H_6S_2O_7$ қышқылының тұздары ретінде және т.б.

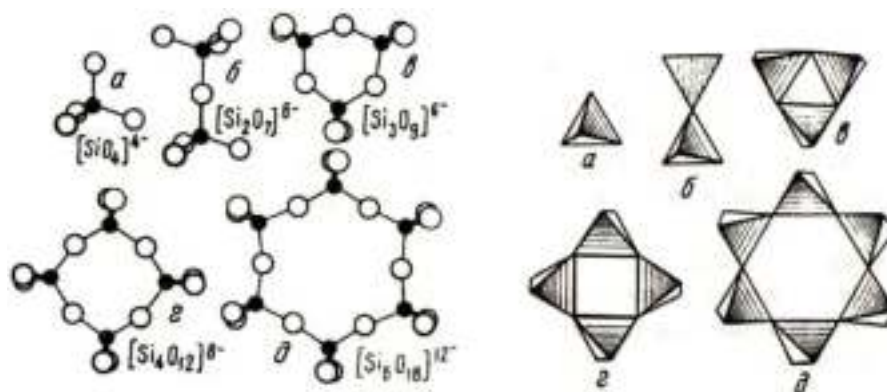
Егер қосылыстардың бірінші типі үшін көптеген қасиеттері бойынша, соның ішінде кристалдық құрылымдарының құрылысы бойынша да біз шын мәнінде нағыз тұздар белгілерін көре аламыз. Олар бұрынырақ сипатталған фосфаттарға, сульфаттарға және басқаларға ұқсас болады. Ал тұздардың кейінгі типтерінде, әсіресе кремний тотықтарға байлау түрлерінде бұл белгілер елеулі нашарлайды. Қосылыстардың соңғы типтері шын мәнінде нағыз тұздар мен окиселдер (атап айтқанда, SiO_2) аралығында өтпелі жағдайда орналасады.

Мынаны да айта кетейік, әдебиетте силикаттардың басқа – сәтсіздеу атауларын кездестіруге болады, олар SiO_2 ангидридіндегі және негіздердегі (эмпирикалық формулалар бойынша) оттек атомдары аралығында сандық арақатынасқа негізделген. Ортосиликаттар (мысалы, форстерит $2MgO \cdot SiO_2$), *моносиликаттар* деп аталған, өйткені SiO_2 мен MgO оттек атомдары санының қатынасы (2:2) 1-ге тең; метасиликаттар - *дисиликаттар* деп аталады (мысалы, энстатит $MgO \cdot SiO_2$); альбит $N_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ осы көзқарас бойынша *трисиликат* деп аталған.

Силикаттардың конституциясы бойынша қазіргі көзқарастар негізінен кристалхимия саласындағы қорытындылау негізінде дамыған (У. және Г. Брэгги, Е. Шибольд, Л. Полинг, Н.В. Белов, Ф. Либау, Д.Ю. Пушаровский және басқалар).

Силикаттарды (құрамы бойынша санқилы) ондаған жылдардағы рентгенметриялық зерттеулер мынадай аса маңызды қорытындыларға әкеледі, олар осы қосылыстардың кристалдық құрылым ерекшеліктеріне қатысты.

1. Барлық зерделенген силикаттарда әр Si^{4-} ионы әрдайым төрт O^{2-} ионының қоршауында болып, оның төңірегіндегі тетраэдр бойынша бұрыштарда орналасады (*271-сурет*). Оттек иондарының кремниймен байланысты силикаттар кристалдық құрылымында катиондар рөлін атқаратын басқа металдарға қарағанда әлдеқайда күштірек болады. Бұл кремнийоттек тетраэдрлерінің өлшемі қатал дерлік тұрақты. Si-O қашықтығы небәрі $1,6\text{Å}$ шамасында болады. Осы жағдай, сондай-ақ басқа рентгенметриялық деректер Si-O байланысы елеулі шамада ковалентті болатынына көз жеткізеді.



271-сурет. Кремнийоттек тетраэдрлері жекелеген топтарының типтері (екі бейнеде): *a* - жекелеген оқшау тетраэдр $[\text{SiO}_4]^{4-}$; *b* - ортақ төбесімен байланысқан екі тетраэдр тобы $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$; *c* - сақинаға байланысқан үш тетраэдрден тұратын топ $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$; *d* - сақинаға байланысқан төрт тетраэдрден тұратын топ $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$; *e* - сақинаға байланысқан алты тетраэдрден тұратын топ $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$

Осылайша, кремнийоттек тетраэдрі, яғни $[\text{SiO}_4]^{4-}$ тобы барлық силикаттардың минимал құрылымдық бірлігі болып табылады.

2. Кремнийоттек тетраэдрлері силикаттар кристалдық құрылымында бір-бірінен оқшауланған SiO_4 құрылымдық бірліктер түрінде бола алады немесе әр түрлі тәсілдермен күрделі комплексті аниондық радикалдар жасап бір-бірімен бірігуі мүмкін. Мұнда бірігу ортақ аниондар жасай отырып *тек қана тетраэдрлер төбелері арқылы* жүреді, бірақ қырлары және жақтары арқылы емес. Мұндай бірігулердің ең толық жағдайын біз әр тетраэдрдің барлық төрт төбесі бір уақытта, барлық төрт SiO_4 тетраэдр үшін де ортақ болып табылатын кезде ғана көре аламыз. Біз білетіндей, мұндай жағдай кварц тобы минералдарының кристалдық құрылымында орын алады (*182-және 183-суреттерде*), олардың ортақ формуласы SiO_2 .

Мұнан шығатыны, силикаттар радикалы комплексті аниондарында O:Si қатынасы 4:1-ден 2:1-ге дейінгі ауқымда ауытқи алады.

Олардың ең типтік мысалдарын келтіреміз.

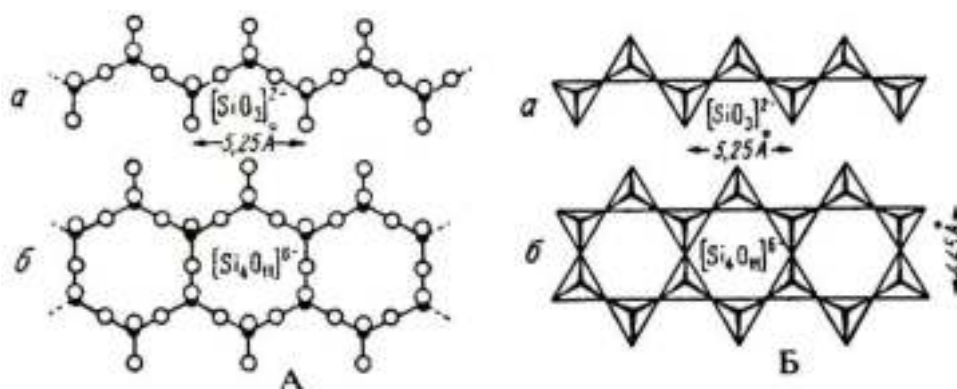
А. Комплексті анион оқшауланған $[\text{SiO}_4]^{4-}$ тетраэдрлерінен тұрып (*271 а-суретте*), құрылымда басқа металдар катиондары көмегімен ұсталып тұрады. Әр осындай топтың жалпы теріс заряды төртке тең (оттектің әр ионы кремнийге өзінің екіге тең теріс зарядының тек жартысын ғана береді). Құрылымның бұл типі ортосиликаттарда кеңінен белгілі, мысалы цирконда – $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$, форстеритте – $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$, анартаста - $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ және т.б.

Б. Комплексті анион радикал бір-бірімен байланысқан бір ортақ төбесі бар екі SiO_4 кремнийоттек тетраэдрінен тұратын оқшауланған $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ топтары болып табылады (*271 б-суретте*). Бұл комплекстің жалпы теріс заряды алтыға тең екенін оңай есептеп шығаруға болады. Ортақ төбеде орналасқан оттект ионы электростатикалық бейтарап. Бұдан шығатыны, қалдық теріс зарядтары кристалдық құрылымда металдар катионымен бейтараптанатын белсенді оттект иондары анион комплексінің бір-біріне қарама-қарсы орналасқан екі шетінде орналасады (*271 б-суретте*). Осындай

комплекті аниондарға ие болатын қосылыстардың мысалдары көп емес (тортвейтит – $\text{Sc}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$).

В. Комплексті анион үш, төрт, алты кремнийоттек тетраэдрінен тұрып, олар бір-бірімен енді *жазық оқшауланған сақиналарға* тұйықталған екі ортақ төбесі арқылы байланысады (271 в, г, д-суреттерде). Комплексті аниондар мұндай жағдайларда тиісінше $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$, $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ және $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ иондарынан тұрады. Әр осындай радикалдың жалпы валенттілігі сыртқы оттектен иондары санымен анықталады, олардың әрқайсысы өтемеленбеген бір теріс валенттілікке ие болады. Олардың мысалына жататындар: *бенитоит* – $\text{BaTi}[\text{Si}_3\text{O}_9]$ және берилл – $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$. Бұрынғы жіктелім бойынша, осындай құрылымдық типті қосылыстар тек жалғыз химиялық формуласы негізінде $\text{R}^{2+}[\text{SiO}_3]$ метасиликаттарына жатқызылған. Бұған қосатыны, Н.В. Белов кейбір силикаттарда (*миларит* $\text{KCa}_2(\text{Be}_2\text{Al})[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) қосарланған (екі этажды) алты мүшелі $[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]$ сақиналарынан тұратын комплекстер түріндегі аниондардың жаңа типін дәлелдеген.

Г. Комплексті аниондар бір-бірімен кремнийоттек тетраэдрлерінен тұратын бірөлшемді тұтас тізбектерден тұрады. 272-суреттің жоғарғы бөлігінде қарапайым жекеленген тізбек бейнеленген. Мұнда әр тетраэдр көрші тетраэдрлермен енжар оттектен иондарынан тұратын екі бұрышпен байланысқан. Ал екі белсенді оттектен ионы әр тетраэдрде былайша орналасқан: олардың бірі Si ионы үстінде орналасады (сурет жазықтығында), ал басқасы кезектесіп не жоғарғы, не төменгі жағына қарай шалқайған. Осындай сызықша созылған радикалдар аралығында металдар катионы орналасады.



272-сурет. Кремнийоттек тетраэдрлердің бір өлшемді үзіліссіз тізбектер типтері (екі бейнеде): а – жалқы тізбек $[\text{SiO}_3]^{2-\infty}$; б - қосарланған тізбек (таспа) $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-\infty}$. Байқаушыға бағытталған тетраэдрлер төбесі қалыңдатылған (Б)

Жоғарыдағы типтегі сияқты, әр кремнийоттек тетраэдрде оттектің екі ионы толықтай Si ионына қарасты болады, ал қалған екеуі (енжарлар) көрші тетраэдрлер аралығында екіге бөлінеді. Мұнда әр Si ионына үш оттектен ионы келеді, олардың екеуі бір-бірден бос валенттілікке ие болады. Осылайша, мұндай радикалдардың құрамы мен валенттілігі келесі түрде бейнелене алады: $n[\text{SiO}_3]^{2-}$, мұндағы $n=\infty$ және полимерленуді білдіреді. Оттекті радикалдың осындай құрылысы жалпы формуласы $\text{R}^{2+}[\text{SiO}_3]$ болатын нағыз метасиликаттарға жататын пироксендер тобына тән. Бірақ мұнда, жоғарыда

карастырылған кристалдық құрылым типіндегі сияқты, біз оқшауланған SiO_2 топтарын байқаймыз.

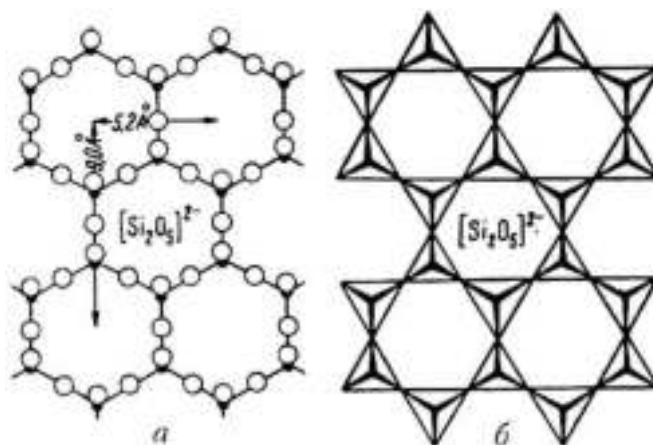
Осы комплексті анион үшін де, үзіліссіз комплекстердегі тетраэдрлердің кейінгі басқа бірігу типтері үшін де тік жақшада шартты бірлікті белгілейтін боламыз, ал берілген жағдайда бір периодты тізбек ұзындығының бірлігі $5,25\text{Å}$ (272-суретте). Осылайша, пироксендер үшін анион формуласы $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ болады.

272 б-суреттің төменгі бөлігінде қосарланған тізбек келтірілген немесе, дәлірек айтқанда, үзіліссіз байланысқан кремнийоттек тетраэдрлерінің үзіліссіз таспасы. Ол жалқы тізбектен оны сызбаға перпендикуляр және тізбек осіне параллель жазықтықта шағылдыру арқылы алынуы мүмкін. Кремнийоттек тетраэдрлердің мұндай таспалы бірігуі амфиболдар тобына тән. Оңай есептеп шығарылатындай, мұндай радикалдардың құрамы мен валенттілігі бір период ауқымында ($5,2\text{Å}$) $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$ формуласы түрінде бейнеленеді.

Айта кететіні, кремнийоттек тетраэдрлерде Si ионы жартылай Al ионымен алмасады, ол да оттектің төрт ионы қоршауында орналасады.

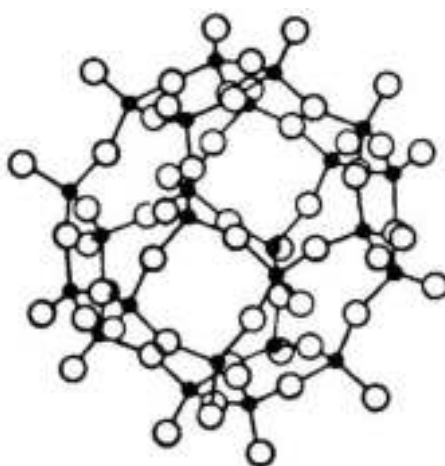
Н.В. Беловтың жетекшілігімен аниондық радикалдың жаңа типі анықталған: периоды үш тетраэдр $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ кремнийоттек тізбегі түрінде, яғни волластонитке $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ тән; сондай-ақ қосарланған кремнийоттек тізбектері $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]$ құрамында OH бар ксонолит $\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}][\text{OH}]_2$ үшін. Н.В. Белов және оның шәкірттері оларда көптеген басқа жаңа тізбектер мен таспалар түрі анықталған: жүзім тәрізді, нарсарсуктәрізді және басқа жаңа құрылымдарды ашқан.

Д. Комплексті аниондар кремнийоттек тетраэдрлерінің екіөлшемді қабаттарынан тұрады. Мұндай қабатты радикалдардың құрылысы мынасымен сипатталады: тетраэдрлер бір-бірімен енді үш ортақ төбесімен қосылады да екі өлшемінде үзіліссіз созылған жазық қабат жасайды (273-сурет) гексагондық тор сияқты. Белсенді оттек иондары (әр тетраэдрден біреуден) барлығы бір жаққа бағытталып (сызба жазықтығынан жоғары немесе төмен), тетраэдрлер қабатында айрықша белсенді парақ жасайды. мұндай аниондық қабаттың химиялық формуласы гексагон ауқымында былайша бейнеленеді: $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$. Мұнда көбінесе кремнийоттек тетраэдрлеріндегі Si иондарының бір бөлігі координациялық саны 4 болатын Al иондарымен алмасқан болады. Осындай әр қабат оттектің белсенді иондар парағы көмегімен металдар катионы арқылы белгілі бір тәсілмен басқалармен байланысқан, олар құрылысы бойынша өздеріне ұқсас қабаттармен. Мұндай кристалдық құрылымдар мысалы ретінде бір бағытта аса жетік жіктілікке ие болатын қалақша минералдардың құрылымы болады (слюдалар, тальк, хлориттер және басқалар).



273-сурет. Гексагондық құрылысты $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ кремнийоттек тетраэдрлер қабаты

Е. Комплексті аниондар кремнийоттек тетраэдрлерінің үзіліссіз үшөлшемді қаңқаларынан жаралған, олардың әр оттек ионы бір мезгілде екі тетраэдрге қарасты болады. Тетраэдрдің белсенді оттек ионы бар бір де бұрышы жоқ. Айтылып кеткендей, мұндай қаңқалар мысалына кварц тобының минералдары жатады, олар формуласы Si_2O_5 таза ангидрид болып табылады. Дегенмен мұндай кристалдық құрылымдар силикаттарда да байқалады (274-сурет). Бірақ-та, мұндағы Si^{4+} иондарының бір бөлігі әрдайым координациялық саны осындай Al^{3+} иондарымен алмасқан болады (бұл мәселеге төменде арнайы тоқталамыз). Қаңқалы құрылысты комплексті аниондардың химиялық формуласы жалпы түрде былайша бейнеленуі мүмкін: $[(\text{Si}_{n-x}\text{Al}_x)\text{O}_{2n}]^{x-}$. Мұнда Si^{4+} иондарының бір бөлігі Al^{3+} иондарымен алмасуы салдарынан (оттек иондарының жалпы саны сақталған кезде) бұл радикал, оңай есептеп шығаруға болатындықтан, дегенмен біршама қалдық теріс зарядқа ие болады. Олардың мысалына далашпаттар $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ және басқа көптеген минералдар жатады. Анион қаңқаларының қалдық теріс валенттілігін өтемелейтін Na, Ca және басқа катиондар осы қаңқалар ішінде (құрылымның тиісті «қуыстарында») орналасады.



274-сурет. Нозеан кристалдық құрылымындағы алюмокремнийоттек қаңқасы

Осылайша, силикаттар кристалхимиясының жалпы келбеті SiO_4 тетраэдрлерінен тұратын комплексті аниондарды 0-, 1-, 2-, 3-өлшемді радикалдарға бөліну негізінде 15-кестеде көрсетілгендей болуы мүмкін.

15-кесте. Кремнийоттек аниондарының $\text{Si}:\text{O}$ арақатынасы негізінде жүйеленуі

Si:O	Анион формуласы және типі	Анион заряды	Si-ге заряды	Мысалдары
1:4	$[\text{SiO}_4]$ тетраэдр	-4	-4	Форстерит – $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$
2:7	$[\text{SiO}_4]$ қосарланған тетраэдр	-6	-3	Тортвейтит – $\text{Sc}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
1:3	$[\text{SiO}_4]$ сақина	-6	-2	Бенитоит – $\text{BaTi}[\text{Si}_3\text{O}_9]$
1:3	$[\text{SiO}_4]$ сақина	-12	-2	Берилл – $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
1:3	$[\text{SiO}_4]_n$ тізбек	-2n	-2	Диопсид – $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
4:11	$[\text{SiO}_4]_n$ таспа	-6n	-1,5	Тремолит – $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$
2:5	$[\text{SiO}_4]_n$ қабат	-2n	-1	Тальк – $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5]_2[\text{OH}]_2$
1:2	$[(\text{Al}_x\text{Si}_{1-n-x})\text{O}_{2n}]$ қаңқа	-x	-	Альбит – $\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$

4. Көптеген силикаттар конституциясының ең басты және ең тамаша ерекшеліктерінің біріне олардың кристалдық құрылымындағы Al иондарының рөлі жатады.

Рентгенметрлік зерттеулерге дейін кейбір ғалымдар (мысалы, П. Грот) Al болса Mg, K, Na және басқа металдар сияқты, силикаттар конституциясында негіз ретінде айрықша рөл атқарады деп есептеген. Ал В.И. Вернадский болса, Al силикаттарда Si-мен қатар қышқылды радикалдар құрамына кіретінін дәлелдеп, осыған байланысты көптеген алюмокремний қышқылдарын, олардың ангидридтерін және тұздарын (алюмосиликаттары) бөлген.

Силикаттардың кристалдық құрылымын рентген сәулесі көмегімен зерделеу бұл мәселесі шешуге мүмкіндік берді. Мұнда *алюмосиликаттар* шынында да силикаттар класы қосылыстары арасында бар болып шықты. Дегенмен, сонымен қатар елеулі шамалы жағдайларда силикаттар және тіпті алюминийдің алюмосиликаттары көбінесе басқа металдармен бірге анықталады.

Осылайша, Al^{3+} силикаттар конституциясында екі жақтама рөл атқарады: кейде радикалдар анионының компоненті ретінде Si^{4+} сияқты оттектенді иондарының төрт еселенген қоршауында болса, ал кейде жеке катион ретінде жалғыз немесе аниондардың теріс зарядын бейтараптандыратын басқа металдар катиондарымен бірге оттектенді иондарының немесе Mg^{2+} сияқты гидроксилдің алты еселенген қоршауында болады. Тіпті бір силикаттың өзінде Al иондарының кейбіреулері комплексті анионда орналасса, ал басқалары – теріс зарядталған радикалдар аралығындағы бос жерлерді алып жатады.

Осы ашылған жаңалық негізінде бұрын тіпті қол жеткізу мүмкін емес деп есептеліп келгендер, енді өте дәл физикалық деректер негізінде минералдар қасиеттеріне толық сәйкес шынайы түсінік алды. Силикаттардың

жекелеген топтарын сипаттаған кезде, біз бұл мәселеге әлі бірнеше рет тоқталамыз.

Сонымен, алюмосиликаттарда оттегі иондары Al^{3+} төңірегінде Si^{4+} төңірегіндегі сияқты төрттік координацияға ие болады. Кремнийоттек тетраэдрлерді алюмооттектіктермен алмастыру мүмкіндігі таза геометриялық түсініктерден шығарылады: O^{2-} және Al^{3+} иондық радиустарының қатынасы 0,43, яғни ықтимал төрттік координацияның (Si^{4+} сияқты) және алтылық координацияның (Mg^{2+} сияқты) аралығындағы шекараға жақын болады. Бірақ Si^{4+} -тің Al^{3+} -ке осындай алмасуы өте маңызды салдарға әкеліп, алюмосиликаттар конституциясында аса елеулі көрініс табады.

Шын мәнінде, SiO_4 кремнийоттек тетраэдрінде төрт қанық валенттілік болса, ал AlO_4 алюмооттек тетраэдрінде бұл сан беске дейін ($8-3=5$) артады. Мұнан шығатыны, әр алюмооттек тетраэдрі комплексті анион радикалында оның теріс зарядын бір бірлікке арттырады және оны осы құрылымның стехиометриясына сәйкес қандай да бір оң зарядты катионмен өтемелеу қажет. Оны қаңқалық кристалды құрылымды қосылыстар мысалында оңай көрсетуге болады:

- кварц – Si_4O_8 ;
- альбит – $Na[AlSi_3O_8]$;
- нефелин – $Na_2[Al_2Si_2O_8]$;
- анартит – $Ca[Al_2Si_2O_8]$ және басқалар.

$Si:Al$ қатынасы бүтін сан болуы міндетті емес, бірақ теріс және оң зарядтарды орнықты кристалдық құрылым үшін теңдестіру міндетті түрде қажет. Осыдан анық көрінетіні, алюмосиликаттардың химиялық талдау деректері неге минералдың химиялық формуласына әрдайым оңай есептеп шығарылмайтыны. Мысалы, мүйізалдамыштың жалпы формуласы мынадай түрге ие болады:



мұнда радикалдағы $Al:Si$ қатынасы 1:3-тен 0-ге дейін өзгеруі мүмкін.

Маңыздысы, AlO_4 тобы белгілі бір жағдайларда пайда болуы мүмкін. AlO_4 және SiO_4 тетраэдр топтарынан қаңқалардың жаралуы құрылымда өлшемдері бойынша біршама ірі, заряды төмен (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} және басқа) катиондардың бір мезгілде қатысуы кезінде орын алады. Далашпаттар мен цеолиттер тобының көптеген өкілдері осындай. Оларға тәні, мұрағат кезде сілтілі және сілтігер металдардың шаймалануы орын алғанда AlO_4 топтары қирайды: далашпаттардан жаралатын каолинитте Al^{3+} болса алтылық координацияда қатысады. Дәл осындай жағдай құрамында құрамдас бөлігі ретінде AlO_4 аниондар тобы бар кристалдық құрылымдардың басқа типтерінде де болады.

Алюмототыққа бай орталарда AlO_4 тобы жоғары температура жағдайында пайда болады. Эксперименттер көрсеткендей, құрамындағы барлық Al^{3+} алтылық координацияда болатын каолинит пен кианит сияқты минералдар мұндай жағдайларда (1400-1500⁰C) жартылай силлиманитке немесе муллитке айналады, яғни құрамында төрттік координациялы да AlO_4 тобы бар силикаттарға. Оларға тәні, қыздыру қисығында мұндайда күрт

білінген экзотермикалық әсерлер анықталып, олар кристалдық құрылымның қайта түзілу сәтінде сәйкес келеді.

Осыған байланысты каолин ядросы деп аталатын мәселеге де тоқтала кету қажет. Кезінде В.И. Вернадский минералдар қирауының табиғи құбылыстарына байқау жүргізу және эксперименттік зерттеулер деректері негізінде, алюмосиликаттар болатыны туралы қорытындыға келген. Атап айтқанда далашпаттарда табиғи процестерге қатысты аса төзімді $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ құрамды айрықша ядро болатыны туралы айтқан.

Құрамында алюмототық бар силикаттардағы Al-дің Si-мен тығыз байланыста екендігі туралы идеяның өзі кейін алюмосиликаттар сияқты, құрылымдық жағынан өте күрделі минералдарды рентгенметриялық зерттеулер көмегімен сипаттаған кезде баға жетпейтін қызмет көрсетті. Мұнда, дегенмен, кейін құрамында алюмототық бар силикаттардың барлығы да алюмосиликаттар емес екендігі анықталды, яғни Al оларда Si-мен бірдей рөл атқарады. Бірақ алюмосиликаттарда да олардағы алюмокремний-оттек радикалдардың кеңістіктегі үзіліссіз созылымы, қатал айтқанда, «каолин ядросы» деп жорамалданатынға ұқсас топтардың оқшауланғандығы болмайды. Алюмосиликаттар мұрыған кезде жаралатын каолиниттің өзі шын мәнінде алюмосиликат немесе «алюмокремний қышқылы» емес, алюминий силикаты болып табылады.

5. Көптеген силикаттар құрамында қосымша аниондар деп аталатындар: O^{2-} , $[\text{OH}]^-$, F^- , Cl^- , $[\text{CO}_3]^{2-}$ және басқалар болады, олар катиондардың артық оң зарядын бейтараптандырады. Бірқатар жағдайларда $[\text{OH}]^-$ және F^- радикалдардың өзіндегі комплексті аниондардағы оттек иондарын алмастыра алады деп айтуға болады, бірақ мұндай алмасу кремнийоттек тетраэдрлері құрамына кірмейтін оттек иондары үшін әдеттегідей болады.

Сонымен, бірқатар силикаттар құрамына H_2O кіреді, ол көпшілік жағдайларда цеолиттік сипатты. H_2O молекулалары әдетте кристалдық құрылымдармен олардың бос аралықтарында немесе каналдарында өте нашар ұсталады.

6. Барлық силикаттарда оттек иондарының саны басқа элементтер иондарынан астам болады. Өйткені оттек ионы радиусының шамасы катиондармен салыстырғанда елеулі үлкен. Сондықтан элементар ұяшықтардың өлшемі басқа да оттек қосылыстарындағы сияқты, негізінен ұяшықтардағы оттек иондарының санына және олардың кеңістікте орналасуына байланысты болатыны табиғи нәрсе.

Бұдан шығатыны, белгілі бір изоморфтық қатар мүшелері болып табылатын силикаттарда оттек иондарының саны бірдей болуы тиіс.

7. Силикаттар класында изовалентті изоморфизммен қатар, гетеровалентті изоморфизм құбылысы да кең таралған.

Гетеровалентті изоморфизмнің классикалық мысалына плагиоклаздар қатары $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]-\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ жатады. Мұнда Na^+ оған көлемі бойынша жақын келетін Ca^{2+} -мен алмасады. Бұл жағдайда орын алатын оң зарядтың бірге артуы радикалда тиісінше алмасумен сүйемелденеді: бір Si^{4+} ионы Al^{3+}

ионымен немесе анион $[\text{SiO}_4]^{4-}$ - $[\text{AlO}_4]^{5-}$ анионымен алмасады, яғни теріс зарядтың да бірге артуы орын алады.

Осылайша, осы да және басқа да осыған ұқсас көптеген мысалдарда катал қуатталатыны, изоморфтық қоспалар жасайтын компоненттерде болуы тиіс: а) оттегі иондарының саны бірдей, өйткені элементар ұяшықтардың өлшемі аз өзгереді; б) алмасатын және алмастыратын иондардың жалпы валенттілігі бірдей болып ($\text{Na}^{1+}\text{Si}^{4+}=\text{Ca}^{2+}\text{Al}^{3+}$, $\text{Ca}^{2+}\text{Si}^{4+}=\text{Na}^{1+}\text{P}^{5+}$ және тағы басқалар), ол кристалдық құрылымдағы оң және теріс зарядтар тепе-теңдігінің талапқа сай қажет шартынан шығады.

Алмасатын және алмастыратын иондар саны арақатынасына келсек, онда мынаны айту керек: әдетте, олардың саны тең. Бірақ, төменде минералдарды сипаттаған кезде біз көретініміздей, толық ақталатын ережеден тыс жағдайлар анықталады. Мәселен, 3Mg^{2+} -ні 2Al^{3+} алмастырады, 3Fe^{2+} - 2Fe^{3+} пен алмасады және басқалар, мұнда катиондар арасында жалпы валенттілік сақталады (анион радикалда мұндай жағдайда қандай да бір өзгерістер болмайды). Айта кететіні, осындай текті алмасулар кристалдық құрылымдардың тек белгілі типтерінде ғана орын алуы мүмкін. Осындай текті алмасулар үшін ең қолайлы жағдайлар силикаттардың қабатты құрылымдарында жасалады.

Басқа да кластардағы сияқты, силикаттар арасында минерал түрлерінің шектеулі араласқыштығы, сондай-ақ қатты ерітінділердің ыдырау құбылысы да таралған.

Изоқұрылымдық, яғни кристалдық құрылымы бойынша ұқсас қосылыстардың шектеулі араласқыштығы алмасатын және алмастыратын иондар өлшемдерінің айтарлықтай айырмасына байланысты. Мысалы, ежелден анықталғаны, бір типті Са және Mg силикаттары қосарланған қосылыстарды (монтichelлит, диопсид және басқа) оңай береді. Олар өздерінің құрамдас компоненттерімен (қатардың ақырғы мүшелерімен) шектеулі араласады, әсіресе жоғары температура жағдайларында.

Тек қана $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ және $\text{MgCa}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (клиноэнстатит-диопсид) аралығында табиғи жағдайларда үзіліссіз изоморфты қоспалар болады, олар жоғары температурада орнықты.

8. Силикаттар құрылымының маңызды сипаттамасына және де координациялық сан жатады, оларға изоморфтық алмасулар тәуелді. Кейбір катиондар екіден және тіпті үштен осындай сандарға ие болады. Төменде әдетте силикаттарда таралған элементтердің тізімі және олардың зерделенген кристалдық құрылымдарда анықталған координациялық сандары келтірілген:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| • В - 4; | • Be - 4; |
| • Al - 4, (5) және 6; | • Mg - 4, 6 және 8; |
| • Mn^{2+} - 6 және 8; | • Ca - 6, 7 және 8; |
| • Ti - 6; | • K - 6 және 10; |
| • Si - 4; | • Zn - 4; |
| • Fe^{3+} - 4 және 6; | • Fe^{2+} - 6 және 8; |
| • Na - және 8; | • Li - 6; |
| • Zr - 6 және 8; | • Ba - 12; |

Күткеніміздей, координациялық сандар иондар радиусы артқан сайын көбейеді. Келтірілген тізімнен және көруге болатыны, Ti^{4+} және Zr^{4+} оттекті иондарының төрт еселенген қоршауында кездеспейді және осыдан шығатыны, олар кремнийоттекті тетраэдрлерінде Si^{4+} алмастырушылары болмайды. Сондықтан титансиликаттар және цирконсиликаттар туралы бұрынғы түсініктер осы көзқарастан дұрыс бола алмайды.

Fe^{3+} -ке қатысты айтсақ, бұл элемент бірқатар жағдайларда комплексті анионға Si^{4+} -тің алмастырушысы ретінде кіреді, ол Al^{3+} -ке дәл ұқсас болып, ары қарайғы жағдай осыдан келіп шығады. Мұндай жағдайлар бірқатар күшті темірлі силикаттар үшін анықталған (мысалы, тетраферрифлогопит үшін). Тетраэдрлердегі кремний имитаторлары қызметін және де бор, бериллий мен тіпті мырыш та алады. Бірақ мырыш өте негізді сипатқа ие болып, қышқыл функцияларын атқара алмайды. Осыны ескере отырып жүйелеудің борсиликаттар мен бериллсиликаттар сияқты тарауларын нышандауға болады.

Силикаттар жіктелімі туралы. Минерал денелерді рентгенметриялық зерттеулер айтарлықтай жетістікке жеткен қазіргі кезде силикаттар жіктелімі, әрине, тек қана олардың химиялық құрамы негізінде емес, сондай-ақ жоғарыда қарастырылған кристалдық құрылымдар типін ескере отырып та жасалынуы тиіс.

Кремнийоттекті тетраэдрлер бірлесуінің әр түрлі тәсілдері минералдардың химиялық формуласына және олардың кристалдарының морфологиялық ерекшеліктеріне де, сондай-ақ олардың көптеген физикалық қасиеттеріне де (сыну көрсеткіштері, қосынуы, меншікті салмағы және басқалар) нақты әсерін тигізеді.

Құрылымдардың осы типтерінің орналасу реті әр түрлі болуы мүмкін. Кейбір авторлар силикаттар жүйеленуін біз жоғарыда қарастырғандай ретпен тұрғызады: оқшауланған кремнийоттекті тетраэдрлі құрылымдар типінен бастап және үшөлшемді кеңістікте үзіліссіз созылған қаңқалы құрылымдар аяқталғанға дейін. Басқа авторлар керісінше ретті қабылдайды, мұнда силикаттар жүйеленуі нағыз қаңқалы кристалл құрылымға ие болатын кварцтан басталады.

Біз бірінші нұсқаға тоқталамыз, яғни нағыз тұздарға сәйкес келетін және ең қарапайым болып табылатын әрі өзінің конституциясы бойынша бұрынырақ қарастырылған оттекті тұздары кластары минералдарына жақын келетіндерден бастаймыз. Олардан айырмашылығы, силикаттар класын бірқатар класшаларға бөлеміз.

Осындай бөлімдеудің жалпы сұлбасы мынадай түрде бейнеленеді.

А класшасы. Кристалл құрылымдарында оқшауланған SiO_4 тетраэдрлері бар силикаттар.

Б класшасы. Кристалл құрылымдарында оқшауланған SiO_4 тетраэдр топтары бар силикаттар.

Тип 1. Оқшауланған Si_2O_7 топтары бар.

Тип 2. Сақиналы Si_nO_{3n} анион радикалдары бар.

В класшасы. Кристалл құрылымдарында SiO_4 тетраэдрлері үзіліссіз тізбекті силикаттар.

Тип 1. Жекелеген тізбекті.

Тип 2. Қосарланған тізбекті (таспалы).

Г класшасы. Кристалл құрылымдарында SiO_4 тетраэдрлері үзіліссіз қабатты силикаттар.

Д класшасы. Кристалл құрылымдарында $(\text{Si},\text{Al})\text{O}_4$ тетраэдрлері үзіліссіз үшөлшемді қаңқалы силикаттар.

Силикаттардың класшалар мен типтерге бөліну сұлбасы осындай.

А КЛАСШАСЫ. Кристалл құрылымдарында окшауланған SiO_4 тетраэдрлі бар силикаттар

Мұнда жатқызылған силикаттар кристалл құрылымдарының ең өзіндік сипатына оларда құрылымдық бірліктер ретінде айрықшаланған $[\text{SiO}_4]^{4-}$ аниондары болуы жатады. Кіріспеде айтылып кеткендей, бұл тетраэдрлер мұнда қарастырылатын минералдардың кристалл құрылымдарында окшаулана орналасады, яғни Si иондарын қоршайтын оттегі иондарының біреуі де олармен іргелес басқа кремнийоттек тетраэдрлері үшін ортақ болмайды.

Химиялық көзқарастан бұл силикаттар ортосиликаттар ретінде қарастырылған, яғни болжамдық H_4SiO_4 қышқылының тұздары болады. Осы типті силикаттар катиондары арасында ең басты рөлді атқаратындар: Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , кейде Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , сондай-ақ Al^{3+} , Fe^{3+} , кейде Mn^{3+} , Cr^{3+} , сирек Pb^{3+} , Be^{2+} , Ti^{4+} , Zr^{4+} , Th^{4+} және кейде Nb^{5+} . Сілтілер Na^{1+} мен K^{1+} өте сирек жағдайларда кездеседі. сирек жерлер кейде кристалл торларының құрылысына да кальциймен, натриймен және кейде ториймен қатар қатысады. Алюминий мұнда силикаттардың басқа типтерінен айырмашылығы, кристалл құрылымға төрттік координациялы комплексті аниондар түрінде өте сирек кіреді, яғни Si-ді оның тетраэдрлік топтарында алмастырмайды (оларға титанды анартастар кірмейді). Тек мүмкін болатыны, фосфор ғана кремний иондарын алмастыруы мүмкін (*апатит тобын* қараңыз).

Бұл типті силикаттардың физикалық қасиеттері біршама өзінше және нығыз кристалл торларының ерекшеліктеріне байланысты. Кристалл пішіндері әдетте изометрлі. Минералдар жоғары қаттылыққа және иондарының тығыз жайласуы салдарынан біршама жоғарылау меншікті салмаққа ие болады. Жоғарылау сыну көрсеткіштері де осымен түсіндіріледі. Көпшілік жағдайда минералдар түссіз немесе шамалы боялған. Қанық бояу тек құрамында хромофорлар бар түрлестеріне ғана тән болады.

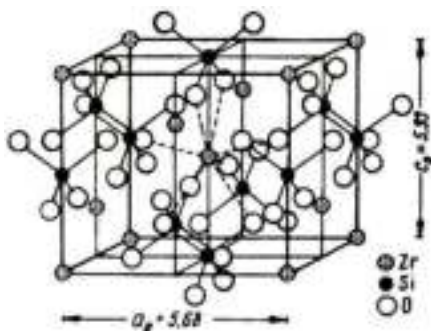
1. Циркон тобы

Бұл топқа төрт валентті Zr, Th және Hf ортосиликаттары кіріп, олар тетрагондық сингонияда кристалданады.

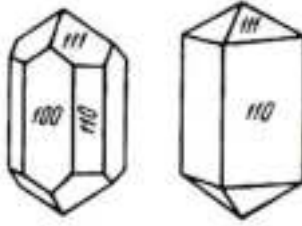
ЦИРКОН – $Zr[SiO_4]$. Атауының шығуы уақыт өте келе бұрмаланған парсы сөздерінен: *цар* – алтын және *гун* – түс. Синонимі: гиацинт. Бірқатар қышқылды және сілтілі интрузиялық таужыныстарда (гранит, сиенит, нефелинді сиенит) біршама жиі акцессор (мөлшері бойынша екінші дәрежелі) минерал болады.

Химиялық құрамы. Формуласына сәйкес, %: ZrO – 67,1 (Zr – 49,5); SiO_2 – 32,9. Қоспалардан шамалы мөлшерде әрдәйім дерлік Fe_2O (0,35 %-ке дейін және одан да асады), көбінесе CaO (0,05-4 %), кейде Al_2O_3 . Құрамында әрдәйім гафний окисі болады; кейбір жағдайларда HfO_2 4 % шамасына дейін жетеді, Крагерё альвитінде (Норвегия) тіпті 16 % болады. Бірқатар жағдайларда Y_2O_3 және сирек жерлер анықталады, негізінен Ce_2O_3 (хагаталит), кейде 16%-ке дейін және құрамында P_2O_5 болған кезде – 4-5 %-ке дейін (амагутилит). Кейбір түрлестерінде сонымен қатар Nb және Ta (наэгит), сондай-ақ ThO_2 7 %-ке дейін, кейде 12%-ке дейін (хегтвейтит) және U_3O_8 1,5 % және одан аса анықталады. Анда-санда шамалы мөлшерде Sn және Be (альбитте $BeO+Al_2O_3$ 15 % шамасына дейін жетеді) және басқалар байқалады. Тіпті құрамында елеулі мөлшерде P_2O_5 болатын (оямалит) түрлестері белгілі. Радиобелсенді заттарға біршама бай және осыған байланысты метамиктілі күйде болатын малакон мен циртолит (грекше *киртос* – қисық, дөңес; ол кристалл жақтарының қисықтығына байланысты) құрамында және де елеулі мөлшерде H_2O (2-12 %) болады.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық L^4L^25PC . Кеңістіктік тобы $I4_1(amd)(D^{19}_{14})$. $a_0=6,58$; $c_0=5,93$. Жалпы цирконға кристалдар тән. Бұрыс пішінді түйірлерде сирек кездеседі. **Кристалдық құрылымы.** Рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, циркон сегіз оттек иондарымен қоршалған SiO_4 анион топтары мен Zr^{4+} катиондарынан тұратын нағыз радикал-иондық құрылымға ие (275-сурет). SiO_4 тетраэдрлері L_4 бойымен Zr иондарымен кезектеседі. Осылайша, циркон құрылымы рутил құрылымынан аса елеулі айрықшалаанады. Рутил кристалдары сырттай циркон кристалдарына өте ұқсас болғанымен, бірақ ангидрит $Ca[SO_4]$ құрылымына жақын болады. **Кристалдарының келбеті** қысқа бағаналы, изометрлі, сирек дипирамидалық. Әдеттегі пішіндері: тетрагондық призма $\{100\}$ және $\{110\}$, тетрагондық дипирамида $\{111\}$ (276-сурет). Қосақтары тізе тәрізді, рутилдікі сияқты, бірақ әлдеқайда сирек кездеседі.



275-сурет. Цирконның кристалдық құрылымы. Центрінде Zr^{4+} ионының $[SiO_4]^{4-}$ топтары оттек иондарымен сегіз байланысы көрсетілген



276-сурет. Цирконның ең көп әдеттегі кристалдары

Түсі. Түссіз, бірақ көбінесе қоңыр, сары, жирен, қызыл, кейде жасыл немесе көкшіл (гиацинт) түске боялған. Малакондар әдетте күңгірт-қышқыл бояуға ие. **Жылтырлығы** алмасша, кейде майша. $N_g=1,968-2,015$ және $N_m=1,923-1,960$.

Қаттылығы 7-8. Метамиктілік ыдырауға ұшыраған түрлестерінде 6-ға дейін төмендейді, сонымен қатар олар керемет тұтқырлыққа ие болса, ал кәдімгі циркон кристалдары морт келеді. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша орташа байқалады. Омырылымы бейтегіс немесе ұлуша (өзгерген түрлестерінде). **Мен. салмағы** 4,68-4,7; өзгерген түрлестері циртолиттерде 4,1-ге дейін және тіпті 3,8-ге дейін төмендейді (көлемі артқанымен біршама өзгеріске ұшыраған кристалдарының сыртқы пішіндері сақталады).

Басқа қасиеттері. Малакондар мен циртолиттер әдетте радиобелсенді.

Диагноздаушы белгілері. Циркон кристалдарына аса тәні - тетрагондық қысқа бағана, кейде дипирамида келбеті. Шатастыруға болатыны: рутилмен (қаттылығы, сыну көрсеткіші бойынша ажыратылады); 2) касситеритпен (меншікті салмағы, парагенезісі, химиялық реакциясы және микроскопта төмен қосынуы бойынша ажыратылады); 3) торитпен (қаттылығы, реактивтерге әсері, айтарлықтай күштілеу қосынуы бойынша ажыратылады); 4) монацитпен, ұқсас жағдайларда кездесетін (қаттылығы мен кристалдарының келбеті бойынша ажыратылады – монацит әдетте тақталған пішінді болады).

Қышқылдарда ерімейді. Ұнтағын содамен бірге балқытқанда ыдырайды, мұнда балқыманың сұйытылған HCl ерітіндісі куркум қағазын жирен түске бояйды (Zr реакциясы).

Жаралуы және кенорындары. Циркон магмалық интрузиялық таужыныстарда сирек сеппелік кристалшалар түрінде кездеседі: нефелинді сиенитте, гранитте, диоритте, гнейсте, ал көбінесе және ірілеу кристалдарда – сиенит және гранит құрамды *пегматиттерде*. Метаморфталған шөгінді таужыныстарда (кристалды тақтатастарда және парагнейсте) жұрнақ жұмыр түйірлер түрінде кездеседі.

Циркон кристалдарының оны сүйемелдейтін барлық басқа минералдарға қатынасы бойынша идиоморфизмі негізінде ол магмадан алғашқылардың бірі болып бөлінеді деп есептеледі. Бірақ табиғатта байқалатын бірқатар фактілер мұндай түсінікпен үйлеспейді: 1) ол құрамында ұшпа компоненттер бар (апатит, флюорит, слюдалар және басқалар) соңғылау минералдармен тығыз бірлестікте біршама жиі кездеседі; 2) Лакруа деректеріне сай, құрамында циркон 7 % мөлшерінде болатын

Мадагаскардың нефелинді таужыныстарда, ол біршама қатып қалған түпнұсқа таужыныстағы жарықшақтарда жиі орналасады; 3) ол эффузиялық таужыныстарда (трахит, базальт) өте ұсақ кристалдар түрінде друзалы қуыстарда байқалады; 4) цирконның магмалық жаралымды минералдар бойынша, атап айтқанда сілтілі мүйіз алдамыш – рибекит және басқалар бойынша псевдоморфозалары белгілі. Мұнда циркон идиоморфизмі көптеген жағдайларда мыналарға байланысты болуы мүмкін: ол метакристалдар сияқты (пирит, магнетит, апатит және басқа), пайда болуының біршама кейінгі болуына қарамай, жетік кристалдар жасауға қабілетті.

Циркон химиялық төзімді минерал ретінде таужыныстар мұрағат кезде өзінің серіктерінен оңай босап шығады да механикалық шашылымдарға өтеді, ал осыдан жұмырланған түйірлер түрінде – шөгінді таужыныстарға ауысады.

Циркон негізінен миаскит және сиенит пегматиттері арасында таралып, мұнда ол қара слюдамен, нефелинмен, альбитпен, апатитпен және құрамында TR, Nb, Ta, Th, U бар (пирохлор, эшинит, самарскит және басқа) әр түрлі минералдармен бірге кездеседі. Кристалдары әдетте шағын – көлденеңінде 1 см-ден аспайды, бірақ кейде ірі даналары да кездеседі. 1837 жылы салмағы 3,5 кг болатын ең ірі үлгісі табылған, ол бөлінбейтін бірнеше кристалдан тұрады. Цирконның пирохлормен (111) жазықтықтары бойынша бағдарланған кірікпелері зерделенген, мұнда пирохлор октаэдрінің жағы цирконның тетрагон дипирамидасы (111) жағымен сәйкес келеді. Анықталғандай, бұл кірікпелер заңдылығы [110] және пирохлордың [112] қырлары параметрлерімен бір өлшемділігіне байланысты. Бір қызығы, кірікпелерді сындырған кезде, қандай да бір кірігетін минералдардың басқасына қатысты изоморфизмінің жоқ екендігі анықталған: олардың аралығындағы бөліну беті бейтегіс және бұрыс болып табылады. Бұл жағдай екі минералдың бір мезгілде өскені туралы тұжырым жасауға мәжбүрлейді.

Бірқатар жерлерде циркон шашылымдарда да біршама кең таралып, олардан вашгердтерде қарапайым шаю көмегімен оңай өндіріледі. Кейбір аудандарда анықталғандай, граниттің акцессор цирконы көпшілік жағдайда бөшке тәрізді төбелері үшкірленген келбетке ие, ол әрдәйім мөлдір және әдетте түссіз. Желілер түрінде жататын гранитоид цирконы тетрагон-призма келбетіне ие және де мөлдір, бірақ әрдәйім қызғылт немесе күлгін түске боялады. Пегматит желілерінің цирконы әдетте біршама изометрлі, түрі бойынша дипирамида-призма, беймөлдір және басым көпшілік жағдайларда әр түрлі реңді қошқыл түске қанық боялған.

Россияда табылған жерлерден назар аударатындары – *Ильмен* және *Шиелі таулардағы* сиенит және миаскитті нефелинді сиенит пегматиттері. Циркон *Хибин* және *Ловозерск* тундрасындағы нефелинді сиенит пегматиттерінде де кездеседі (Кола түбегі). Шетелдер аудандарынан Оңтүстік Норвегия нефелинді сиенитіндегі цирконның ірі кенорындарын атаймыз, бұл ауданның кей жерлерінде аса елеулі мөлшерде: *Гитерё*, *Крагерё*, *Телемаркен* және басқа; Сондай-ақ Шри-Ланка (Цейлон)

аралындағы, Бразилиядағы, Австралиядағы және Мадагаскар аралындағы шашылымдары.

Практикалық мәні. Мөлдір әсем бояулы түрлестері зергерлік істе пайдаланылады. Әдетте ZrO_2 алу үшін өңделіп, ол нашар жылуөткізгіштікке және шамалы ұлғаю коэффициентіне ие болады да қышқыл- және оттөзімді тигельдер даярлауға (балқу температурасы $3000^{\circ}C$ шамасында) жұмсалады. Қоспа түрінде от- және қышқылтөзімді лабораториялық ыдыс алу мақсатында кварц шынысына қосылады (2,5 % шамасына дейін). Электрбалқыту пештерінде футеровка үшін қолданылатын оттөзімді кірпіш пен цемент түрінде, сондай-ақ ақ эмаль мен аса төзімді бояу даярлау үшін пайдаланылады.

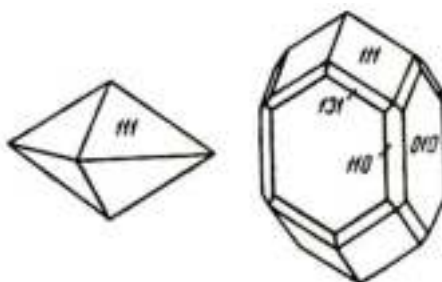
Металл цирконий магниймен (40 %) балқымада түтінсіз жарықыл еткізгіштер үшін (жарықпен белгі беру және фотографиялау үшін) тұтынылады. Таза цирконий майырылғыштығына байланысты ғылыми-зерттеу жұмыстары аспаптарын өндірген кезде платинаны алмастырады. Ол сонымен қатар іштен жану қозғалтқыштарының шамдары үшін және пирометрлердегі термоэлементтерде қолданыла алады.

Оның белгілі бір мөлшердегі қоспасы ферроцирконий түрінде немесе болатқа, мысқа, жезге және басқа балқымалардағы қоспасы құймалардың сапасын жақсартады, қаттылығын және химиялық төзімділігін арттырады. Болат металлургиясында цирконий ең жақсы тотықсыздандырғыш рөлін атқарады. Цирконий азотпен қосылыс жасау қабілетіне байланысты, болатты зиянды нитридтерінен толық тазартады.

Гафний – цирконнан өңдеген кезде айырып алынады. Ол электрондық шамдар жібін даярлаған кезде балқыма енгізетін окисел түрінде қолданылады. Гафний балқу температурасының жоғарылығына және жоғары термоэлектрондық эмиссиясына байланысты радиошамдар даярлаған кезде, рентген түтікшесі катодтарының бетін көмкеру үшін және басқа мақсаттарда қолданылады.

ТОРИТ – $Th[SiO_4]$. Түрлестері: оранжит – жирен түсті мөлдір түрлестері; ураноторит – UO_2 мөлшері 10-16 %; маккинтошит және торогуммит – UO_2 бар, бірақ H_2O мөлшері көптеу; ауэрлит - құрамында фосфор бар түрлесі, суға бай. Құрамында және де сирек жерлер, CaO , Fe_2O_3 13 %-ке дейін (ферриторит) және басқалар болады.

Сингониясы тетрагондық. Кристалдары өте сирек, циркон кристалдарындай келбетке ие (277-сурет). Әдетте сеппе түйірлер түрінде, кейде тұтас массаларда кездеседі.



277-сурет. Торит кристалдары

Түсі қара, қошқыл, сары, жирен. **Сызық түсі** күңгірт-қошқыл, ашық-жирен (оранжиттің). **Жылтырлығы** шыныша, майша. $N=1,68-1,82$.

Қаттылығы 4,5-5 (өзгеріске ұшыраған түрлестерінде төмендейді). Морт. **Жіктілігі** жоқ. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 5,4 (өзгерген түрлестерінде 4,8 және тіпті 4-ке дейін төмендейді). Барлық түрлестері күшті радиобелсенді.

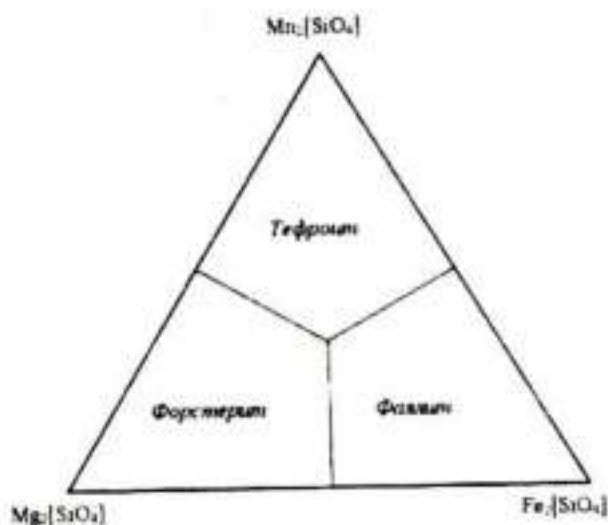
Диагноздаушы белгілері. HCl қышқылында сүзбе тәрізді кремнийтотық бөліп ериді. Жалбыз қышқылын қосқан кезде ерітіндіден жалбыз қышқыл аммонийде еритін тұнба отырады. Бурамен жирен шыны береді, салқындатқанда солғын тартады.

Жаралуы және кенорындары. Әдетте кейбір қышқылды және сілтілі магмалық таужыныстар кристалдануының соңғы сатыларында жаралады. Көбінесе пегматит жаралымдарда және интрузивтерді сыйыстыратын таужыныстардың жапсарлық өзгеру ореолдарында таралған. Оған ең тәні, гранитоидтерде аксессуар минерал ретінде болды. Оранжит пен торит бірқатар жерлерде кездеседі: *Лангезундфиорд* (Норвегия) граниті мен сиенитінде мүйіз алдамышпен, қара слюдамен, цирконмен бірлестікте; *Лёвен* және *Ланбё* аралдарында (үлкен қара кристалдарда) және басқа жерлерде. Шамалы мөлшерде және де Швецияда *Линденес* маңында, Мадагаскар аралында (ферриторит) және басқа жерлерде белгілі.

2. Оливин тобы

Бұл топқа $A^{2+}_2[SiO_4]$ типті силикаттар жатады, мұндағы $A=Mg, Fe, Mn, Ni, Co, Zn, Ca$ және Pb . Олардың барлығы, Ca мен Pb -нен басқасы, кристалдық құрылымдарда бір-бірін изоморфты алмастырады. Соңғы екі элемент олардың иондық радиустарының үлкен өлшемді болуы салдарынан қос қосылыстар жаралуына әкеледі.

ФОРСТЕРИТ – $Mg_2[SiO_4]$. Форстерит $Mg_2[SiO_4]$ –фаялит $Fe_2[SiO_4]$ изоморфты қатарының таза магнийлі мүшесі болып табылады (278-сурет).

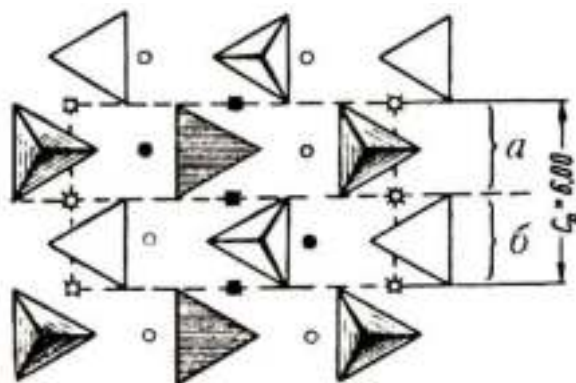


278-сурет. Оливин тобы минерал түрлері құрамының алаңы және аталымы

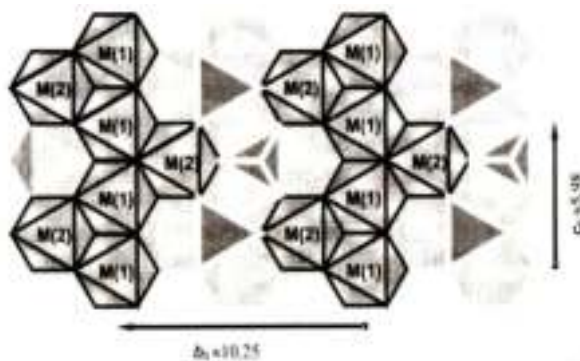
Химиялық құрамы: MgO – 57,1 %; SiO₂ – 42,9 %. Қоспалары: NiO 0,1-0,3 %; CoO 0,01 %-ке дейін; жиі кездесетін марганец, кейде елеулі мөлшерде болып, тефроитке Mn₂[SiO₄] дейінгі қатар жасайды. Темірдің бір бөлігі окись формасында анықталады (шала серпентинденген оливинде).

Форстерит пен фаялит оливин тобындағы екі ең маңызды өзгермелі компонент болғандықтан, форстериттің проценттік мөлшері арқылы белгілі бір минерал құрамын сипаттауға болады. Оны, мысалы, Fo₈₀ түрінде жазсақ, ол мынаны: минералдың қатты ерітіндісінде 80 % мол. форстерит және 20 % фаялит болады дегенді білдіреді. Синонимдері: хризолит, перидот (*АҚШ геологтарының термині*) – жасыл мөлдір темірлі форстерит (ал кейде фаялит те).

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық 3L²3PC. Кеңістіктік тобы *Pbnm*(D¹⁶_{2h}). *a*₀=4,77; *b*₀=10,28; *c*₀=6,00. **Кристалдық құрылымы.** Оливиннің құрылымы Брэгг және Браун бойынша 279- және 280-суреттерде (100) жазықтығы проекциясында бейнеленген. Оның ерекшеліктері мынаған саяды: 1) барлық оттектенді иондары гексагондық ең тығыз орналасқан жайласымда болады және элементар ұяшық ауқымында (100) жағына параллель екі қабатта орналасады; 279-суретте бір қабат айғыздалған дөңгелекшелер түрінде көрсетілген; 2) әр Si ионды төрт оттектенді ионымен қоршалған (оқшауланған тетраэдр топтары 280-суретте контурланған); 3) әр Mg ионы оттектенді иондарының алтылық (октаэдрлік) қоршауында орналасады. Октаэдрлер центрлендірілген Mg²⁺ катиондарымен *c* осі бойынша созылған тізбектерге ортақ қыры арқылы байланысқан. Мұндай тізбектер аралығындағы байланыс қабат ауқымында кремнийоттектенді тетраэдрлері арқылы (280-суретте), ал іргелес қабаттардағы тізбектермен октаэдрлердің біріккен төбелері арқылы да іске асырылады.

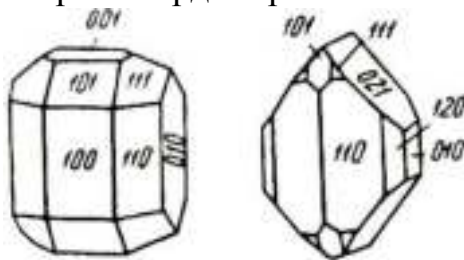


279-сурет. Форстерит кристалдық құрылымының жазықтықтағы проекциясында (сұлбаланған түрде). Құрылым жекелеген блоктардан тұрғызылған (*a* және *b*). Тетраэдрлер кезектесе төбелерімен жоғары және төмен бағытталған, мұнда түрлі блоктарда түрлі деңгейлерде орналасқан (айғыздалған тетраэдрлер біршама жоғары орналасқан). Шағын дөңгелекшелермен магний иондары белгіленген



280-сурет. Форстерит құрылымының полиэдрлік бейнесі. Құрамында магнит катиондары бар октаэдрлердің екі типі оттектің ең тығыз жайласқан қабаты жазықтығында зигзаг тәрізді тізбектер жасайды

Кристалдарының келбеті. Кездесетін кристалдары изометрлі немесе ептеп жалпайған келбетке ие және мынадай пішіндер комбинациясы болып табылады (281-сурет): $\{100\}$, $\{110\}$, $\{010\}$, $\{111\}$, $\{001\}$ және басқа. Қосақтары сирек, көпшілігінде (011) бойынша. Қуыстарда жақсы жаралған (немесе метаморфтық таужыныстарға кіріккен) кристалдары біршама сирек кездеседі. Әдетте түйірлі агрегаттарда таралған.



281-сурет. Оливин кристалдары

Түсі. Таза форстерит түссіз; агрегаттарда ашық-сарыдан солғын-сарыға дейін, темірдің мөлшері артқан сайын жасылдана береді (ол жалған реңге ие болады, бұл жағдай метасоматоздық жолмен оливин жарықшақтары бойында дамиды серпентинмен байланысты). Морыған күйде мөлдір. **Жылтырлығы** шыныша күшті, ал морыған бетте күңгірт, шайыршаға дейін. Сыну көрсеткіштері: $N_g=1,670$; $N_m=1,651$ және $N_p=1,635$; фаялит компонентінің мөлшері артқан сайын көрсеткіштер артады.

Қаттылығы 6-6,5. Морт. **Жіктілігі** орташа немесе $\{010\}$ бойынша, кейде $\{100\}$ бойынша жетілмеген. Омырылымы жиі ұлуша. **Мен. салмағы** 3,217-3,5 (изоморфты форстерит-фаялит қатарында форстерит ең аз меншікті салмаққа ие болып, ол құрамындағы FeO мөлшері артқан сайын өсе береді).

Диагноздаушы белгілері. Оливинді базальтта оливиннің ірі сеппе кристалдары жай көзбен қарағанда күңгірт жасылтым-сары бояуы, шыныша жылтырлығы және бейтегіс омырылымы бойынша танылады. Интрузиялық оливинді таужыныстарда магнийлі силикаттармен (серпентинмен, пироксендермен) және хромшпинелидтермен парагенезисі тән.

Шлифтерде микроскоп астында оптикалық константалары (сыну көрсеткіштері, қосынуы және оптикалық осьтер бұрышы) бойынша дәл анықталады. Көне оливин беткі жағында және тереңге қарай көбінесе

серпентинмен алмасуына байланысты оның қаттылығы, жылтырлығы және мөлдірлік дәрежесі төмендейді. Мору процестерінде оливинде темір закісінің тотығуы жүреді, ол түйірлердің қошқылдануы арқылы көрініс табады.

HCl қышқылында ерімейді. Қоюланған H₂SO₄ қышқылында ұнтақ SiO₂ тұнбасын береді.

Жаралуы және кенорындары. Өзінің басты массасында оливин магмалық жаралымды. Магнийлі оливин кварцпен бірге кездесе алмайды, өйткені олар химиялық әрекеттесіп пироксенді – энстатитті береді. Сондықтан форстериттің қышқыл таужыныстарда кездесуі мүмкін емес. Таулы аудандарда кремнийтотыққа жұтаң интрузиялық оливинді таужыныстардың тұтас массивтері кездеседі: 1) дунит – ол тұтастай дерлік оливиннен, хромшпинелидтердің мардымсыз қоспасынан тұрады; 2) перидотит – оның құрамында оливиннен басқа пироксен де болады. Бірақ та, көпшілік жағдайларда ондағы оливин өзгерудің гидротермалық ары қарайғы процесіне серпентинденуге ұшырайды). Fo_{≤80} құрамды форстерит ультраанегізді магмалық таужыныстардың: дунит пен базальттың сондай-ақ кимберлиттің таужынысжасаушы минералы болып табылады.

Одан басқа, көбінесе түрлік сипаты бойынша, форстеритке жататын оливин, габбро, диабаз, базальт және негізді эффузивтердің туфы, сондай-ақ карбонатиттер сияқты таужыныстардың құрамдас бөлігі болып табылады. Карбонатит типті кенорындар мысалына *Ковдор* карбонатитті сілтілі-ультранегізді массиві жатады (Кола түбегі), мұнда форстерит кальцитпен, диопсидпен және флогопитпен магнетит рудасын сүйемелдейді. Таза форстерит жапсарлық-метасоматоздық таужыныстарда – кальцифирде (түрленген доломит пен әктаста) жиі кездеседі. Мысалы *Слюдянка* бекеті ауданында (Прибайкалье) *хондродитпен* Mg₅[SiO₄]₂(F,OH) және флогопитпен бірлестікте, Назям тауларындағы (Оңтүстік Орал, Златоуст ауданы) *Николай-Максимилиан* кенішіндегі көкшіл ірі түйірлі мәрмәр арасында клиногумитпен, бруситпен және басқалармен бірге болады. Форстериттің серпентинденген ультраанегізді таужыныстар бойынша жаралу жағдайлары белгілі. Мысалы *Снарум* кенорнында (Норвегия) магнезитпен, флогопитпен, гематитпен және шпинельмен бірлестікте, оның флюид әсерінен тотықтырушы жағдайларда қайта түрлену нәтижесі ретінде. Және де форстериттің оливинмен Везувийдің көне жанартау лақтырындыларында (*Монте-Сомма*) шпинельмен және авгитпен сүйемелденген табылымдары сипатталған.

Оливинді және оливинді-пироксенді таужыныстардың ірі массивтері Оралдың, Солтүстік Кавказдың, Закавказьенің және Сібірдің оңтүстік шалғайы бойындағы әр түрлі жерлерде таралған, бірақ та көпшілік бөлігінде күшті серпентинденген. Олардың көпшілігінде хромды теміртас, кейде платина кенорындары орналасқан (Ортаңғы және Солтүстік Орал).

Әсем жасыл және сарғыш-жасыл түсті мөлдір оливиннің біршама ірі кристалы мен жұмырланған малтатастары (хризолит деп аталатындар) Жоғарғы Мысырдың (*Эснеден* шығысқа қарай), Индияның, Бразилияның

және басқа жерлердің шашылымдарында кездеседі. Айрықша танымал болғандарға Қызыл теңіздің *Зебергед* аралындағы зергерлік сапалы хризолит кристалдары жатады. Россияда хризолит *Кугда* сілтілі-базальт массивінде белгілі (Ортаңғы Сібірдің солтүстігі).

Практикалық мәні. Аз темірлі таза оливинді таужыныстар, өзгермеген немесе шала серпентинденген, оттөзімді форстерит кірпіштерін даярлау үшін жоғары сапалы шикізат болып табылады. Оларды тотықтырушы күйдіру жағдайларында өндірген кезде, темірдің бәрі магнетит түріне бөлініп шығатын болғандықтан, бастапқы шикізатта бұл элементтің мөлшері минимал болуы және $MgO:SiO_2$ қатынасы 2-ге жақын болуы (молекулалық есептеуде) өте маңызды. Керісінше болған жағдайда, күйдірген кезде форстеритпен қатар кремнийтотыққа біршама байырақ, бірақ оттөзімділігі төмендеу пироксен жаралуы мүмкін. Силикат бөлігі құрамынан кететін темір закисін өтемелеу мақсатында күйдіретін қоспаға магнезиттің тиісті мөлшері қосылады.

Мөлдір, әсем боялған және метаморфизмге ұшырамаған оливин кристалдары (хризолит) асыл тас ретінде зергерлік істе қолданылады.

ФАЯЛИТ – $Fe_2[SiO_4]$. Фаяль – Азор архипелагындағы арал, бұл минерал осында алғаш рет теңіз жағасындағы жартастарда кірінділер түрінде табылған. Изоморфты форстерит-фаялит қатарының, сондай-ақ *тефроит*-фаялит қатарының да ақырғы мүшесі болып табылады (278-суретте).

Химиялық құрамы FeO күрт басым болуымен сипатталады. Таза темірлі минерал түрінде FeO мөлшері 76 % шамасына жетеді. MgO мөлшері әдетте бірнеше проценттен аспайды. Көбінесе біршама елеулі мөлшерде MnO , кейде ZnO болады. FeO -мен қатар кейде Fe_2O_3 болады, оның шала тотыққан өнім екендігі көрінеді.

Сингониясы ромбылық. Симметрия түрі ромб-дипирамидалық. **Кристалдарының келбеті.** Сирек кездесетін кристалдары өздерінің келбеті бойынша форстерит кристалдарына ұқсайды, кейде тақталанған немесе қысқа призмалы болады.

Түсі. Фаялит күңгірт-сарыдан жасылтым-қараға дейін, тотыққан түрлестері қошқыл-қоңыр түске боялады. **Жылтырлығы** шыныша, күшті, алмасшаға жақын. $N_g=1,886$; $N_m=1,877$ және $N_p=1,835$.

Қаттылығы 6-6,5. **Жіктілігі** айқын (010) бойынша және жетілмеген {100} бойынша. **Мен. салмағы** 4-4,35.

HCl қышқылында сүзбе тәрізді кремнийтотық бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Кристалдар түрінде обсидиан (жанартау шынысы) қуыстарында Вайолинг (АҚШ) штатындағы *Йеллоустоун* бағында, Липари аралдарында және басқа жерлерде кездеседі. Фаялиттің форстериттен айырмашылығы еркін кремнийтотықпен (соның ішінде кварцпен) тепе-теңдікке бірге бола алады, өйткені олардың реакциясы кезінде жаралуы тиіс *ферросилит* орнықсыз. Мәселен, фаялит екінші дәрежелі минерал ретінде *Выборг* массиві (Санкт-Петербургтен солтүстікке қарай 100 км) гранит-рапикивиде кездеседі. Фаялит (таласкит) оливин

тобындағы кремний тотыққа ең жұтаң (салмақпен өрнектегенде) минерал – *Талас* өзені алабының *Жаши* өзені жағасында (Қырғыз жотасы) кездескен. Ол гранит пегматит желілерінде ірі кристалдар түрінде, көбінесе биотиттің қоршауында микроклин-пертитпен, альбитпен, кварцпен және басқа минералдармен бірге болады. Фаялиттің ірі кристалдары Россияның солтүстік-шығысында *Негаях* жотасы гранит пегматиттерінде байқалған. Фаялит тұтас түйірлі массалар түрінде Байкал көлінің оңтүстік жағасындағы *Мысовск* кенорнында белгілі.

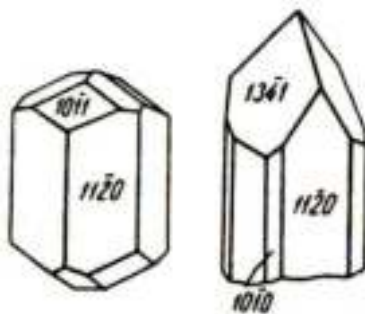
3. Виллемит тобы

Виллемит тобына Zn, кейде Mn ортосиликаттары кіріп, олар тригондық сингонияда кристалданады. Мұнда Be ортосиликатын (фенакит) да қарастырамыз.

ВИЛЛЕМИТ – $Zn_2[SiO_4]$. Біршама сирек минерал болып табылады, тек кейде қорғасын-мырыш кенорындарының тотығу белдемінде елеулі шоғырлар жасай алады.

Химиялық құрамы: ZnO – 73 %; SiO_2 – 27 %. Әдетте оның құрамында оның шамалы мөлшерде MnO және FeO болады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі ромбоэдрлік L^3_6C . Кеңістіктік тобы $R\bar{3}(C^2_{3i})$. $a_0=12,49$; $c_0=8,26$. **Кристалдық құрылымы** фенакиттің құрылымына өте ұқсас. Кей жерлерінде Be иондары Zn иондарымен алмасқан. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары жалпы сирек (282-сурет) және әдетте призмалардың $\{11\bar{2}0\}$ және ромбоэдрдің $\{10\bar{1}1\}$ жақтарынан жаралған. Көбінесе ине тәрізді кристалдар щеткасы немесе радиал-сәуле агрегаттар түрінде, сондай-ақ ақпа пішіндер түрінде шаймалану қуыстарында байқалады.



282-сурет. Виллемит кристалдары

Түсі. Түссіз немесе сарғыш-қошқыл, кейде жасылтым немесе қызғылтым реңді (MoO қоспасы болуынан). **Жылтырлығы** шыныша, майша. $Ng=1,719-1,723$; $Nm=1,691-1,694$.

Қаттылығы 5-6. Морт. **Жіктілігі** кейде $\{0001\}$ бойынша айқын. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 3,89-4,18. Кейбір түрлестері ультракүлгін сәуледе жасыл түске боялады.

Диагноздаушы белгілері. Виллемит өзіне ұқсас гемифорфиттен ($Zn_4[Si_2O_7][OH]_2 \cdot 2H_2O$) оптикалық константалары және люминесценциясы

бойынша, сондай-ақ жоғарылау қаттылығы мен меншікті салмағымен біршама оңай ажыратылады. Бұл екі минерал ұқсас жағдайларда кездеседі және көбінесе ұқсас пішінді агрегаттар жасайды.

НСІ қышқылында минералдың ұнтағы сүзбе тәрізді кремний тотық бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Негізінен қорғасын-мырыш сульфид кенорындарының тотығу белдемдерінде, кейде гемиморфит бойынша псевдоморфозаларда болады.

Сусыз қосынды ретінде, кенорындар ыстық климат жағдайларында мұрыған кезде жаралуы аса ықтимал.

Эндогендік жаралымды марганецті виллемиттің Нью-Джерсиде (АҚШ) белгілі жапсарлық-метасоматоздық *Франклин* кенорнында цинкитпен, франклинитпен және мырыштың басқа минералдарымен бірлестікте кездескенін де сирек жағдай ретінде айта кету керек.

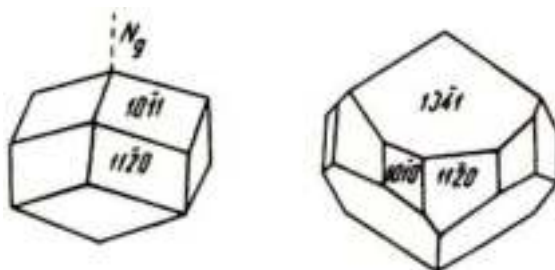
Құрамында виллемит кездескен осыған дейін белгілі болған кенорындар саны өте шектеулі (12-15). Россияда Нерчинск түбіндегі (Шығыс Забайкалье) *Кадаин* кенішінде басталған. Ол елеулі мөлшерде *Брокен-Хилл* (Австралия) қорғасын-мырыш кенорнының тотығу белдемдерінде, сондай-ақ Қырғыз жотасындағы *Кумыш-Таг* кенорнында табылған.

Практикалық мәні. Виллемит сирек жағдайларда кең дамуға ие болады және дербес өнеркәсіптік мәнге мырыш рудасы ретінде ие. Электронсәуле түтікшелерінде және басқа аспаптарда флюоресциялаушы калқалар (экрандар) даярлау үшін де қолданылады.

ФЕНАКИТ – $\text{Be}_2[\text{SiO}_4]$. Грекше *фенакис* – алдамыш; бұл атау оның сынықтарының түссіз түрлестері кварцтан ажыратылуы қиын болуына байланысты. Біршама сирек минералдар қатарына жатады.

Химиялық құрамы: BeO – 45,5 %; SiO_2 – 54,5 %. Химиялық талдаулар оның құрамында өте мардымсыз мөлшерде MgO , CaO , Al_2O_3 және Na_2O болатынын көрсетеді.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі ромбоэдрлік L^3_6C . Кеңістіктік тобы $R\bar{3}(C^2_{3i})$. $a_0=12,43$; $b_0=8,22$. Фенакит құрылымы мынадай – кремний және бериллий тетраэдрлері төбелерімен байланысқан және қаңқа құрайды. Кристалдарының келбеті ромбоэдрлік, қысқа бағаналы. Кәдімгі пішіндері: призма $\{11\bar{2}0\}$, ромбоэдрлер $\{10\bar{1}1\}$, $\{13\bar{4}1\}$ және басқа (283-сурет). Кірігу қосақтары $\{10\bar{1}0\}$ бойынша жиі кездеседі. Әдетте таужынысқа кіріккен кристалдар түрінде, кейде қуыстардағы друзалар түрінде таралған.



283-сурет. Фенакит кристалдары

Түсі. Мөлдір, түссіз немесе шарап-сары түске шамалы боялған, кейде қызғылт, сирек қошқыл түсті. **Жылтырлығы** шыныша, майша. $N_g=1,670$ және $N_m=1,654$.

Қаттылығы 7,5. Жіктілігі $\{11\bar{2}0\}$ бойынша жетілмеген. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 2,96-3.

Диагноздаушы белгілері. Фенакит кристалдарына ромбоэдрлік немесе қысқа бағаналы келбет тән. Ол осысымен бериллдің призма кристалдарынан ажыратылады. Бериллмен салыстырғанда фенакит біршама үлкен меншікті салмаққа ие болады. Хризобериллден оны, керісінше, біршама төмендеу қаттылығымен, аздау меншікті салмағымен, төмендеу сыну коэффициентімен және кристалдарының пішіні басқаша болуымен (фенакитке пинакоидтың жоқ болуы тән) ажыратуға болады.

Қышқылдарда ерімейді. Фосфор тұзында балқытқанда баяу еріп, кремнийтотық қаңқасын қалдырады.

Жаралуы және кенорындары. Минералдардың табылу жағдайлары және парагенезісі фенакиттің флюидтер қатысуымен жаралатынын көрсетеді. Көпшілігінде *пегматит* жаралымдарда қышқылды интрузиялық таужыныстармен генетикалық байланыста кездеседі. Онымен бірлестікте байқалатындар: берилл (изумруд), хризоберилл, топаз, далашпаттар, слюдалар, кварц және басқалар.

Алғаш XIX ғасыр басында Оралда қазіргі *Малышево* ауылы маңында табылған. Фенакит кристалдары көбінесе изумрудтың серігі немесе хабаршысы болып табылады және слюдалы тақтатастар арасында кездесіп, көлденеңінде кейде 10 см-ге жетеді. Жиі бериллмен бірлестікте болады және өте әркелкі таралып, белгілі бір жерлерде шоғырланады. Содан кейін ұсақ кристалдар түрінде гранит пегматиттерде амазонитпен, топазбен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Кейбір грейзенді кенорындарда кварцпен, топазбен, флюоритпен және бертрандитпен бірлестікте бериллий рудасы бола алатындай шоғырлар береді. Мысалы: *Ермаковское* (Бурятия) және *Вознесенское* (Приморье) кенорындары.

Шетел кенорындарынан Телемаркендегі (Норвегия) *Крагере* кенорнын атаймыз, мұнда ірі призма кристалдары мен қосақтары кварцпен және альбитпен бірге кездескен. *Вольнь* пегматиттерінде (Украина) калишпат кристалдары бетінде ұнтақтар түрінде байқалған.

Практикалық мәні. Оның шоғырларының мардымсыз болуына байланысты мәні төмен, бірақ бериллмен бірге бериллий рудасы ретінде өндіріле алады. Мөлдір әсем боялған түрлестері зергерлік мақсатта пайдаланылады. Бір қызығы, фенакиттің түсі аса тұрақсыз: көбінесе әсем (өндірген сәтте) бояулы фенакит бірнеше айдан кейін Күн сәулесінің әрекетінен толықтай түссізденіп кетеді.

4. Топаз тобы

Топаз силикаттар арасында ең тығыз жайласудың гексагондық (оливин) пен кубтық (кианит) типтері аралығындағы өтпелі кристалдық

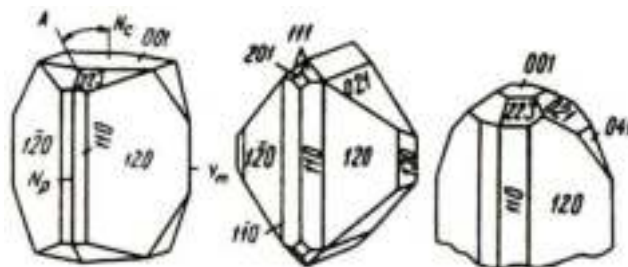
құрылымның жалғыз өкілі болып табылады. Оның құрылымы төрт қабатты ең тығыз жайласуымен сипатталады (Н.В. Беловтың жіктелімі бойынша).

ТОПАЗ – $\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{F},\text{OH}]_2$. Атауы Қызыл теңіздегі Топазос аралы атынан шыққан.

Химиялық құрамы, %: Al_2O_3 48,2-62,0; SiO_2 28,2-39; F 13-20,4; H_2O 2,45. Құрамында ОН жоқ топазда мыналар болуы тиіс, %: Al_2O_3 – 55,4; SiO_2 – 32,6; F – 20,7; қосындысы 108,7, ал одан О (=F₂) 8,7 шегерілгенде 100% болады. Топазда F:ОН қатынасы 3:1 шамасын құрайды. Құрамында (ОН) мөлшері F мөлшерінен асатын даналары да табылған, олар гидроксилтопазға жатады. Көбінесе газ-сұйық кірінділер болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pbnm(D_{2h}^{16})$. $a_0=4,641$; $b_0=8,783$; $c_0=8,378$.

Кристалдарының келбеті. Жақсы жаралған кристалдары қуыстарда өте сирек кездеседі. Әдетте, олар әсемдігімен әрі қырларының жетіктігімен және кейде өлшемдерінің біршама үлкендігімен ерекшеленеді (салмағы 25-32 кг кристалдары белгілі). Басым таралғандары кристалдарының призма пішіндері, олардың ішінде басымдары {110}, {120}, {021}, {041}, пинакоид {001}, дипирамидалар {111}, {223} және басқалар (284-сурет).



284-сурет. Топаз кристалдары. Сол жағындағы – Алабашкадан (Орал), ортасындағы – Адун-Чолоннан (Забайкалье), оң жағындағы – Ильмен тауларынан (Орал)

Түсі. Түссіз, су-мөлдір түрлестері біршама сирек. Көпшілігінде сары, шарап-жасыл, сабан-жасыл, көкшіл, күлгіндеу, жасыл, қызғылт, кейде қызыл түстің ашық реңдеріне боялады. Күн сәулесі ұзақ әрекет еткенде бояуы көбінесе солғын тартады. Жылтырлығы шыныша. $N_g=1,618-1,638$; $N_m=1,610-1,631$; $N_p=1,607-1,629$.

Қаттылығы 8. Жіктілігі {001} бойынша жетік. Жіктіліктен тыс омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 3,52-3,57.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының келбеті бойынша біршама оңай танылады, ал өзіне ұқсас минералдардан жоғары қаттылығы бойынша ажыратылады. Тығыз түйірлі массаларда кварцқа ұқсас келеді, одан жіктілігінің болуымен және жоғары қаттылығымен ажыратылады.

Алдын ала қыздырылған топаз ұнтағы, азот қышқылды кобальтпен дымқылдап және ары қарай қатты қыздырғанда көк түске боялады (Al-ге реакция). Фосфор тұзымен SiO_2 қаңқасын бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Негізінен қышқылды магмалық таужыныстардың (гранит, риолит) миаролит қуыстарында және әсіресе *пегматит* желілерде кездеседі. Өте ұсақ кірінділер түрінде интрузиялық

массивтердің төңірегінде жапсарлық ореолдарда, кейде руда кенорындарының қапталдас таужыныстарында байқалады. Онымен бірлестікте флюорит, турмалин, түтінді кварц, берилл, касситерит, далашпаттар, ал *грейзендерде* – слюдалар, касситерит, вольфрамит, кейде сульфидтер және басқалар сияқты минералдар жиі байқалады. Топаздың далашпат, кварц және басқалар бойынша псевдоморфозалары анықталған. Кейінгі гидротермалық процестер үстіленген кезде, топаз кейде майда қабыршақты мусковит агрегатына өтеді. Басқа жағдайларда жақтарында тек таптау фигуралары ғана байқалады.

Кейде тақтатастар, гнейстер және басқа таужыныстар арасындағы *гидротермалық* желілерде байқалады. Оған тәні, гидротермалық жаралымды топазда фторды алмастыратын гидроксил бай. Кездесетін кристалдары ұзын призмалық келбетке ие болады және кейде қызғылт түсті болады.

Кенорындар мұрыған кезде топаз химиялық өзгерістерге ұшырамайды десе де болады және сондықтан, әдетте жақсы сақталған кристалдар түрінде кварцпен және бериллмен бірге оны сүйемелдейтін минералдардың толық қираған әрі саз өнімдерге айналғандары арасында кездеседі. оның шашылымдары жұмырланған малталар түріндегі табылымдары (түбірлік кенорындар маңында) осымен түсіндіріледі.

Россияда топаз негізінен гранит интрузияларымен байланысты пегматит желілерінде Оралда, Волыньде (Украина), Шығыс және Солтүстік Шығыс Сібірде кездеседі.

Оралда өз кезінде *Мурзинка, Алабашка, Южакова* және басқа минералдық кеніштер ауданында (Екатеринбургтен солтүстік-шығысқа қарай) кеңінен белгілі болған. Мұнда пегматит желілерінің бос жерлерінде (миаролит қуыстарында) ортоклаз, морион, түтінді тау хрусталінің, көгілдір және нәзік көкшіл топаздың, лепидолиттің, альбиттің және басқалардың тамаша кристалдарынан тұратын друзалар кездескен.

Ильмень тауларында (Оңтүстік Орал) XVIII ғасырда және XIX ғасырдың басында гранит-гнейс жолағының пегматит желілерінде сол кезде ең жақсы саналған топаз кристалдарын өндіру үшін бірқатар кеніштер салынған. *Каменка* мен *Санарка* өзендері (Кочкар ауданы, Оңтүстік Орал) ауданында алтынды шашылымдарда басқа әсемтастармен бірге қызғылт, күлгін және шарап-сары түсті топаз тасмалталары ілеспе түрде өндірілген.

Украинада *Волынь* кенішінде түтін және шамалы шарап-сары түсті керемет топаз бар пегматит желісі аршылған. Салмағы центнерге дейінгі даналары кездескен.

Шетел кенорындарынан ең белгілісі бразилиялықтар: *Минас-Жейрас* провинциясында *Минас-Новас* округінде. Мұнда мору белдемінде және шашылымдарда ежелден сарғыш-қызыл және шарап-сары түсті, кейде мөлдір түссіз топаз өндіріледі.

Практикалық мәні. Топаздың мөлдір әсем боялған кристалдары немесе тасмалталары асыл тастар ретінде қолданылады. Сары, және де көкшіл, қызғылт және түссіз Орал мен Сібір топазы жоғары бағаланған.

5. Кианит тобы

Бұл топқа құрылымдық ерекшеліктері бойынша айрықшаланатын, затының құрамы бойынша бірдей үш модификация біріктірілген. Олардың эмпирикалық формуласы бірдей $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ немесе Al_2SiO_5 және олар кианит (немесе дистен), андалузит және силлиманит деп аталаы. Бұл құрам үшін фазалық диаграмма осының алдында жоғарыда келтірілген (7-суретте).

Бұл қосылыстар кристалдық құрылымның өзіне тән ерекшеліктеріне жататыны, мұнда Al иондары арасында әр құрылымда екі сорт анықталады: олардың жартысы әрдайым координациялық саны 6 болатын құрылымға кірсе, басқа жартысы әр түрлі координациялық санға ие болады: 6 (кианит үшін), 5 (андалузит үшін) және 4 (силлиманит үшін).

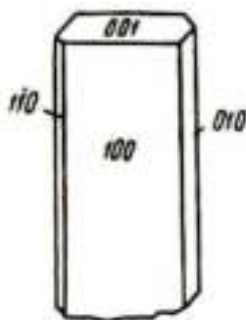
КИАНИТ – $Al_2[SiO_4]O$ немесе $Al_2O_3 \cdot SiO_2$. Грекше *кианос* – көк. Синонимі: дистен (*ди* – екі жақтама, *стенос* – қарсыласатын; мұнда оның қаттылығы екі бағытта айтарлықтай өзгеше болатыны ескеріледі).

Химиялық құрамы, %: Al_2O_3 – 63,1; SiO_2 – 36,9. Изоморфты қоспалар түрінде әдетте Fe_2O_3 1–2 %, кейде 7 %-ке дейін, Cr_2O_3 1,8 %-ке дейін және шамалы мөлшерде CaO, MgO, FeO, TiO_2 болады. Спектрлік талдау деректеріне сай, сондай-ақ Ga, Co, K және кейбір басқа элементтер болады.

Микроскоп астында қарағанда жұқа шлифтерде әдетте бөтен элементтердің өте ұсақ кірінділері болады.

Сингониясы триклиндік. Симметрия түрі пинакоидтық. Кеңістіктік тобы $P\bar{1}(C^1)$. $a_0=7,09$; $b_0=7,72$; $c_0=5,56$; $\alpha=90^{\circ}05'$; $\beta=101^{\circ}02'$; $\gamma=106^{\circ}44'$.

Кристалдарының келбеті. Кианит әдетте *c* осі бойынша ұзын бағанаша, көбінесе жалпайған, тақтай тәрізді кристалдарда байқалады (285-сурет). Ең басты пішіндеріне жататындар: пинакоидтар {100}, {010} және {110}. Қосақтары өте жиі кездеседі. Қосақ жазықтығы болып әдетте (100) табылса, ал қосақ осі оған перпендикуляр жатады. Олар кіретін бұрыштары оңай танылады. Сондай-ақ дарақтары 60° -қа жақын бұрышпен қиылысатын қосақтары да кездеседі. кейде радиустар бағытында кіріккен кристалдары байқалады.



285-сурет. Кианит кристалы

Түсі. Кианит көкшіл, көк (әр түрлі қаныққан), кейде жасыл, сары, сиректеу түссіз, сирек қара болады. Жылтырлығы шыныша, жіктілік жазықтықтарында кейде інжуше. $Ng=1,728$; $Nm=1,722$; $Np=1,713$.

Қаттылығы әр түрлі бағыттарда бірдей емес, бұл жағдай кианит (дистен) үшін аса тән: кристалл созылымына параллель (100) жағында 4-4,5; көлденең бағытта 6; (010) және (110) жақтарында – 7. Морт. **Жіктілігі** {100} бойынша жетік, {010} бойынша жетіктігі төмендеу; {001} бойынша дербестік. **Мен. салмағы** 3,56-3,68 (кірінділер мөлшеріне байланысты ауытқиды). Ол андалузит пен силлиманитке қарағанда елеулі жоғары болып, кристалл құрылымындағы иондардың жайласу тығыздығына сай болады.

Диагноздаушы белгілері. Көкшіл және көк бояуы, әркелкі қаттылығы және кристалды, негізінен слюдалы тақтатастарда орналасуына байланысты оңай танылады.

НСІ қышқылында ерімейді. Азотқышқылды кобальт ерітіндісінде алдымен қыздырылған ұнтағы (ақ түсті), қайтара қатты қыздырғаннан кейін күңгірт-көк түске боялады.

Жаралуы және кенорындары. Кианит, оның кристалды тақтатастарда орналасу жағдайларын салыстырмалы зерделеу көрсеткендей, негізінен алюмототыққа бай таужыныстардың аса жоғары қысым түйінде, яғни жер қыртысының айтарлықтай тереңдігінде метаморфизм процесінде жаралады.

Кианитпен бірлестікте слюдалардан басқа метаморфтық таужыныстарда жаралатын корунд (кейде айтарлықтай шамада), турмалин, кейде рутил, ставролит, андалузит және басқа минералдар біршама жиі кездеседі.

Кианит кристалдарының слюдамен, кейде пиррофиллитпен алмасу құбылысы жиі байқалады, оның кремнийқышқылды сілтілі ерітінділер әрекетінен жүретіні көрінеді. Андалузит бойынша параморфозаларда байқалады. Айта кететіні, кианит ставролитпен кейде дұрыс кірігулер жасайды.

Таужыныстар морыған кезде кианит химиялық төзімді минерал ретінде шашылымға өтеді.

Құрамында кианит бар кристалды тақтатастардың бірқатар ірі кенорындары Россияның солтүстік-батыс бөлігінде, мысалы Батыс Кейвыдағы *Шуурурт* кенорнында белгілі (Кола түбегі). Бояуы, морфологиялық белгілері және минералдар бірлестігі бойынша кианиттің бірнеше түрлесі байқалады. Көгілдір кианит ірі бағанаша кристалдар түрінде (ұзындығы 20-30 см) кианит-ставролитті тақтатастарда таралған. Кей жерлерде бұл таужыныстар силлиманитке және кордиеритке молыққан.

Оңтүстік Оралда біршама жұтаңдау *Борисов* кенорны (Кочкар ауданында) кеңінен белгілі. Ол гранит, аплит және пегматит желілерімен тілімденген және гранит массиві арасында жататын парагонитті тақтатастарда орналасқан. Тақтатастардың гранитпен жапсары зоналарында кианит болмайды (температура жоғары). Кейде ол шерлмен бірлестікте кездеседі. Құрамында кианит бар тақтатастар линзалары «бос», яғни құрамында кианит жоқ тақтатастарға біртіндеп өтетін жолақтар жасайды. Ауданда құрамындағы кианит мөлшері 7 %-ке жететін шашылымдар дамыған, мұнда оны шаю арқылы айырып алады.

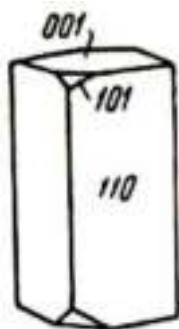
Шетел кенорындарынан атайтынымыз: тұтастай дерлік кианитті таужыныстардың Солтүстік Индиядағы ірі жатындары, әсіресе *Lanea-Буру* кенорны, содан кейін Солтүстік Каролинаны (АҚШ), мұнда кианит кенорны метаморфтық таужыныстардың қуатты жолағында орналасқан, ал бұл таужыныстар габбро, диорит, гранит, пегматит, кварц желілерімен интрузияланған. Мұнда кианит сыйыстырушы таужыныстарға тереңдік флюидтер әрекет етуінен жаралған деп жорамалдайды.

Практикалық мәні. Құрамында кианит, андалузит және силлиманит бар таужыныстар өнеркәсіп үшін жоғары алюмототықты шикізат болып табылады. Бұл минералдар жоғары температурада күйдіру процесінде шатасқан талшықты құрылымды және кристобалит шынылы муллит ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) жасап ыдырау қасиетіне ие болады. Муллитке жоғары оттөзімділік, механикалық беріктік, қышқылдар мен сілтілерге қатысты және тіпті HF қышқылына да қатысты химиялық бейтараптық тән. Сондықтан кианитті, андалузитті және силлиманитті таужыныстар немесе олардың концентрациялары фарфор сияқты оттөзімді және қышқылтөзімді жоғары сапалы бұйымдар (қыш-керамика) өндірісінде қолданылады. Бұл бұйымдар кварц және басқа оттөзімді материалдармен салыстырғанда айтарлықтай артықшылыққа ие болады. Сондай-ақ арнайы оқшаулағыштар, тұтандырғыш шамтар, болат құю үшін тигельдер, пирометрлер үшін түтікшелер және басқалар өндірісінде пайдаланылады. Зиянды қоспаға темір окисі жатады (2 %-тен жоғары). Және айта кететіні, кианит тобы минералдарынан электрметрлік әдіспен тікелей кремний-алюминий қорытпасы – силумин алынады.

АНДАЛУЗИТ – $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$. Атауы Испаниядағы Андалузия провинциясынан шыққан.

Химиялық құрамы дәл кианиттікіндей; шағын мөлшерде Fe_2O_3 болатыны жиі. *Виридин* – марганецұстамды түрлесі (Mn_2O_3 7 % шамасына дейін).

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PP$. Кеңістіктік тобы $Pn\bar{m}(D_{2h}^{16})$. $a_0=7,76$; $b_0=7,90$; $c_0=5,56$. **Кристалдарының келбеті** ірі призмалы, қимасы квадратқа жақын, бағанаша. Ең негізгі пішіндері: ромб призмалар {110}, {101}, пинакоид {001} және басқалар. Типтік кристалы *286-суретте* көрсетілген. Көмірлі-сазды тақтатастарда кейде ерекше ішкі құрылысты дарақтары кездеседі. Олар хиастолит деген атауға ие болып, кианиттің параллель-сырықша агрегаттарының андалузиттің секторлы кристалдары бойынша параморфозалары болып табылады. Кристалдардың өсуі кезінде қосып алынған көмірлі немесе сазды зат белгілі бір кристаллографиялық бағыттар бойынша орналасады: көлденең қимасында қара айқыш түрінде (*287-сурет*), ал бойлық қимасында кристалл ұзындығы бойынша жалпы ақ немесе сұр фонда параллель жолақтар түрінде. Қосақтары байқалмаған. Сәуле-сырықша және түйірлі агрегаттар түрінде де кездеседі.



286-сурет. Андалузит кристалы



287-сурет. Хиастолиттің көлденең қималары

Түсі. Түссіз сирек; әдетте сұр, сары, қошқыл, қызғылт, қызыл және күңгірт-жасыл (марганецті түрлесі) түске боялған. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,639-1,647$; $N_m=1,633-1,644$; $N_p=1,629-1,640$.

Қаттылығы 7-7,5. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша айқын. Омырылымы бейтегіс, тікенекше тәрізді. **Мен. салмағы** 3,1-3,2.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарына тік бұрышты дерлік призма жіктілікті призмаша пішіндері тән. Жоғары қаттылығы бойынша көптеген өзіне ұқсас басқа силикаттардан түсі бойынша, ал микроскоп астында – оптикалық константалары бойынша ажыратылады.

1380° -тан жоғары температурада муллит жасап ыдырайды. Қышқылдарда ерімейді. Азотқышқылды кобальтпен Al-ге реакция береді.

Жаралуы және кенорындары. Андалузит көбінесе жапсарлық-метаморфтық минерал ретінде сазды немесе көмірлі-сазды тақтатастарда, сондай-ақ өзгерген эффузиялық таужыныстарда, әсіресе гранит интрузияларымен генетикалық байланысты таралған. Кейде гнейсте және слюдалы тақтатастарда анартаспен, корундпен, кианитпен және басқалармен бірлестікте кездеседі.

Минералогиялық қызығушылыққа ие қызыл-қошқыл түсті хиастолит слюдалы тақтатаста *Александров* кенішінде Манково ауылы маңында (Нерчинск округі, Забайкалье), ал сары-сұр түстісі – Аргунь өзені жағаларында кездеседі. *Азау-Гетчегет-Карабаши* (Приэльбрусье) тауы қырқасында кварц-мусковит тақтатасы құрамында андалузит дене түсті кристалдар жасайды.

Қазақстан аумағында көптеген андалузитұстамды «туынды кварцитер» таралған, олар қышқылды эффузиялық таужыныстардың жапсарлық-пневмолиттік метаморфизмі нәтижесінде жаралған. Ең елеулі болып табылатыны *Семізбұғы* кенорны. Кенорынның орталық бөліктері таза корунд және мусковит-корунд жатындарынан тұрады да шеткейіне қарай біртіндеп рутилді, мусковитті, диаспорлы, пирофиллитті, кейде топазды андалузитқұрамды таужыныстарға өтеді. Олар өз кезегінде андалузитті

кварцитке алмасады. Корунд денелері маңындағы андалузиттің мөлшері 90-95 %, ал андалузитті кварцитте – 18 % шамасына жетеді.

Хоуден тауындағы (Оңтүстік Австралия) хиастолит кристалдары айрықша танымдыққа ие.

Өте ірі *Уайт-Маунтин* андалузит кенорны Калифорнияда белгілі. Мұнда андалузитке өте бай (85 %) таужыныс линзалар мен ұялар түрінде кварц-серицит-турмалин тақтатастары арасындағы андалузитқұрамды кварцитте жатады. Андалузиттің жаралуын эффузиялық порфирдің гранит магмасы әсерінен өңделуімен байланыстырады.

Практикалық мәні туралы жоғарыда айтылған (кианитте).

СИЛЛИМАНИТ – $Al[AlSiO_5]$. **Химиялық құрамы** дәл кианиттікіндей. Әдетте Fe_2O_3 2-3 % мөлшерінде анықталады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pbnm(D_{2h}^{16})$. $a_0=7,43$; $b_0=7,58$; $c_0=5,74$. **Кристалдық құрылымы** Н.В. Белов бойынша, мұнда тетраэдрлердің екі қатарынан тұратын таспа болатындығымен сипатталатын анион комплексті $[AlSiO_5]$ болады. Тетраэдрлер бір-біріне төбелерімен бірігеді, бірақ бір-бірімен салыстырғанда 180° -қа бұрылған, мұнда бұл төбелер әрбір екі тетраэдр – AlO_4 және SiO_4 үшін ортақ болып табылады. **Кристалдарының келбеті** ине тәрізді, шеткі жақтарсыз. Призманың $[001]$ белдеуі жақтары күшті айғыздалған. Тығыз сәулелі массаларда, талшықты агрегаттарда микроскоптық қыл тәрізді, көбінесе басқа минералдарда (кварцта және далашпаттарда) иілген кірінділер түрінде байқалады.

Түсі сұр, ашық-қошқыл, солғын-жасыл. **Мен. салмағы** 3,23-3,25. **Жылтырлығы** шыныша. $Ng=1,677$; $Nm=1,658$; $Np=1,657$.

Қаттылығы 7. **Жіктілігі** пинакоид $\{010\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 3,23-3,25.

Диагноздаушы белгілері. Ине тәрізді, сырықша және шаш тәрізді кристалл пішіндері тән. Өзімен көбінесе бірге кездесетін андалузиттен оптикалық қасиеттері бойынша ажыратылады.

Жаралуы және кенорындары. Жоғары температуралы жапсарлық-метаморфтық минерал ретінде магмалық таужыныстардың тікелей жапсарында және тіпті магмалық таужыныстардың өзінде магма енген кезде қосылып кеткен алюмототыққа бай таужыныс сынықтарымен реакция өнімі ретінде жиі кездеседі. Кристалды тақтастарда да бастапқы минералдардың бірі ретінде, кейде андалузитпен, шпинельмен, кордиеритпен, корундпен және басқалармен бірге кездеседі.

Силлиманиттің тұтас массалары (85 %-ке дейін) ірі кенорындары ірі линзалар мен ұялар түрінде кристалды тақтатастарда Индияда белгілі: *Хазу-Хиллс* және *Пипра* кенорындары. Олар тақтастарға турмалин-мусковитті гранит интрузиясымен генетикалық байланысты пневматолит агенттері әрекетінің нәтижесінде жаралған. Россия ауқымында силлиманит *Кяхты* кенорнында белгілі (Батыс Забайкалье).

Практикалық мәні туралы *кианитте* айтылған.

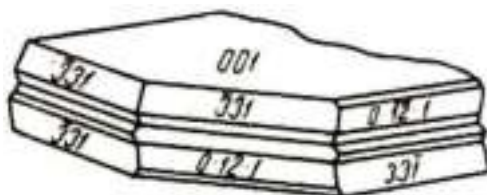
6. Ставролит тобы

Бұл топқа жатқызылған минералдардан қарастыратынымыз, қазір жеке хлоритоид тобына біріктірілетін минералдар, ал олар бұрын сыртқы ұқсастығына байланысты морт слюдалар арасында қарастырылып келген. Және де ставролитті қарастырамыз, ол өзінің қасиеттері және орналасу жағдайлары бойынша алдыңғы топ минералдарына жақын.

ХЛОРИТОИД – $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_2\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2[\text{OH}]_4$. хлорит тобы минералдарына сырттай ұқсастығы бойынша аталған. Хлоритоидтың Mg-басымды баламасы *магнезиохлоритоид* және M-басымды – *оттрелит* анықталған.

Химиялық құрамы. Талдау деректері мынадай ауытқуларды көрсетеді, %: FeO 26–28, MgO 2–4 (магнезиохлоритоидта 12 %-ке дейін), Al_2O_3 39–41, SiO 24–26, H_2O 7–8. Қоспалары: CaO (1,38 %-ке дейін), MnO (әдетте 9 %, ал оттрелитте 12,6 %-ке дейін).

Сингониясы моноклиндік немесе триклиндік (екі политипті болады). **Кристалдық құрылымы.** Брусит типті Fe, Mg-октоэдрлері қабаттары және корунд типті Al-октаэдрлері қабаттары бөлініп, олар бір-бірімен жекелеген $[\text{SiO}_4]$ -тетраэдрлерімен қосылған. **Кристалдарының келбеті** қалақша-гексагондық. Жақсы жаралған кристалдары сирек. Қосақтары біршама жиі (288-сурет). Әдетте парақша және қисық қабықша агрегаттарда таралған.



288-сурет. Хлоритоид қосағы

Түсі. Хлоритоид сары жасылтым реңді, кейде кара-жасылдан қараға дейін. Жұқа парақшаларда ғана жарық өткізеді. **Сызық түсі** жасылтым ақ, сұр. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында кейде шамалы інжуше. $Nm=1,72-1,77$.

Қаттылығы 5–6. Морт. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша жетік. Соғу және сығу фигуралары маргариттікіндей (яғни слюдалар фигурасына керісінше). Мен. салмағы 3,4–3,6.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне ұқсас хлориттерден және морт слюдалардан жоғары қаттылығымен, морттығымен және оптикалық константаларымен айрықшаланады.

HCl әсер етпейді, кою H_2SO_4 қышқылында жеткілікті ериді.

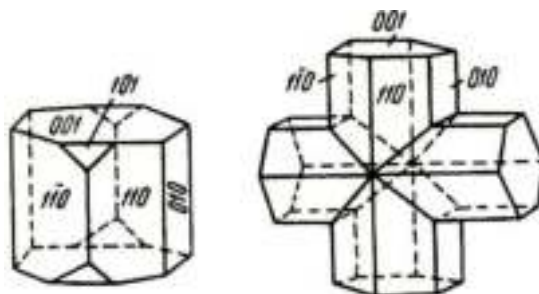
Жаралуы және кенорындары. Корундпен, диаспормен, хлориттермен, кварцпен және басқа минералдармен бірлестікте кейбір жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда мәрмәр арасында, бірақ көбінесе слюдалы және сазды тақтатастарда кездеседі. Кейде оның мөлшері айтарлықтай шамаға жеткенде мұндай тақтатастар хлоритоидты деп аталады.

Баритофиллит деген атаумен алғашында *Косой Брод* мекеніне (Свердловск облысындағы мәрмәр заводы, Ортаңғы Орал) сипатталған. Магнезиохлоритоид *Гран-Парадизо* массивінде Батыс Альпінде (Италия) кварц желілерінде талькпен, хлоритпен және кианитпен бірге анықталған. Оттрелит кварцпен, хлоритпен, пирофиллитпен, рутилмен және гематитпен бірге *Оттре* мекенінде (Италия) табылған. Хлоритоидты тақтатастар кристалды тақтатастар арасында кең таралымға ие. Хлоритоид таужыныстар аймақтық метаморфизмінің бастапқы сатыларында, ставролит пайда болғанға дейін жаралады: күштілеу метаморфталған таужыныстарда байқалмайды.

СТАВРОЛИТ – $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn})_2\text{Al}_9[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_4(\text{OH})_2]$ немесе қарапайым түрде $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{SiO}_5$. Жиі кездесетін айқыш тәрізді қосақтар пішіні бойынша аталған (грекше *ставрос* – айқыш).

Химиялық құрамы, %: FeO – 15,8; Al_2O_3 – 55,9; SiO_2 – 26,3; H_2O – 2,0. Fe^{2+} кейде елеулі мөлшерде Mn^{2+} -мен алмасады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $C_{2h}(D_{2h}^{17})$. $a_0=7,81$; $b_0=16,59$; $c_0=5,64$. **Кристалдық құрылымы** қабатты сипатты координациялық. Екі валентті темір мен магний, кремний сияқты тетраэдрлерде болады. **Кристалдарының келбеті.** Әдетте кристалдары қысқа және жуан призмалар түрінде болады. Негізінен мынадай пішіндері байқалады: призма $\{110\}$, кейде $\{101\}$ және пинакоидтар $\{001\}$ және $\{010\}$ (289-сурет). Қосақтары өте тән (289-сурет) және тікбұрышты еске түсіреді – (032) бойынша немесе қиғаш – (232) бойынша айқыш. Кейде бұрыс пішінді түйірлер түрінде кездеседі.



289-сурет. Ставролит кристалы және (032) бойынша қосағы

Түсі. Ставролит қызыл-қошқылдан қошқыл-қараға дейін. Сирек мөлдір. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,746$; $N_m=1,741$ және $N_p=1,736$.

Қаттылығы 7-7,5. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша айқын. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** 3,65-3,77 (бөтен минералдар кірінділеріне байланысты ауытқиды).

Диагноздаушы белгілері. Түсі және кристалдарының өзіндік пішіндері, әсіресе қосақтары бойынша оңай танылады.

Қышқылдарда ерімейді. Тек H_2SO_4 ғана оны жартылай ерітеді.

Жаралуы және кенорындары. Ставролит біршама жоғары температуралық минерал ретінде аймақтық, кейде жапсарлық метаморфизм нәтижесінде жаралған кейбір кристалды тақтатастарға аса тән минерал болып табылады. Көбінесе кремнийтотық пен темірге бай таужыныстарда

анартастармен, андалузитпен, кордиеритпен, слюдалармен, магнетитпен, брукиитпен және басқалармен бірлестікте жиі кездеседі.

Химиялық біршама төзімді минерал. Жасыл слюдаға және хлориттерге айналғаны байқалған, оның кейінгі гидротермалық процестердің үстіленуі нәтижесінде болғаны көрінеді. Шашылымдарда кездеседі.

Ол табылған көптеген жерлердің барлығына тоқтала бермейміз. Тек Россия ауқымында кездескен кейбір жерлерді ғана атаймыз: *Таганай* тауындағы (Оңтүстік Орал) тақтатастар; *Санарка* мен *Каменка* өзендері бойындағы шашылымдар; *Кейвы* (Кола түбегі) кианит-мусковит-ставролитті тақтатастар; Байкал көлі ауданы және басқа жерлер.

Практикалық мәнге соңғы кездері ие болады. Бұл минералдың жақсы көрсеткіштері оны темір рудаларын балқытқан кезде флюс ретінде қолданғанда анықталған.

7. Анартас тобы

Мұнда жалпы формуласы $A_3B_2[SiO_4]_3$ болатын минералдардың үлкен тобы жатады, формуладағы $A=Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca$ және $B=Al, Fe^{3+}, Cr, Ti^{4+}$. Олардың арасында ең көбі екі топша минералдар түрі:

1) *альмандин қатары (пиральспиттер)* – $(Mg, Fe, Mn)_3Al_2[SiO_4]_3$:

- пироп – $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$;
- альмандин – $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$;
- спессартин – $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$;

2) *андрадит қатары (уграндиттер)* – $Ca_3(Al, Fe, Cr)_2[SiO_4]_3$:

- гроссуляр – $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$;
- андрадит – $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$;
- уваровит – $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$.

Олардың барлығы бір құрылымдық типте кристалданатындықтан және көптеген ортақ қасиеттері болғандықтан, біз олардың жалпы сипаттамасын береміз.

АНАРТАСТАР (формуласы жоғарыда берілген). Латынша *granatus* – түйірлер сияқты. Атауы бастапқыда зерделенген анартас кристалшалары түсінің анар ағашы жемістерінің дәндері түсіне ұқсастығы бойынша берілген. Жекелеген минерал түрлері атауларының шығуы әр түрлі.

Пироп – грекше *пиропос* – от сияқты; күңгірт-қызыл түсі бойынша аталған.

Альмандин – Алабанда (Испания) мекенінің бұрмалануынан, мұнда көне замандарда тас қырлаған (Плинийдің «алабанд венисасы»).

Спессартин – Бавариядағы Спессарт мекені бойынша.

Гроссуляр – солғын-жасыл түрлесі осылай аталған қарлығанның (крыжовниктің) ботаникалық атауы бойынша; 1790 жылы оны акад. Э. Лаксман Виллой өзені бойында (Шығыс Сібір) ашқан.

Андрадит – португал минералогы д'Андрад есімі бойынша, ол 1800 жылы марганец-темірлі анартасы сипаттаған. *Демантоид* – андрадиттің мөлдір түрлесі (Оралдағы Бобровка өзенінің шашылымдарында).

Уваровит – министр Уваровтың құрметіне; Оралда ашылған (талдауды акад. Г.И. Гесс 1832 жылы жасаған).

Шорломит андрадиттің титанды түрлесі болса, ал *гессонит* – Шри-Ланкадағы қоңыр түсті гроссулярдың темірлі түрлесі.

Химиялық құрамы. Ең негізгі минерал түрлерінің теориялық құрамы 16-кестеде келтірілген.

16-кесте. Анартастардың химиялық құрамы, салмақ %

Минерал	MgO	FeO	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂
Пироп	29,8	-	-	-	25,4	-	-	44,8
Альмандин	-	43,3	-	-	20,5	-	-	36,2
Спессартин	-	-	43,0	-	20,6	-	-	36,4
Гроссуляр	-	-	-	37,3	22,7	-	-	40,0
Андрадит	-	-	-	33,0	-	31,5	-	36,5
Уваровит	-	-	-	33,5	-	-	30,6	35,9

Қарастырылған топтың минералдарында Mg мен Fe²⁺, сондай-ақ Fe²⁺ мен Mn²⁺ бір-бірін шектеусіз алмастырып, кез-келген қатынасын береді, бірақ магнийлі-марганецті анартастар сирек. Үш валентті элементтерге қатысты айтсақ, олар бір-бірін кеңінен алмастыра алады. Бірақ та, хромұстамды анартастар табиғатта өте сирек кездеседі.

Қоспалардан мардымсыз мөлшерде кейде K₂O, Na₂O, сондай-ақ P₂O₅, V₂O₅, ZrO₄, BeO және басқалар болады.

Сингониясы кубтық, симметрия түрі гексаоктаэдрлік 3L⁴4L³6L²9PC. Кеңістіктік тобы *Ia3d(O¹⁰_h)*. a₀=11,51 (альмандин үшін); 11,59 (гроссуляр үшін); 11,83 (андрадит үшін). Анартастар үшін кристалдары жалпы төтенше тән. **Кристалдарының келбеті.** Ең көп таралғаны ромбододекаэдр пішіні {110} (290-сурет), кейде тетрагон-триоктаэдрмен {211} комбинацияда. Соңғы келтірілген пішін өзінше дербес те бола алады, мұнда жақтары ұзын диагоналіне параллель айғыздармен көмкеріле алады. Куб немесе октаэдр жақтары өте сирек кездеседі. (210) бойынша кіріккен қосақтары да үлкен сиректік болып табылады. **Агрегаттары.** Көбінесе тұтас түйірлі массалар түрінде кездеседі.



290-сурет. Анартас кристалдары (әдетте таралғандар)

Түсі. Анартастардың түсі аса кең ауытқиды. Түссіз мөлдір түрлестері (темір мен хром қоспасынан таза *пироп* немесе тіпті темірсіз *гроссуляр*) – сирек. Түрлі минералдардың ең кәдімгі түсі 17-кестеде келтірілген. Көк түсті анартастар кездеспейді.

Хромұстамды анартастар әдетте ашық-жасыл түске боялған, ал кейде, хромның шамалы мөлшерінде – қызыл түсті. Жасыл түске кейде андрадиттің кейбір мөлдір түрлестері де боялады (демантоид). **Жылтырлығы** майша,

шыныша, кейде алмасшаға жақын (андрадит) немесе алмасшадан шайыршаға дейін (шорломит). Ең басты минералдар түрінің сыну көрсеткіштері 17-кестеде кестеде келтірілген. Олар FeO, Fe₂O₃ және TiO₂ мөлшері артқан сайын өсе береді.

17-кесте. Анартастардың физикалық қасиеттері

Минерал және оның құрамы	Мен. салмағы	Түсі	N
Пироп - Mg ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	3,51	Күңгірт-қызыл, күлгін-қызыл, жасыл	1,705
Альмандин - Fe ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	4,25	Қызыл, қызғылт, қошқыл-қызыл, қара	1,830
Спессартин - Mn ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	4,18	Күңгірт-қызыл, жиренсары, қошқыл	1,800
Гроссуляр - Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	3,53	Бал-сары, солғын-жасыл, қошқыл, қызыл	1,735
Андрадит - Ca ₃ Fe ₂ [SiO ₄] ₃	3,75	Жасылтым, қошқыл-қызыл, қара	1,895
Уваровит - Ca ₃ Cr ₂ [SiO ₄] ₃	3,52	Изумруд-жасыл	1,870
Шорломит - Ca ₃ (Ti,Al,Fe) ₂ [Si,Al]O ₄] ₃	3,88	Қара, қошқылтым-қара	2,0

Қаттылығы 6,5-7,5. Жоғарылау қаттылыққа альмандин, пироп және спессартин ие болады (7-7,5). Жіктілігі (110) бойынша жетілмеген, әдетте болмайды. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** 3,5-4,2 (17-кестеде).

Диагноздаушы белгілері. Макроскоптық өзіндік кристалл келбеті, майша жылтырлығы, жоғары қаттылығы және біршама үлкен меншікті салмағы бойынша оңай танылады.

Бурамен және фосфор тұзымен олардың көпшілігі Fe, Mn және Cr элементтеріне реакция береді. HCl қышқылында сүзбе тәрізді кремнийтотық бөліп, қиын ериді. Қалғандары балқытқаннан кейін ғана ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Уграндиттерден ең көп таралғаны жапсарлық-метасоматоздық жаралымды анартастар. Олар негізінен қышқылды магманың карбонат таужыныстармен (әктас, доломит), біршама жоғары температура жағдайларындағы реакциялары нәтижесінде пайда болады. Көбінесе тұтас массалар түрінде кездеседі (гроссуляр және андрадит) немесе скарндар құрамына кіріп, олар негізінен әкті силикаттардан тұрады: диопсидтен, геденбериттен, эпидоттан, везувианнан, кейде волластониттен, актинолиттен, хлориттерден және басқалардан. Андрадитті скарндар әдетте жапсарлық жаралымды магнетит кенорындарын сүйемелдейді: *Магнитная* тауы, *Высокая* тауы, *Благодать* тауы (Оралда), *Дашкесан* (Әзірбайжан) және басқалар. Гроссуляр аз темірлі әкті скарнда басым болады, мысалы *Синереченское* кенорны сияқты (Приморье), сондай-ақ ультранегізді таужыныстар бойынша скарнға ұқсас қышқылды метасоматиттерде (родингитте) ашық түсті диопсидпен және везувианмен бірге. Осындай типті білінімдердің мысалына *Баженов* хризотил-асбест кенорнындағы (Ортаңғы Орал) родингит желілері жатады. Анартасты скарндармен бірқатар жағдайларда шеелит кенорындары да байланысты,

мысалы Тәжікстандағы *Майхура* және *Чорух-Дайрон* кенорындары. Уваровит және хромға бай басқа да анартастар жақсы жаралған кристалдар түрінде хромшпинелидтермен және хромды хлориттермен бірлестікте біршама жиі байқалып, олар хромды теміртастармен ультранегізді магмалық таужыныстар арасындағы қуыстарда (негізінен минералданған альпілік типті жарықшақтарда) кездеседі (Оралдағы *Саран* кенорны және Финляндиядағы *Оутокумпу*).

Пиральспиттер кеңірек таралған. Пироп аксессуар минерал ретінде алмасты кимберлитте байқалады. Қышқылды магманың негізді метаморфтық таужыныстарға (амфиболит және мүйізсалдамыш-хлоритті таужыныстар және басқалар) әрекетінен пайда болған анартастар (негізінен альмандин) кенорындары әлдеқайда жиі кездеседі, әсіресе егер метаморфтық таужыныстар ксенолиттер түрінде байқалса. Альмандин де граниттерде аксессуар минерал болуы мүмкін. Спессартин сирек-металды гранит пегматиттерде жиі кездеседі. Кейде оның құрамында иттрий болады, бұл жағдай онымен бірлестікте иттрийлі минералдардың – ксенотим, фергюсонит ($YNbO_4$) және басқалардың болу мүмкіндігін көрсете алады.

Елеулі шамаға жететін жаңажаралымдар ретінде пиральспиттер *кристалды тақтатастарда* кең таралған: слюдалы, хлоритті, талькті, амфиболды және басқа. Жаралатын анартастардың құрамы бастапқы таужыныстардың құрамына және метаморфизм кезіндегі қысымға байланысты (жоғары қысымда жоғары магнийлі альмандиннен гроспидит пен эклогиттегі пиропқа дейін пайда болады). Кейде айтарлықтай өлшемдерге жететін (20 см және одан да үлкен) анартас кристалдарында тақтатастарда жаралатын бөтен минералдар кірінділері анықталады. Анартастармен парагенезисте мусковит, биотит, кварц, кианит, силлиманит, графит, рутил, магнетит және басқалар біршама жиі байқалады. Метаморфтық жаралымды альмандин мусковитті тақтатастарда көбінесе кианитпен және ставролитпен бірге көптеген жерлерде белгілі: *Кейвы* қырқасында (Кола түбегі) және *Мама-Чуя* слюдалы ауданында (Шығыс Сібір).

Ең белгілісі Чехияның *Богема* серпендинденген перидодит массивіндегі қанық-қызыл анартас (пироп), ол зергерлік істе кең пайдаланылады. Пироп кимберлиттегі алмастың минерал-серіктерінің бірі.

Мору процесінде анартастар химиялық тұрғыдан біршама төзімді минерал ретінде шөгінділерге өтеді. Бірақ темірлі анартастар қарқынды мору процестері кезінде ыдырап, темір телпектер түрінде қошқыл теміртастар жасайды. Марганецті анартастар одан да оңай ыдырайды, олар марганец гидроокиселдерін жасайды.

Практикалық мәні. Анартастардың мөлдір, әсем боялған түрлестері зергерлік істе қолданылады. Альмандин онша қымбат тас емес, сондықтан ол арзанқол бұйымдарда аса кең пайдаланылады. Ең құнды саналатындарға демантоид (жасыл андрадит) жатады, ол күшті алмас тәрізді жылтырлыққа ие.

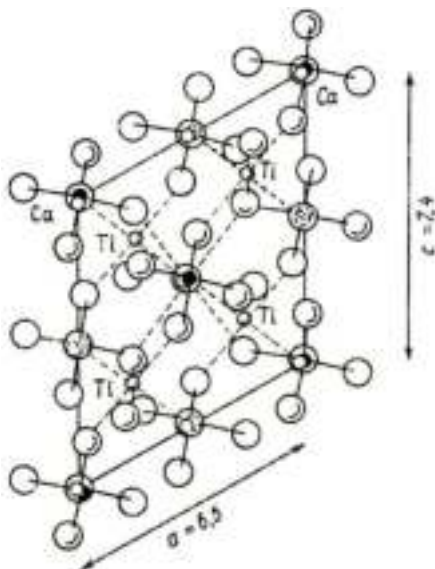
Жоғары қаттылыққа ие болатын анартастар (альмандин, пироп, спессартин) түрпі материал ретінде қолданылады. Бұл мақсат үшін ең қолайлысы тұтас түйірлі массалардағы анартастар емес, оқшауланған біршама ірі кристалдар түрінде жаралған анартастар. Карборунд пен алунды кең пайдалана бастағанға дейін анартастардың 90 % шамасы анартасты қағаз немесе жайма деп аталатындарды даярлау үшін кетіп, олар ағаштың қатты түрлерін (емен, жаңғақ, үйеңкі, қызыл ағаш және басқа) жылтырлау үшін, айна шыныларын жылтырлауға, былғарыны, қатты каучукті, целлулоид және басқа бұйымдарды жылтырлауға қолданылған. Қазір мұндай материалдар түріндегі анартастардың үлесі айтарлықтай азайды. Түрпі материалдар алу үшін құрамында анартас бар таужыныстар арнайы байытуға жіберіледі. Өнеркәсіптік саналатындарға құрамында 10 % шамасынан асатын жақсы жаралған ірі кристалдар бар (көлденеңі 1 см-ден асатын) анартасты таужыныстар саналады.

8. Титан тобы

ТИТАНИТ – $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$. Құрамы бойынша аталған. Синонимі: сфен (грекше *сфенос* – сына), кристалдарының өзіне тән сына тәрізді пішіні бойынша. Алғаш оны бізде Г. Розе 1842 жылы Ильмен тауларында сипаттаған. Ол акцессор минерал ретінде біршама жиі кездеседі, негізінен қышқылды және сілтілі интрузиялық магмалық таужыныстарда (гранит, сиенит, нефелинді сиенит, диорит және басқа).

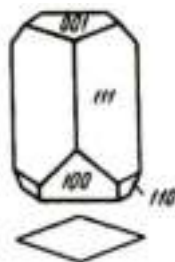
Химиялық құрамы, %: CaO – 28,6; TiO_2 – 40,8; SiO_2 – 30,6. Кейде анықталатын қоспалары: FeO (6 %-ке дейін), кейде MnO (3 %-ке дейін), MgO , Fe_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Y,Ce})_2\text{O}_3$ (12 %-ке дейін) (Y-титанит), сирек Cr_2O_3 , ZrO_2 (0,18 %-ке дейін), Nb_2O_5 , F, OH, Th және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі ромб-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=6,55$; $b_0=8,70$; $c_0=7,43$; $\beta=119^{\circ}43'$. Титаниттің құрылымы 291-суретте бейнеленген.

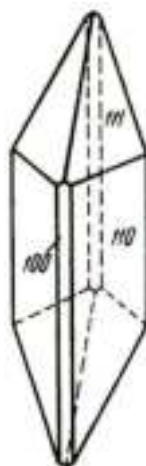


291-сурет. Титанит құрылымы

Кристалдарының келбеті. Бұл минералға жалпы дараланған кристалдар тән; олардың сыртқы түрі пішіндерінің комбинациясы бойынша аса сан қилы. Көбінесе олар жалпайған конверт тәрізді болып келеді, көлденең қимасында сына тәрізді пішінге ие (292-сурет). {001} қырлары басым дамыған кезде кесте тәрізді пішінге ие болады. Призма {110} және пинакоид жақтары дамыған кезде сирек болса да призма келбетті кристалдар жасайды (293-сурет). Кірігу қосақтары (100) бойынша біршама жиі, (001) бойынша сирек байқалады.



292-сурет. Титанит кристалы



293-сурет. Титаниттің призма кристалы

Түсі. Титанит сары, қошқыл, жасыл, сұр, кейде қара, қызғылт немесе қызыл болады. **Жылтырлығы** алмасшаға жақын немесе алмасша, майша. $N_g=1,979-2,054$; $N_m=1,894-1,935$ және $N_p=1,888-1,918$.

Қаттылығы 5-6. **Жіктілігі** {110} бойынша айқын немесе жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,29-3,56.

Диагноздаушы белгілері. Титанит үшін көбінесе кристалдарының сына тәрізді пішіндері, жақтары аралығындағы сүйір және доғал бұрыштары аса тән болады. Осы белгілерімен ол өзіне сарғыш-бурыл түсі бойынша ұқсас болатын бірқатар минералдардан ажыратылады.

Ыстық HCl қышқылында жартылай ыдырайды, H₂SO₄ қышқылында толық ыдырап, Ca сульфатын жасайды. Қойытылған тұзқышқылды ерітіндісі металл қалайымен қайнатқан кезде TiCl₃ жаралуы салдарынан күлгін түсті қабылдайды.

Жаралуы және кенорындары. Титанит мардымсыз мөлшерде аксессуар қоспа түрінде *магмалық* таужыныстарда (гранит, сиенит, трахит, андезит және басқа) далашпаттармен, нефелинмен, эгиринмен, цирконмен,

апатитпен және басқа минералдармен бірлестікте біршама жиі кездеседі. Ірілеу кристалдарда негізінен сиенит құрамды *пегматиттерде* де таралған. Кейде жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда қышқылдығы төмендеу маганың әктасқа әрекеті кезінде кездеседі және диопсидпен, анартаспен, эпидотпен, хлориттермен, магнетитпен және басқалармен парагенезисте байқалады.

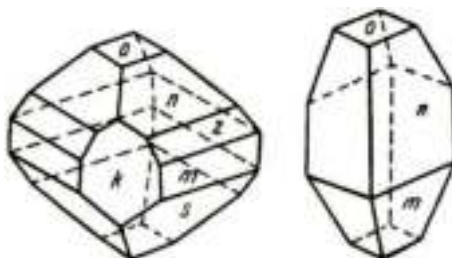
Кейде ол кейбір *метаморфтық* таужыныстарға (гнейс, слюдалы және хлоритті тақтатастар, амфиболит және басқа) біршама тән. Жақсы жаралған кристалдары альпілік типті желілерде де кальцитпен, хлоритпен, эпидотпен, альбитпен, адулярмен және басқалармен бірге байқалады.

Кейінгі гидротермалық көмірқышқылды ерітінділер әрекетінен кальцит, кварц және жасырын кристалды рутил немесе анатаз жасап ыдырайды; кейде брукитке немесе перовскитке өтеді. Анартастың титанит бойынша псевдоморфозалары да белгілі.

Мору белдемінде химиялық төзімді минерал ретінде шашылымдарда жиналады. Дегенмен оның өзгерген өнімдері де анықталған, ксантитан деп аталатын өнімі солғын-сары үлбір немесе ұнтақ тәрізді майда дисперсиялық зат түрінде белгілі, оның басқа элементтер гидрооксилдерімен бірге рутил немесе анатаз екені көрінеді.

Кола түбегінде нефелин-апатит-титанитті таужыныстар арасындағы апатит кенорындарында кездеседі. көлденеңі 1 см-ге дейінгі бұрыс пішінді түйірлер түрінде де, *c* осі бойынша созылған негізінен {110} призмасы дамыған призма түрінде де кездеседі (293-суретте). Қызғылт немесе сарғыш реңді титаниттің ине тәрізді, радиал-сәуле немесе талшық агрегаттары да өте айрықша, олар соңғылау жаралымдар ретінде басқа минералдар түйірлері аралығында орналасады.

Ильмен тауларында (Орал) әр түрлі генерациялық титанит негізінен сиенит және нефелин-сиенит пегматиттерінде апатитпен, кейде эгиринмен, магнетитпен, ильменитпен, қара слюдамен, мүйіз алдамышпен, эгиринмен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Көбінесе оның құрамында осы минералдар кіріндісі болады. Жақсы жаралған кристалл пішіндері де байқалады (299-сурет), олардың өлшемі кейде 10-15 см-ге жетеді. Оның кейбір түрлестерінің құрамында Sr және V қоспалары болады.



294-сурет. Ильмен таулары титанитінің кристалдары: $o\{001\}$, $n\{111\}$, $m\{110\}$, $s\{021\}$, $k\{100\}$

Назям және *Шишим* тауларында (Оңтүстік Оралдың Златоуст ауданы) титанинит жапсарлық жаралымдарда габбро мен амфиболиттің әктаспен

шекарасында кездеседі. Ол солғын-сары, қошқылдау-сары, кейде мөлдір түссіз кристалдарда мәрмәрленген әктаста байқалады. Салмағы 300 г болатын кристалдары кездеседі (Санкт-Петербургтегі Кен университетінің мұражайында), оларда қарапайым да, күрделі де комбинациялар болады. (100) бойынша кесте тәрізді пішінді ерекше кірігу қосақтары сипатталған. Титанит серіктеріне әр түрлі (негізінен кальций және магний құрамды) минералдар жатады: диопсид, анартас, эпидот, везувиан, перовскит, хлориттер, апатит, кальцит, шпинель, форстерит және басқа.

Шетел кенорындары ішінде белгілілері Швейцарияның бірқатар жеріндегі (*Сен-Готтард*, *Бинненталь*, *Церматт* және басқа) альпілік типті желілері. Мұнда мөлдір қырларға бай солғын-сары түсті тамаша жаралған кристалдары кездеседі. Сондай-ақ Пьемонит (Италия) – кең қызғылт немесе сарғыш кристалдар; Сен-Марчеле – марганецті түрлесі (гриновит) және басқа.

Практикалық мәні. Титанит егер елеулі массаларда болса өндеген кезде титан окисін және басқа қосылыстарын алуға болатын шикізат болуы мүмкін.

Б КЛАСШАСЫ. Кристалл құрылымдарында оқшауланған SiO_4 тетраэдр топтары бар силикаттар

а. Оқшауланған Si_2O_7 топтары бар силикаттар

Химиялық көзқарастан мұнда пиросиликаттар деп аталатындар жатады. Рентгенқұрылымдық зерттеулерге сай олардың кристалдық құрылымында оқшауланған $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ тобы қатысады. Бұл топ ортақ оттек ионы бар екі кремнийоттек тетраэдрінен жаралады (*271-суретте*).

Бұл типті қосылыстардың өзіндік ерекшелігіне жататыны катиондар қатарында біз негізінен иондық радиустары үлкен иондарды кездестіреміз: Y, Ce, La, Sc, Pb, Ba, K, Ca, Na, ал қосарланған қосылстарда – Al, Mg, Be, Zn комбинациясымен. Бірақ, негізгі тұздары арасында қарапайым Zn және Be силикаттары болады (гемиморфит және берtrandит).

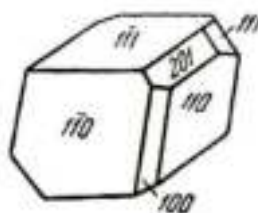
Аксинит, гемиморфит, лапрофиллит, мозандрит және ильваит тобы минералдарынан басқа мұнда эпидот тобын (цоизит, эпидот, алланит) және везувиан тобын қарастырамыз. Олардың кристалдық құрылымында $[\text{SiO}_4]^{4-}$ топтарымен қатар $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ радикалдары болады.

ФЕРРОАКСИНИТ – $\text{Ca}_4(\text{Fe},\text{Mn})_2\text{Al}_4[\text{B}_2\text{Si}_8\text{O}_{30}][\text{OH}]_2$ және

МАНГАНАКСИНИТ - $\text{Ca}_4(\text{Fe},\text{Mn})_2\text{Al}_4[\text{B}_2\text{Si}_8\text{O}_{30}][\text{OH}]_2$. Грекше *аксине* – балта. Кристалдары көбінесе сына тәрізді күшті жалпайған екіжақты бұрыштары сүйір пішіндерге ие болады.

Химиялық құрамы тұрақсыз. CaO мөлшері азды-көпті сақталады. MnO (кейде айтарлықтай шамаға жетеді), FeO (8 %-ке дейін) және MgO мөлшері айтарлықтай ауытқиды. Және де Fe_2O_3 (бірнеше %-ке дейін), кейде K_2O және Na_2O болады.

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық. Кеңістіктік тобы $P1(C^1_1)$. $a_0=7,15$; $b_0=9,16$; $c_0=8,96$; $\alpha=88^{\circ}04'$; $\beta=91^{\circ}36'$; $\gamma=77^{\circ}42'$. Аксинит құрылымында күрделі тұрғызылған бороттек және кремнийоттек тетрадрлерінен тұратын оқшауланған аралдық топтамалар анықталған. Бұл топтамаларда $[Si_2O_7]$ диортотоптары қатысады. **Кристалдарының келбеті** негізінен $\{110\}$, $\{110\}$, $\{111\}$ және басқа пішіндермен анықталады (295-сурет). Кристалдары жалпы жақтарға бай. Жоғарыда көрсетілген жақтарда әдетте айғыздалу байқалады. **Агрегаттары.** Қуыстарда көбінесе друзалар түрінде кездеседі. Сондай-ақ парақталған немесе қалақша агрегаттар түріндегі желілер мен тұтас массалар жасайды.



295-сурет. Аксинит кристалы

Түсі. Аксинит қоңыр-қошқыл, күлгін, қызыл, қызғылт, күлгін-көк, ақ, сұр, сары (манганаксинит) болады. Хлорит кірінділері болуынан кейде жасылтым-сұр түсті қабылдайды. **Жылтырлығы** шыныша.

Қаттылығы 6,5-7. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша орташа, басқа бағыттар бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,25-3,3.

Диагноздаушы белгілері. Сына тәрізді пішіндері бойынша титанитпен шатастыруға болады, бірақ одан жоғарылау қаттылығымен ажыратылады. Аксинит кристалдары негізінен бос қуыстарда кездеседі.

Содамен марганецке реакция береді. Платина сымның жасуында 3 бөлік $KHSO_4$ және 1 бөлік CaF_2 қоспасымен балқытқан кезде жалын жасыл түске боялады (бор). HCl қышқылында ыдырамайды, бірақ алдын ала қыздырғаннан кейін сүзбе тәрізді кремнийтотық бөліп ериді.

Жаралуы және кенорындары. Гидротермалық минерал ретінде кейде гранит немесе диорит арасындағы бос қуыстарда, жапсарлық зоналарда, сирек серік ретінде желілік гидротермалық руда кенорындарында байқалады. Метаморфтық таужыныстар арасындағы жарықшақтарда кристалдарға өскен желішіктер түрінде, әсіресе алюмототыққа байыған тактатастар арасындағы альпілік типті желілерде біршама жиі кездеседі. онымен бірлестікте байқалатындар: кварц, далашпаттар, эпидот, хлорит, асбест (амфиболды), ал руда кенорындарында – магнетит, сульфидтер (сфалерит, халькопирит, арсенипирит және басқалар).

Аксинит табылымдарының жекелеген жерлері, кейде елеулі мөлшерде Россияның көптеген жерлерінде белгілі: Оралда – *Евгение-Максимилан* кенішінде (Златоуст ауданында), *Палкина* деревнясы маңында (Екатеринбург маңында), Полюс маңы Оралдағы альпілік типті желілерде (*Хусь-Ойка*),

Каральвей кенорнында (Чукотка), құрамында бор бар *Дальнегорск* кенорнында (Приморье) және басқа.

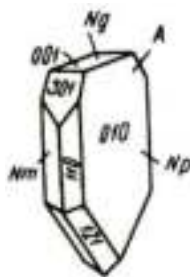
Орта Азияда Тянь-Шаньдағы Гиссар және Алай жоталарының бірқатар жерлерінде.

Шетел кенорындарынан *Бург д'Уазанды* атаймыз (Дофинэ, Франция), мұнда аксиниттің ірі кристалдары диориттегі жарықшақтар қабырғаларында және Швейцарияда кристалды тақтатас желілерінде.

ГЕМИМОРФИТ – $Zn_4[Si_2O_7][OH]_2 \cdot H_2O$. Оның кристалдарының голоэдрлі $3L^23PC$ симметрия түрімен салыстырғанда гемиморфизмі себебі бойынша аталған. Синонимі: каламин. Агрикола «каламин» атауын латынша *каламус* – қамыс сөзінен (ұзын сталактит жаралымдарына ұқсастығы бойынша) шығарады. Біздің әдебиетте және де *галмей* атауы қолданылады.

Химиялық құрамы, %: ZnO – 67,5; SiO_2 – 25; H_2O – 7,5. $500^{\circ}C$ -қа дейін қыздырған кезде H_2O -ның жартысы кристалдардың мөлдірлігін сақтай отырып ұдайы жоғалтылады, ал гидроксилден тұратын қалған бөлігі жоғарылау температурада кетеді, бірақ мұнда кристалл құрылымы бүлінеді.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-пирамидалық L^22P . Кеңістіктік тобы $Imm2(C_{2v}^{20})$. $a_0=8,38$; $b_0=10,70$; $c_0=5,11$. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары әдетте ұсақ және тек қана бос қуыстарда кездеседі. Тақташа келбетке ие (*296-сурет*). Олар тік осі бойынша айқын гемиморфты, яғни (001) параллель симметрия жазықтығы болмайтынын көрсетеді: жоғарғы және төменгі шеттері тек $\{121\}$ жағы бойынша ғана анықталса, ал жоғарғысында – көптеген басқалары анықталады. **Агрегаттары.** Көбінесе радиал-сәуле құрылысты кристалл қабыршақтар түрінде байқалады, сондай-ақ бүйрек тәрізді, кейде тұтас, түйірлі агрегаттарда немесе жер тәрізді түрде кездеседі.



296-сурет. Гемиморфит кристалы

Түсі. Кристалдары әдетте түссіз. Тығыз массалары ақ немесе сұр түске ие, бірақ көбінесе сары, қошқыл, жасыл және көгілдір түске ие болады. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,636$; $N_m=1,617$ және $N_p=1,614$.

Қаттылығы 4-5. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойынша жетік және $\{101\}$ бойынша жетілмеген. Мен. салмағы 3,4-3,5. **Басқа қасиеттері.** Қыздырған кезде кристалдарының жоғарғы және төменгі шеттері әр таңбалы электр зарядталады.

Диагноздаушы белгілері. Өзімен бірге жиі кездесетін смитсониттен қышқылдарда еріткен кезде CO_2 бөліп шығармайтындығымен ажыратылады.

Қышқылдарда сүзбе тәрізді кремнийоттық бөліп (смитсониттен айырмашылығы) ериді. Жабық түтікшеде шытынайды, ағарады және су бөледі.

Жаралуы және кенорындары. Смитсонитпен, церусситпен, лимонитпен және басқа минералдармен бірге қорғасын-мырыш сульфид кенорындары мұрағат кезде тотығу белдемдерінде жаралады. Кремнийоттықтың ерітіндіге құрамындағы Fe^{2+} ионы Fe^{3+} -ке дейін тотығуға қабілетті силикаттар ыдыраған кезде өтетіні көрінеді. Гемиморфиттің бастапқы минерал ретінде және жер беті маңында жаралатын гидротермалық кенорындарда болу мүмкіндігі де жоқ емес. Гемиморфиттің смитсонит, кальцит, доломит, флюорит, пироморфит, галенит және басқа минералдар бойынша псевдоморфозалары белгісі. Виллемиттің, малахиттің, кварцтың және басқалардың гемиморфит бойынша псевдоморфозалары байқалған.

Құрамында гемиморфит анықталған кенорындар саны аса көп. Оның бай шоғырлары Жоғарғы Силезиядағы (Польша) *Олькуша* кенорнында белгілі. Россияда гемиморфит Шығыс Забайкальенің бірқатар кенорындарында сипатталған: *Кличкинское, Тайнинское, Трехсвятительское* және басқа. Мұнда гемиморфиттің біршама ірі кристалдары да табылған. Сондай-ақ Орталық Қазақстан кенорындарында да анықталған: *Ақжал, Қызылесне, Гулиад*. Каринтиядағы (Шығыс Альпі) *Райбл* және *Бляйберг* кенорындарында ол мүмкін эндогендік минерал ретінде смитсонитпен, сфалеритпен, галенитпен, кальцитпен, доломитпен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі.

Практикалық мәні. Смитсонитпен бірге маңызды мырыш рудасы болып табылады. Гемиморфит көптеген кенорындардың тотығу белдемдерінде елеулі массаларда кездескен.

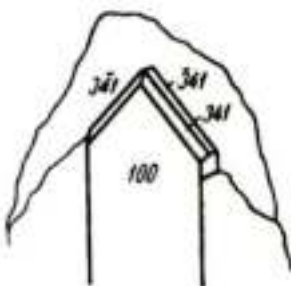
Лампрофиллит-сейдозерит тобы

Бұл топқа лампрофиллит пен сейдозерит әулеттерінің минералдары кіреді. Бірінші бойынша лампрофиллиттің өзі, ал екіншісінен мозандрит (ринкит) қарастырылады. Олар үшін ортақ кремнийоттекті $[Si_2O_7]$ топтамасына қатысы бойынша қосымша титан (және ниобий) оттегі бойынша б-координациялы анионның рөлін атап өтеміз. TiO_6 -октаэдрлері өзара және $[Si_2O_7]$ топтарымен конденсацияланып, қабатты полианиондық радикалдар жасайды. Олар бұл топ минералдарының құрылымына және қасиеттеріне (сондай-ақ *бафертусит* және *ломоносовит* топтарына) слюда сияқты сипат береді. Академик Н.В. Белов осы және осылар сияқты минералдарды титан слюдаларының өзіндік бөліміне дұрыс бөлген, бірақ сырттай ғана. Силикаттар жіктелімі кезінде кремнийоттек радикалдары пішінінің айырмашылығы негізінде мұндай минералдардың көбі қосымша анионды диортосиликаттар арасында сипатталады. Мұнда олар алыстайтын тізбекті силикаттар қатарына жақынтекті астрофиллитпен ажыратылады (төменде айтылады).

МОЗАНДРИТ – $(Na, Ca, Ce)_3(Ti, Nb)[Si_2O_7][F, OH, O]_2$. Синонимдері: ринкит, ринколит.

Химиялық құрамы, %: CaO 24,7–27,3; Na₂O 6,3–9,2; TiO₂ 8,4–10,7; Nb₂O₅ – Ta₂O₅ 2,2–2,6; Ce₂O₃ 5,4–8,8; La₂O₃ 5,4–7,3; Y₂O₃ 1,3–3,1; SiO₂ 27,3–29,8; F 5,1–6; H₂O 0,5–2,4 және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі псевдоромбылық, аксиалық L₂. Кеңістіктік тобы P2₁(C²₂). Кристалдарының келбеті призмалық. Кристалдары әдетте нашар жаралған, c осі бойынша созылған және, одан басқа, жалпайған (297-сурет); ұзындығы 7–8 см-ге жетеді. Тұтас түйірлі немесе бауланған агрегаттар түрінде де таралған. Сыртқы түрі бойынша ағаш желімге ұқсас шыны тәрізді немесе жасырын кристалды түрлесі ловчоррит деп аталған. Ловчоррит басқа минералдар аралығындағы бос жерлерді толтыратын тығыз массаларда кездеседі.



297-сурет. Мозандрит кристалы

Түсі күңгірт-сары, қошқылтым-сары немесе жасылтым-сары. Сызық түсі солғын-сары. **Жылтырлығы** жіктілік жазықтықтарында шыныша, омырылымында басқа бағыттары бойынша майша немесе шайырша (ловчорриттің). $N_g=1,651-1,681$; $N_m=1,645-1,667$; $N_p=1,643-1,663$.

Қаттылығы 5. Морт. **Жіктілігі** {100} бойынша жетік, {010} бойынша орташа. Омырылымы бейтегіс, ловчорритте ұсақ ұлуша. **Мен. салмағы** 3,4. ловчорриттің – 3,2–3,36.

Диагноздаушы белгілері. Мозандритке түсі, нашар жаралған ұзыншақ кристалдары, бау тәрізді агрегаттары тән. Ловчоррит сыртқы түрі бойынша танылады.

Қышқылдарда ыдырайды. 750⁰С-қа дейін қыздырған кезде аморфты ловчоррит мозандритке кристалданады. Балқу температурасы 1200–1400⁰С. Көбінесе радиобелсенді.

Жаралуы және кенорындары. Сирек магма текті минерал ретінде негізінен сілтілерге өте бай интрузиялық таужыныстар арасындағы пегматиттерде кездеседі: нефелинді сиенитте және басқа құрамы бойынша сондай текті таужыныстарда. Онымен бірлестікте далашпаттар, нефелин, эгирин, сілтілі мүйіз алдамыш, эвдиалит, астрофиллит және басқалар байқалады.

Морыған кезде күңгірттенеді, шашылып кетеді. Ловчоррит қышқылданады да жер тәрізді ақ түсті массаға айналады. Мұндай жағдайда аса елеулі мөлшерде CaO, SrO, сілтілер, фтор шығарылады, SiO₂ мөлшері біршама азаяды және H₂O мен CO₂ мөлшері молаяды.

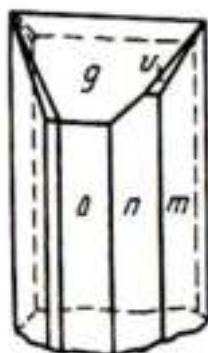
Хибинде (Кола түбегі), *Лангезундфиортта* (Норвегия) және *Иллимаусакте* (Гренландия) кездеседі.

Практикалық мәні. Мозандрит пен ловчоррит сирекжерлерге бай минералдар ретінде соларды алу көзі бола алады. Сирекжерлердің қолданылуы туралы *монацитте* айтылады.

ЛАМПРОФИЛЛИТ – $\text{Na}_2(\text{Sr},\text{Ba})_2\text{Ti}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}_2[\text{F},\text{OH}]_2$. Атауы грекше лампрос – жалтырақ және филлон – парақ дегеннен, сыртқы түрі бойынша. **Химиялық құрамы.** Формуласында көрсетілгендерден басқа K_2O (2,3 %-ке дейін), MnO (5,2 %-ке дейін), F (1,8 %-ке дейін) және басқалар болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі псевдоромбылық, планаксиалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары $\{100\}$ бойынша тақталанған, c осі бойынша созылған (298-сурет), кейде өте ірі (ұзындығы 20 см-ге дейін). Астрофиллитке ұқсас ұзыншақ кристалдар табақшасы және жұлдыз сияқты агрегаттар түрінде де кездескен.

Түсі алтын-қошқыл, жіктілік жазықтықтарында күңгірт-қошқыл. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,779$ және $N_p=1,747$.



298-сурет. Лампрофиллит кристалы: $c\{100\}$, $n\{530\}$, $m\{110\}$, $g\{301\}$, $v\{851\}$

Қаттылығы 2–3. Морт. **Жіктілігі** $\{100\}$ бойынша аса жетік, сынғыш қалақшаларға оңай ажырайды, $\{001\}$ бойынша айқынға дейін. **Мен. салмағы** 3,44–3,53.

Қышқылдарда ыдырайды. Астрофиллиттен екінші жіктілігі болуымен де ажыратылады, ол лампрофиллит кристалдарының сынған бетінде өзіндік сирек баспалдақтар жаралуына әкеледі.

Жаралуы және кенорындары. Акцессор минерал ретінде нефелинді сиенитте таралған, бірақ негізінен пегматит бөлінімдерінде кездеседі. Онымен бірлестікте эгирин, нефелин, эвдиалит және басқалар байқалады. Луявриттің (Кола түбегіндегі *Ловозерск* массиві сілтілі таужынысы) өзіндік минералы болып табылады. Бұл таужыныста пегматиттермен қатар көбінесе елеулі мөлшерде далашпатпен, нефелинмен, содалитпен, эгиринмен, эвдиалитпен, мурманитпен және басқалармен парагенезисте кездеседі. *Хибин* массивінде тек пегматиттерде ғана болады және астрофиллитпен салыстырғанда әлдеқайда сирек.

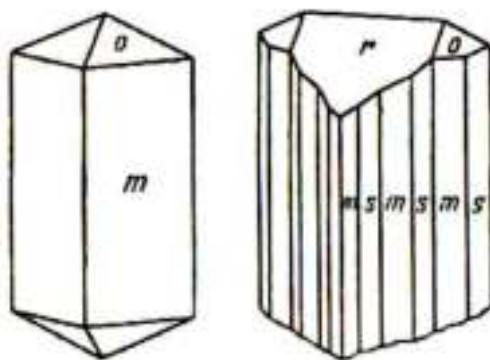
Ильваит тобы

Топқа қосымша анионды гидроксилді диортосиликаттар кіреді: *ильменит*, *лавсонит* ($\text{CaAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), олардың ішінде тек біріншісі ғана қарастырылады.

ИЛЬВАИТ – $\text{CaFe}^{2+}_2\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{O},\text{OH}]$. Атауы Эльба аралының (Италия) латынша атынан шығады. Синонимі: лиеврит.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Басқалардан гөрі FeO пен MnO мөлшері өзгереді. Таза темірлі түрлесі үшін келтірілген формулаға сай алатынымыз, %: CaO – 13,7; FeO – 35,2; Fe₂O₃ – 19,6; SiO₂ – 29,3; H₂O – 2,2. MnO мөлшері 9 %-ке жетеді.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $R\text{c}mn(D^{16}_{2h})$. $a_0=8,82$; $b_0=5,86$; $c_0=13,07$. **Кристалдарының келбеті** көпшілік бөлігінде призмалық. Призма жақтары тік айғыздармен көмкерілген. Кристалдары тек бос қуыстарда ғана кездеседі (299-сурет). Әдетте бұрыс пішінді түйірлерде немесе тұтас түйірлі массаларда, кейде сәуле-сырықша немесе жалбыр агрегаттарда байқалады.



299-сурет. Ильваит кристалдары: $m\{110\}$, $s\{120\}$, $o\{111\}$, $r\{101\}$

Түсі. Ильваит қара түсті қошқылтым немесе жасылтым реңді. **Жылтырлығы** алмасша күшті, омырылымында шайыршадан майшаға дейін. Жұқа шлифтерде нашар мөлдір. $N_g=1,91$ және $N_m=1,89$.

Қаттылығы 5,5–6. Морт. **Жіктілігі** айқын $\{010\}$ бойынша және орташа $\{001\}$ бойынша. Омырылымы бейтегіс, кейде ұлуша. **Мен. салмағы** 3,8–4,1.

Диагноздаушы белгілері. Қара түс, бейтегіс немесе ұлуша омырылым және біршама жоғары қаттылық тән.

Фосфор тұзымен темірге реакция береді. Бірқатар жағдайларда марганецке реакциясы да оң. HCl қышқылында оңай ериді де сүзбе тәрізді кремнийтотық бөледі.

Жаралуы және кенорындары. Әдетте темірдің жапсарлық-метасоматоздық кенорындарында, негізінен скарндар белдемінде анартастармен (андрадитпен), геденбергитпен, магнетитпен, темір, мыс сульфидтерімен және басқалармен бірлестікте кездеседі. Сілтілерге бай магмалық таужыныстарда (нефелинді сиенит) табылған жағдайлары белгілі.

Морыған кезде лимонит (кейде марганец гидроокиселдерін) жасап ыдырайды.

Алғашында *Эльба* аралындағы *Марина* өзенінде пироксенді массалардың (геденбергиттің) мәрмәрмен жапсарында ірі кристалдар және тұтас шоғырлар түрінде табылған.

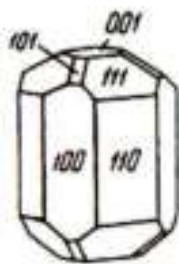
Россияда ильваит *Тура* мыс кеніштерінде (Солтүстік Орал) негізінен геденбергитті скарнның және мәрмәрленген әктастың жапсарында кездеседі; сондай-ақ кейбір қорғасын-мырыш кенорындарында Fe және Ca силикаттарымен бірлестікте болады, мысалы *Дальнегорск* кенорнында (Приморье), негізді таужыныстармен байланысты пирротинді жатындарда және басқа жерлерде кездескен.

Везувиан тобы

Топқа гидроксилдің және кейде фтордың қосымша аниондары бар ортодиортосиликаттар болып табылатын изоқұрылымды везувиан мен вилуит кіреді.

ВЕЗУВИАН – $\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2[\text{SiO}_4]_5[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH}, \text{F})_4$.
Формуласы жуық. Алғаш Везувийде кездескен, бірақ дұрыс анықталмаған.
Химиялық құрамы тұрақсыз. Мөлшері, %: CaO 33–37; Al₂O₃ 13–16; SiO₂ 35–39; H₂O 2–3. Олардан басқа сілтілер болады: K₂O, Na₂O, Li₂O (1,5), MgO, FeO, MnO, кейде ZnO (бірнеше %-ке дейін), SrO, Fe₂O₃ (4–9), Cr₂O₃ (4,3-ке дейін), TiO₂ (4,7-ке дейін), сирек BeO (9,2-ге дейін) (бериллийлі везувиан). Вилуитте бор үш валентті катиондар позициясында басым. OH көбінесе F-ды алмастырады (2 %-ке дейін).

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі дитетрагондық-дипирамидалық $L4L^25PC$. Кеңістіктік тобы $P4/nnc(D^4_{4h})$. $a_0=15,63$; $c_0=11,83$.
Кристалдық құрылымы төтенше күрделі және мұнда сипаттала алмайды.
Кристалдарының келбеті. Призмалық (*300-сурет*), әдетте бос қуыстарда байқалатын сирек пирамида кристалдары тән. Тақташа пішіндері де кездеседі. Ең көп таралған призмалар {110}, {100}, дипирамида {111} және пинакоид {001} жақтарының комбинациясы. Призмалар жақтары көбінесе тік үзік-үзік айғыздармен, ал пинакоид жақтары дөңес шаршы фигуралармен көмкеріледі. Қосақтары белгісіз. **Агрегаттары.** Тұтас везувиан массалары түйірлі немесе сырықша құрылысқа ие.



300-сурет. Везувиан кристалы. Везувий

Түсі. Везувиан сары, сұр, жасыл, қошқыл, әр түрлі реңді, кейде қара, сирек көкшіл, қызыл және қызғылт. Хромвезувианға қанық изумруд-жасыл

түс тән. **Жылтырлығы** шыныша, майша. $Nm=1,705-1,732$ және $Np=1,701-1,726$.

Қаттылығы 6,5. Морт. **Жіктілігі** {100} және {110} бойынша жетілмеген. (100) бойынша жақсы дербестігі везувианда және (101) бойынша вилуитте байқалады, ол зоналылыққа байланысты кернеулер салдарынан болуы ықтимал. **Мен. салмағы** 3,34–3,44.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарда олардың пішіні бойынша біршама оңай анықталады. Тұтас массаларда сыртқы белгілері бойынша анартас пен эпидот агрегаттарынан ажыратылмайды десе де болады, бірақ жұқа шлифтерде микроскоп астында оптикалық константалары және кальцийұстамды минералдармен бірлестігі бойынша біршама жеңіл анықталады.

НСІ қышқылында шала ыдыраса, ал алдын ала қыздырғаннан кейін толық ыдырайды, сондай-ақ сүзбе түрінде SiO_2 бөлінеді.

Жаралуы және кенорындары. Везувиан анартас сияқты өте жиі кездеспегенімен, бірақ та әктас пен доломит бойынша пайда болған кейбір *жапсарлық-метасоматоздық* жаралымдардың нағыз минералы болып табылады. Онымен бірлестікте анартастар (гроссуляр), диопсид, эпидот, кальцит, хлориттер, скаполиттер және басқалар кездеседі.

Сирегірек ол *метаморфтық* таужыныстарда байқалады: серпентинитте, хлоритті тақтатаста, гнейсте және басқаларда. Ол қандай да бір бастапқы кальцийге бай минералдарға – негізді далашпаттарға, диопсидке, мүйіз алдамышқа және басқаларға ұшпа компоненттердің әрекет етуі нәтижесінде жаралады.

Гидротермалық процесс үстіленген везувиан, анартастар сияқты туынды минералдармен (хлориттермен, слюдамен, талькпен және басқалармен) алмасады. Эпидоттың везувиан бойынша псевдоморфозалары белгілі.

Везувиан табылған көптеген жерлердің тек кейбіреулерін ғана атаймыз. *Монта-Сомма* (Везувий) жанартауында ол кристалл әктас арасындағы жанартау лақтырындыларында слюдалардың, авгиттің, хлориттің, скополиттің, магнетиттің және басқалардың сүйемелдеуінде кездеседі. Оралда жақсы жаралған кристалдары мен түйірлі массалары хлоритті тақтатаст арасында *Назым* тауларында (Златоуст ауданы), *Ахматова*, *Николай-Максимилиан* және *Еремеев* кеніштерінде *Шишим* тауларында (сол жерде), серпентинитте, *Борзовка* өзені (Ортаңғы Орал, Қыштым ауданы) жағалары бойынша алма-жасыл түсті тұтас везувиан тасдөңбектері түрінде корундпен бірлестікте табылады. Ірі кристалдары Хакасиядағы Юлия мыс кенішінде белгілі. Бериллийлі везувиан Солтүстік Ладога маңындағы *Люпникко* әкті-магнезийлі-темірлі грейзенденген скарнында орналасады. Титанды везувиан Коло түбегінде *Африканда* якупирангит массивінде болады.

Вилуит, оны акад. Э. Лаксман 1790 жылы ашқан, тек таяуда ғана минералдық түр статусын алған. Ол гроссулярмен Саха Республикасында (бұрынғы Якутия) Виллой өзені жағалары бойынша *Ахтарагда* өзені құйған жерде жақсы жаралған ірі (ұзындығы 2 см-ге дейін) кристалдар түрінде (301-

сурет) күнгірт-жасыл немесе жасыл-қошқыл түсті шала бүлінген метасоматоздық таужыныс арасында кездеседі. Кристалл жақтарындағы құрылысы қызығарлық. Бір жағдайларда (*301-суретте*, сол жағында), (001) жағы күшті дамығанда призма жақтары көлбеу бағдарланған кірпіштерден қаланған сияқты қалақшалармен көмкерілгендей болады, ал басқаларында – конверт сияқты көтерілімдермен (*301-суретте*, оң жағында) жабылады. Пирамида жақтары жұқалау және суреттермен көмкеріледі.



301-сурет. Вилуит кристалдары. Ахтарагда

Практикалық мәні жоқ. Тек тығыз жасырынкристалды түрлестері ғана (калифорниялық жад) әсемдік тас ретінде пайдаланылады.

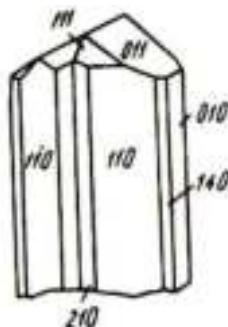
Эпидот тобы

Мұнда қосымша аниондары бар (оттеппен және гидроксилмен) орто-диортосиликаттар: цоизит, эпидот және алланит (оны метамиктілік түрлесі – ортит деген атаумен көбірек белгілі) сипатталады. Эпидотпен изоқұрылымды *клиноцоизит* сипаттамасы түсіріліп тасталған.

ЦОИЗИТ – $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Al}, \text{F}^{3+})_2[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}[\text{OH}]$. Синонимі: соссюрит – жасырын кристалды түрлесі актинолитпен, хлоритпен және басқа минералдар қоспасымен; негізді, кальцийге бай минералдар бойынша олардың гидротермалық өзгеру процестері кезінде пайда болады.

Химиялық құрамы, %: CaO –24,6; Al_2O_3 –33,9; SiO_3 –39,5; H_2O –2. Кейде Al_2O_3 -тің бір бөлігі Fe_2O_3 -пен (2–5 %) алмасқан.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pnma(D_{2h}^{16})$. $a_0=16,20$; $b_0=5,50$; $c_0=10,14$. Кристалдарының келбеті призмалық (*302-сурет*). Призма жақтары әдетте күшті айғыздалған. Шеттері айқын жаралған кристалдары өте сирек кездеседі. Әдетте олар өзгеріске ұшыраған таужыныстарға еніп тұрады. Агрегаттары көбінесе сырықша немесе түйірлі құрылысқа ие.



302-сурет. Цоизит кристалы

Түсі. Цоизит сұр, жасыл, кейде қызғылт, қызыл, бурыл түсті болады. **Жылтырлығы** шыныша. $Ng=1,702$; $Nm=1,696$ және $Np=1,696$.

Қаттылығы 6. Жіктілігі {101} бойынша жетік және {100} бойынша жетілмеген. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** 3,25–3,36.

Диагноздаушы белгілері. Тек жұқа шлифтерде оптикалық константалары бойынша ғана сенімді анықталады. Эпидоттан әлдеқайда төмендеу қосынуымен және бояуының жоқтығымен ажыратылады.

Қышқылдарда ерімейді. Алдын ала қыздырғаннан кейін және балқытқан соң HCl қышқылында кремнийоттек сүзбесін береді.

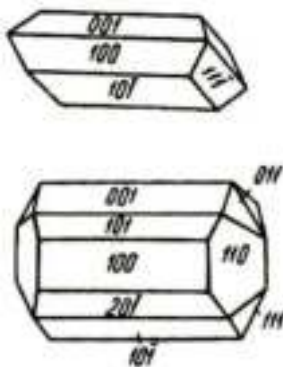
Жаралуы және кенорындары. Әдетте негізді плагиоклаздардың гидротермалық өзгеруі өнімі ретінде амфиболдармен бірлестікте метаморфтық таужыныстарда, кристалды тақтатастарда, амфиболитте және басқаларда кездеседі. Сондай-ақ гидротермалық кенорындарда сульфидтермен (пирротин, халькопирит және басқа) парагенезисте мөлдір немесе шаламөлдір, көбінесе жасылтым кристалдар түрінде кездеседі.

Россияда *Юрма* тауында (Орал), Карелияда, Алтайда және басқа жерлерде байқалған. Алғаш *Зау-Альпиде* (Каринтия) табылған.

ЭПИДОТ – $Ca_2Al(Fe^{3+}, Al)_2[Si_2O_7][SiO_4]O[OH]$. Грекше «эпидозис» – өсу, арту. Атауы призма кристалдарының көлденең қимасы пішіні бойынша берілген: эпидоттың өзімен шатастыратын амфиболдан айырмашылығы – ромб пішінді емес, параллелограмм пішінді (бір жағы басқасынан ұзынырақ) болады. Эпидот табиғатта кең таралған, әсіресе метаморфтық, гидротермалық өзгерген кальцийге бай таужыныстарда.

Химиялық құрамы. Цоизиттен айырмашылығы, эпидот темірге бай. Fe_2O_3 мөлшері 17 % шамасына жетеді. $Al:Fe=3:1$ қатынасты түрлесі мынадай құрамға ие, %: $CaO-23,5$; $Al_2O_3-24,1$; $Fe_2O_3-12,6$; $SiO_2-37,9$; $H_2O-1,9$.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі ромбпризмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/m(C^2_{2h})$. $a_0=8,89$; $b_0=5,62$; $c_0=10,23$; $\beta=115^{\circ}24'$. **Кристалдарының келбеті** призмалық, ал кристалдары b осі бойынша созылған (303 сурет), кейде сырықша, сирегірек изометрлі. Жақсы жаралған кристалдары жиі жақтарының ерекше молдығымен сипатталады. Қосақтары жиі кездеседі; кірігу жазықтығы (100) болады, кейде (001). **Агрегаттары.** Кристалдар друзасымен қатар бос қуыстарда эпидот жиі тұтас түйірлер, радиал-сәуле немесе параллель сырықша агрегаттар жасайды.



303-сурет. Эпидот кристалдары (жоғарғысы - Поляковқадан, төменгі - Ахматова кенішінен)

Түсі. Эпидот әдетте әр түрлі реңді жасыл, сары, қара, сұр болады. Fe_2O_3 мөлшері артқан сайын бояуы күнгірттен береді. **Жылтырлығы** шыныша, күшті. Ақаусыз кристалдары (пушкинит) жарық өткізе алады, ондай кристалдарда жай көзбен жақтар плеохроизмі күшті байқалады (бір бағытта кристалл тіпті беймөлдір болса, ал екіншісінде – жарықты жақсы өткізеді. $N_g=1,74$; $N_m=1,73$; $N_p=1,72$.

Қаттылығы 6,5. **Жіктілігі** жетік {001} бойынша жетілмеген {100} бойынша. **Мен. салмағы** 3,35-3,45.

Диагноздаушы белгілері. Табиғатта ең көп таралған түрлестері макроскоптық күйде фисташка (пісте) – жасыл түсі бойынша біршама оңай танылса, ал кристалдарда сонымен қатар олардың келбеті бойынша да анықталады.

НСІ қышқылында алдын ала балқытқан соң немесе қатты қыздырғаннан кейін ғана сүзбе тәрізді кремнийоттық бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Орналасу жағдайлары және эпидотты сүйемелдейтін минералдар парагенезисі оны гидротермалық процестермен байланысты жаралады деп есептеуге мүмкіндік береді. Ол біршама жиі (кейде елеулі массаларда) жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда кварцпен, хлориттермен, андрадитпен, кальцитпен, сульфидтермен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Көбінесе эпидоттың анартастармен, пироксендермен, амфиболдармен және басқа бұрынырақ жаралған темірұстамды кальций силикаттарымен алмасуы анықталады. Темір әкелінген кезде эпидот метасоматоздық жолмен негізді плагиоклаздар бойынша дамиды.

Таужыныстары минерал ретінде гидротермалық өзгерген негізді магмалық таужыныстарда кең таралған. Әсіресе құрамында хлорит пен альбит бар жасыл тақтатастар деп аталатындарға тән.

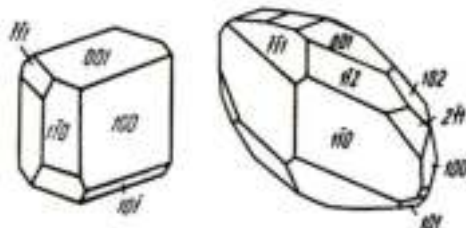
Россияда жақсы жаралған эпидот кристалдары кездескен жерлер: *Ахматова* кеніші (303-суретте) *Назям* тауларында (Оңтүстік Оралдың Златоуст ауданы), *Поляков* кеніші. Кумачинск тауларында (Оңтүстік Орал) және басқалар. Пушкинит деген атаумен жасыл, сары және тіпті қызыл түсті эпидот кристалдары сипатталған, оның құрамында 2 % шамасында Na_2O және 1,5 % шамасында Li_2O болады – *Верх-Нейвинск* және *Кыштым* заводтары төңірегінде (Орал). Сонымен қатар, эпидот таужынысжасаушы минерал ретінде көптеген таулы аудандардың метаморфтық таужыныстарында кеңінен таралған.

АЛЛАНИТ – $(\text{TR}, \text{Ca})_2(\text{Al}, \text{Fe})_3[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}[\text{OH}]$. Орыс тілді әдебиетте бұл минералдың *ортит* деп аталған синонимі нық бекітілген. Ол алғашында алланиттің метамиктілі түрлестеріне ғана қолданылып, олар әлдеқайда кең таралғандығымен белгілі. Алланит қазіргі кезде топталым атау болып табылады, минералдық түрлері басым сирекжер элементі бойынша бөлінеді.

Химиялық құрамында жекелеген окиселдердің мөлшері көп ауытқиды: Ce_2O_3 – 6 %-ке дейін; $(\text{La}, \dots)_2\text{O}_3$ – 7 %-ке дейін (алланит-(Ce)). Химиялық формулада келтірілген компоненттерден басқа және де Na_2O , FeO ,

кейде MgO , MnO , Y_2O_3 – 8 %-ке дейін (алланит- Y) (геттроортит), Sc_2O_3 , ThO_2 , кейде BeO – 3,8 %-ке дейін анықталады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі ромбпризмалық L^2PC . **Кристалдарының келбеті** қалың тақталанған (304-сурет), кейде сырықшаланған. Көбінесе сеппе түйірлер, кейде тұтас түрде кездеседі.



304-сурет. Алланит кристалдары

Түсі. Ортит қошқыл, шайыр-қара, кейде сары болады. Мөлдір немесе беймөлдір. **Жылтырлығы** шыныша (шайырша), майша. $N_g=1,66-1,80$; $N_m=1,65-1,78$; $N_p=1,64-1,77$.

Қаттылығы 6. Морт. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ. Омырылымы ұлушаға жақын. **Мен. салмағы** 4,1 (өзгерген түрлестерінде 2,7-ге дейін төмендейді). Радиобелсенділікке ие.

Диагноздаушы белгілері. Қара немесе қошқыл түсі, шайырша жылтырлығы және бейтегіс немесе ұлуша омырылымы бойынша жорамалдауға болады.

Әдетте HCl қышқылында кремнийтотық тұнбасын бөліп ыдырайды, бірақ қыздырғаннан кейін қышқылдарда ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Ортит сеппелер түрінде негізінен қышқылды интрузиялық магмалық таужыныстарда: гранитте, сиенитте, сондай-ақ пегматиттерде, кейде гнейсте, сирек кристалды тақтатастарда кездеседі. Эффузиялық магмалық таужыныстар мен жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда да (кристалды әктас арасында) байқалған.

Радиобелсенді минералдардың көпшілігі сияқты өзгерістерге ұшырауға қабілетті болғандықтан, суға байыған изотроп немесе изотроп дерлік затқа айналады.

Ол оралортит деген атаумен *Ильмен* тауларындағы пегматит желілерінде бұрыс пішінді кристалдар түрінде және қызғылтым далашпат кристалдары арасында цирконмен, кейде корундпен, қара слюдамен және басқалармен бірлестікте сипатталған. Академик Н.И. Кокшаров жақтары көп кристалдар түрінде багратионит деген атаумен сипаттаған (304-суретті оң жағындағы). Россия аумағында Солтүстік Карелияның *Чурино-Лоух* слюдалы ауданында керамика типті гранит пегматиттерінде кең таралған. Титанитпен, эпидотпен және калишпатпен бірге десиликатталған пегматиттерде Слюдянка ауданындағы (Прибайкалье) *Зильберминцев* кенішінде белгілі.

Шетел жерлерінде ең белгілілерге Скандинавия, кенорындары жатады, мұнда ол Арендаль маңындағы магнетит кенорындарында, *Крагере* кенорнында (Норвегия), *Фалук* маңында (Швеция) кездеседі.

б. Сақина анион радикалдары бар силикаттар

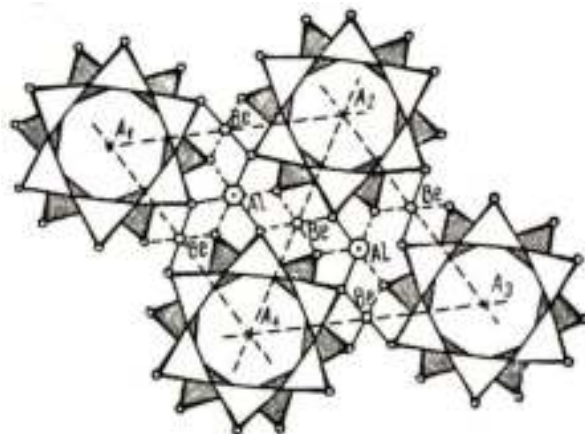
Силикаттар туралы тараудың кіріспесінде айтылып кеткендей, кристалдық құрылымның бұл типі айрықша сипаттарымен айрықшалаынады: кристалдық құрылымдарында сақинаға байланысқан SiO_4 тетраэдрлерінің оқшауланған топтары болады, яғни комплексті $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$, $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ және басқа радикалдарымен сипатталады.

Мұнда, алтылық сақиналық радикалдары анықталған минералдардан басқа және де эвдиалит сипатталған, оның құрамында үштік және тоғыздық сақиналар бар. Мыс силикаты диоптаздан кейін, мұнда біз мыс силикатының колломорфты түрлесі хризоколланы сипаттаймыз.

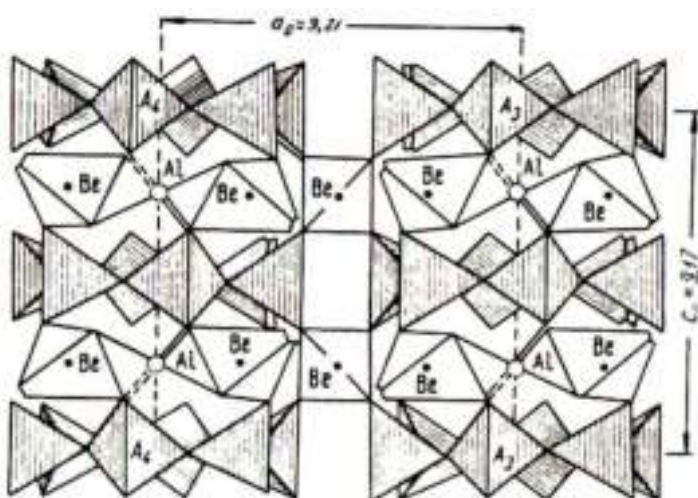
БЕРИЛЛ – $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$. Жер қыртысында бериллийұстамды минералдар арасындағы саны бойынша ең көп таралған минерал.

Химиялық құрамы, %: BeO – 14,1; Al_2O_3 – 19,0; SiO_2 – 66,9. Қоспалар түрінде анықталған сілтілер (7 % шамасына дейін): Na_2O , K_2O , Li_2O , кейде Rb_2O , Cs_2O (воробьевитте 3 % шамасына дейін). Құрамында цезийдің ірі катионы бар воробьевит формуласын былай жазуға болады: $\text{Cs}[\text{Be}_2\text{Li}]\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Кейде және де гелий мен H_2O болады (3 %-ке дейін). Алюминий скандиймен бериллдің скандий-доминант баламасы пайда болғанға дейін алмаса алады, оған *баццит* минерал түрі сәйкес келеді.

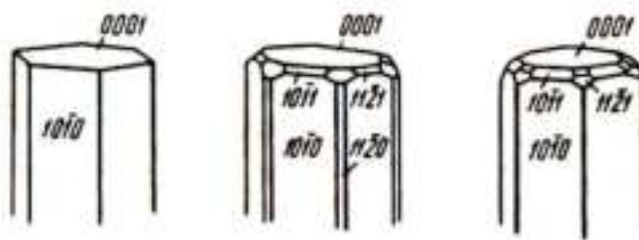
Сингониясы гексагондық; симметрия түрі дигексагондық-дипирамидалық L^66L^27PC . Кеңістіктік тобы $P6/mcc(D^2_{6d})$. $a_0=9,21$; $c_0=9,17$. **Кристалдық құрылымы** айрықша қызығушылық туындатады. Ол *305-суретте* (0001) жазықтығының проекциясына бейнеленген. Мұнда ромб бұрыштары бойынша екіден сақиналық радикал (бірінің астында бірі) көрсетілген, олар бір-біріне қатысты біршама бұрылған. Al мен Be иондары планда сақина радикалдар аралығында орналасады, бірақ олармен бір деңгейде емес, тік проекцияда (*306-сурет*) көрсетілгендей сақиналар қабаттары аралығында. Осылайша, кристалдық құрылыс тұтастай бүйірлік те, тік те байланыстармен байланысқан. Al иондары оттегі иондарының алтылық, ал Be иондары төрттік қоршауда орналасады. Be^{2+} иондары сақина радикалдарды ортақ берік тұғырға тығыз байланыстырады. Оған тәні, бірінің астына бірі орналасатын әр буындағы радикалдар сақинасы ішінде үлкен бос қуыстар болады. Өлшемдері бойынша мұндай иондар кейде берилл құрамында болатын Na^{1+} , K^{1+} және Cs^{1+} , сондай-ақ H_2O сияқтылар дәл осы бос қуыстарда орналасады. **Кристалдарының келбеті.** Берилл кристалдары бағана немесе призма болады және әдетте жақсы жаралады (*307-сурет*). Әдетте, призма $\{10\bar{1}0\}$ және пинакоид $\{0001\}$ дамыған. Өлдеқайда төмен дәрежеде дипирамидалардың $(11\bar{2}1)$, $(10\bar{1}1)$ және призманың $(11\bar{2}0)$ жақтарынан тұрады. Призма жақтары жиі тік айғыздармен көмкерілген. Қосақтары анықталмаған; дәлірек айтқанда дарактарының кейде байқалатын заңдылық кірікпелері зерделенбеген. **Агрегаттары.** Әдетте жекелеген сеппе кристалдар түрінде, кейде олар друзаға бірігіп кездеседі. Кейде тұтас массаларының сырықша агрегаттары анықталады.



305-сурет. Берилл кристалдық құрылымының (0001) жазықтығына проекциясы



306-сурет. Берилл кристалдық құрылымының тік проекциясы



307-сурет. Берилл кристалдары

Түсі. Көбінесе берилл жасылтым ақ, сары, сарғыш-жасыл, көкшіл, ашық-жасыл, кейде қызғылт түске боялады. Боялу себептері жеткіліксіз зерделенген. Түссіз, мөлдір түрлестері де кездеседі. Бояуы бойынша мынадай түрлестері ажыратылады: 1) *изумруд (зубаржат)* – жағымды ашық-жасыл түске қанық боялған (осыған байланысты әдетте изумруд-жасыл деген бояу атауы қолданылады); оның жарықшақтары жоқ мөлдір даналары асыл тас ретінде жоғары бағаланады; бояуы өте мардымсыз мөлшерде хром және кейде ванадий болуына байланысты; аквамарин (сутас) – көкшіл-аспан көк түсті мөлдір түрлесі; атауы латынша *aqua* – су және *mare* – теңіз дегеннен шыққан; 3) *воробьевит* – қызғылт түсті түрлесі (құрамында цезий бар) ; орыс

минералогы В.И. Воробьевтің құрметіне аталған; 4) *гелиодор* – сары мөлдір түрлесі (құрамында шамалы мөлшерде темір окисі бар). **Жылтырлығы** шыныша. $Nm=1,568-1,602$; $Np=1,564-1,595$.

Қаттылығы 7,5–8. Морт. **Жіктілігі** {1010} призма және пинакоид {0001} бойынша жетілмеген. Омырылымы бейтегіс, көбінесе ұлуша. **Мен. салмағы** 2,63–2,91.

Диагноздаушы белгілері. Берилл кристалдарының келбеті және жоғары қаттылығы бойынша біршама оңай танылып, пішіні бойынша өзіне ұқсас басқа бағана тәрізді гексагондық сингониялы минералдардан ажыратылады. Хризобериллмен және фенакитпен салыстырғанда оның меншікті салмағы және оптикалық қасиеттері өзгеше болады.

Мөлдір түрлестері жоғары температурада лайланады. Қышқылдарда ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Берилл көбінесе қышқылды интрузиялық таужыныстар арасындағы *пегматит* желілерінде немесе қапталдас таужыныстардағы пегматиттермен генетикалық байланысты реакциялық-метасоматоздық жаралымдар арасында кездеседі. Сондай-ақ пневматолиттік процестермен өзгерген гранитте – *грейзенде*, кейде граниттің өзінің арасындағы бос қуыстарда құрамында ұшпа компоненттер бар минералдармен парагенезисте байқалады.

Онымен бірлестікте далашпаттардан, слюдалардан және кварцтан басқа жиі байқалатындар: топаз, турмалин, флюорит, кейде фенакит, хризоберилл, вольфрамит, касситерит, сульфидтер (арсенопирит, молибденит) және басқалар.

Химиялық төзімді минерал ретінде түбірлік кенорындар мұрағат және шайылған кезде шашылымдарға өтеді де, жұмырланған кристалдар немесе тасмалталар түрінде кездеседі. Айта кететіні, кейде кристалл жақтарында таптау фигуралары байқалған. Және де бериллдің каолинитпен алмасқан жағдайлары белгілі (гидротермалық процестер кезінде болатыны көрінеді).

Біздің елімізде ежелден кең белгілі болғаны *Изумруд кеніштері* (Ортаңғы Орал), *Тигерецкие белки* (Алтай) және басқалар. Аквамарин кенорындарынан Забайкальедегілерді: *Шерлова гора*, *Адун-чилон*, *Борщовочный кряж* және басқаларды атаймыз.

Берилл кенорындары сондай-ақ АҚШ, Колумбия, Бразилия, Индия және Оңтүстік Африка (Трансвааль) елдерінде белгілі.

АҚШ-тағы берилл кенорындары ішіндегі белгілілері: *Олбани* (Мен штаты), мұнда алып өлшемді (ұзындығы 5 м-ге дейін, ал көлденеңі 1,5 м) және салмағы 16 т-ға дейінгі кристалдары анықталған; *Брэнчвилл* (Коннектикут) және басқа жерлер. Ауғанстанның солтүстігіндегі *Кулама* кенорнында пегматит желілерінің қуыстарында жоғары сапалы аквамарин белгілі. Колумбияның (Оңтүстік Америка) *Мусо* төңірегінде изумрудтың ірі кенорны өндіріледі, мұнда кристалдар көмірлі және битумды затқа бай әктаста кездеседі және олар пегматит желілерімен байланысты. Онымен бірлестікте мұнда кварц, кальцит, пирит, паризит және бірқатар басқа

минералдар байқалады. Пегматиттерде изумруд Пакистандағы *Мингора* кенорнында анықталған.

Практикалық мәні. Әсем түсті мөлдір изумруд пен аквамарин түрлестері ежелден зергерлік істе қолданылады.

Берилл рудалары өнеркәсіптік бериллийдің – ең жеңіл металдардың бірінің (мен. салмағы алюминийден 1,5 есе аз) көзі ретінде қызықтырады. Ол алюминиймен және магниймен жеңіл берік қорытпалар жасап, ұшақтар жасау үшін айрықша маңызды болады. Одан басқа, бериллийдің басқа металдармен практикалық жағынан өте маңызды қорытпалары алынған (бериллийлі қола). Бериллий тұздары өнеркәсіп пен медицинаның әр түрлі салаларында қолдану табады.

КОРДИЕРИТ – $Al_3(Mg,Fe)_2[Si_5AlO_{18}]$. Синонимдері: иолит (грекше *иол* – фиалка-шегіргүл), дихроит (грекше *дихрос* – екі түсті, мұнда оның дихроизмі айтылады). Алғаш оны акад. Н.И. Кокшаров 1856 жылы Оралда ашқан).

Химиялық құрамы. MgO мен FeO мөлшері кең ауқымда өзгереді. Құрамында FeO басым болатын түрлестері кездеседі – олар *секанинаит* минералы түріне жатады. Сондай-ақ CaO, Na₂O және H₂O қоспалары да анықталады. Өзгермеген түрлестерінде Fe₂O₃ анықталмайды.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $C_{2v}(D_{2h}^{20})$. $a_0=17,03$; $b_0=9,67$; $c_0=9,35$. **Кристалдық құрылымы** берилл құрылымына ұқсас, одан айырмашылығы, мұнда бериллий иондарының орнын алюминий иондары басады. Анион радикалында бір Si⁴⁺ ионы Al³⁺ ионымен алмасқан, ол катиондар арасындағы артық зарядты өтемелеу қажеттігіне байланысты (формуланы қараңыз). Осылайша, кордиерит сақиналы алюмосиликатқа жатады. Элементар ұяшығы жалған гексагондық пішінге ие. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары сирек байқалады және көпшілік бөлігінде қосақтану салдарынан (арагонитке ұқсас) жалған гексагондық келбетке ие, айқын жаралмаған призма пішінді болады (*308-сурет*). Тұтас массаларда немесе бұрыс пішінді сеппе кристалдар түрінде әлдеқайда кең таралған.



308-сурет. Кордиерит кристалы

Түсі. Кордиерит түссіз немесе көбінесе көк және күлгін, кейде сарғыш ақ немесе қошқыл түсті (тотыққан түрлестеріне тән) реңдеріне боялған. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,541$; $N_m=1,539$; $N_n=1,534$.

Қаттылығы 7–7,5. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша орташа және {100} бен {001} бойынша жетілмеген. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 2,60–2,66.

Диагноздаушы белгілері. Кордиериттің сыртқы түрі кварцқа өте ұқсас болғанымен, оған ұлуша омырылым, бояуының көкшіл реңі, шыныша жылтырлық тән. Оны сапфирден төмендеу қаттылығы бойынша ажыратуға болады. Кварцтан оптикалық қасиеттері бойынша дәл ажыратыла алады (екіюстілік, кірінділер төңірегінде лимон-сары плеохроизм аулашығының болуы).

Қышқылдарда ыдырамайды. Азотқышқылды кобальтпен Al-ге реакция береді.

Жаралуы және кенорындары. Кордиерит көбінесе гнейстерде, кристалды тақтатастарда және өзгерген магмалық таужыныстарда магнийлі және алюмототықты минералдармен (энстатитпен, ромбылық амфиболдармен, альмандинмен, биотитпен, силлиманитпен, негізді плагиоклаздармен, талькпен және басқалармен) бірлестікте кездеседі. одан басқа, кордиерит лавада кездеседі, мұнда оның құрамында жанартау шынысының кірінділері болады. Бұл жағдай оның жоғары температурада жаралатындығын көрсетеді. Оған және де жоғары қысым жағдайында жаралу тән, мәселен оның тагалитте – импактілік метаморфизмнің балқыған өнімінде (ірі метеориттер құлаған кезде) болуы осыны көрсетеді. Тасмалта түрінде шашылымдарда кездеседі.

Кордиерит өте жиі шала ыдыраған күйде табылады; мұнда оның құрамында негізіне параллель парақша құрылыс және інжуше құлпыру білінеді. Гидротермалық процестер үстіленгенде кордиериттен тальк, жұқа парақшаланған слюда агрегаттары, хлориттер және басқалар оңай жаралады.

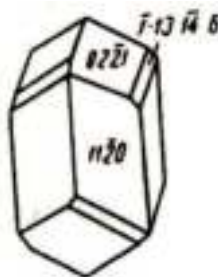
Россияда *Мурзинка* төңірегінде (*Маслянка* деревнясы), Забайкальеле (*Ципикан* ауданы) және басқа жерлерде сипатталған.

ДИОПТАЗ – $\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ немесе $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Атауы грекше *диа* – өтетін, арғы жағын көретін, *оптазия* – көру дегеннен; Олай деудің себебі – минерал жіктілігі көбінесе кристалдың арғы жағынан көрініп тұруы салдарынан. Синонимі: аширит. Біршама сирек минерал, мыс кенорындарында кездеседі.

Химиялық құрамы, %: CuO – 50,5; SiO₂ – 38,1; H₂O – 11,4. Әдетте қоспалары жоқ. Шамалы мөлшерде (0,2 % шамасында) Fe₂O₃ анықталады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі ромбоэдрлік L^3_6C . Кеңістіктік тобы $R3(C^2_{3i})$. $a_0=14,61$; $c_0=7,8$. **Кристалдық құрылымын** Н.В. Белов зерделеп, комплексті анионның алты мүшесі $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ сақиналар түрінде болатынын анықтаған. Су молекулалары сақиналар каналында орналасады.

Кристалдарының келбеті. Кристалдары әдетте қысқа үшкірленген бағанашалар түріне ие (*309-сурет*). Кейде ромбоэдр келбетті кристалдары кездеседі. Жарықшақтарда және бұрыс пішінді қуыстарда кристалдар дразасы жиі болады.



309-сурет. Диоптаз кристалы

Түсі изумруд-жасыл. **Сызық түсі** жасыл. **Жылтырлығы** шыныша. Мөлдір немесе жарық өткізеді. $N_g=1,697$ және $N_m=1,644$.

Қаттылығы 5. Морт. **Жіктілігі** ромбоэдр $\{1011\}$ бойынша жетік. **Мен. салмағы** 3,28–3,35.

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының келбеті, изумруд-жасыл түсі және біршама жоғары қаттылығы тән.

HCl және HNO_3 қышқылдарында кремнийоттық тұнбасын бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Диоптаз минералдар парагенезисі бойынша мыс кенорындарының мору порцесінде жаралатыны көрінеді. Онымен бірлестікте малахит, кальцит, кейде вульфенит, гемиморфит және басқалар сияқты минералдар кездеседі.

Химиялық төзімді әрі қатты минерал ретінде алтынды шашылымдарда кездескен.

Ең белгілісі *Алтын-төбе* кенорны (Орталық Қазақстанда), мұнда диоптаздың өте ірі кристалдары әктас арасындағы жарықшақтарда кездескен. Осы жерден 1780 жылы қазақ саудагері Әшір диоптаз кристалдарын әкеліп тұрған. Бұл кристалдар ұзақ уақыт бойы изумруд деп есептеліп келген, кейінірек ол аширит деп аталса, ал содан кейін диоптаз аталған.

Шетел кенорындарынан *Ниари* өзені алабындағы, *Шаба* ауданындағы (Конго), *Цумеба* (Намибия), *Копуано* (Атакама, Чили) және басқа жерлердегі диоптаз табылымдарын айтамыз.

ХРИЗОКОЛЛА – $(Cu,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$; n шамамен 4. Атауы грекше *хризос* – алтын, *колла* – желім дегеннен.

Химиялық құрамы өзгермелі. Көбінесе болатын қоспалары, %: Al_2O_3 (пиларит) 17; Fe_2O_3 7; P_2O_3 (деמידовит) 7–9.

Сингониясы моноклиндік. Әдетте хризоколла нағыз коллоид болып табылады. Опал тәрізді массаларда сауыс, кейде көпіршік беті қабыршақтар түрінде кездеседі.

Түсі көк, көкшіл-жасыл немесе көкшіл, қошқыл (темір гидроокисел қоспалары болуынан) және қара. **Сызығы** тазалау түрлестерінде жасылтым ақ. **Жылтырлығы** опал тәрізді түрлестерінде шыныша жылтыр, шайырша, күңгірт.

Қаттылығы 2 шамасында, кейде 4. Морт. Омырылымы бейтегіс, ұлуша. **Мен. салмағы** 2–2,3. суының бір бөлігі $100^{\circ}C$ -қа дейін қыздырғанда кетсе, қалған бөлігі жоғарылау температурада кетеді.

Диагноздаушы белгілері. Колломорфты массалары көгілдір-жасыл реңі және біршама төмен қаттылығы бойынша танылады.

Қышқылдарда ыдырайды да ұнтақ күйдегі кремнийоттық бөледі.

Жаралуы және кенорындары. Хризоколла мыс кенорындары тотығу белдемдерінің нағыз минералы және құрғақ ыстық климатты аудандарда басым таралған.

Онымен бірлестікте мыстың сан түрлі оттек қосылыстары кездеседі. Хризоколланың малахит, азурит, атакамит, либетенит, церуссит, кальцит және тағы басқалар бойынша псевдоморфозалары байқалған. Сондай-ақ суы аздау мыс силикаттарына (планшеитке) біртіндеп өтуі анықталған.

Ескі тастады кеніштердің кен үңгімелері қабырғаларында бейтарап реакциялы ерітінділерден жаралады.

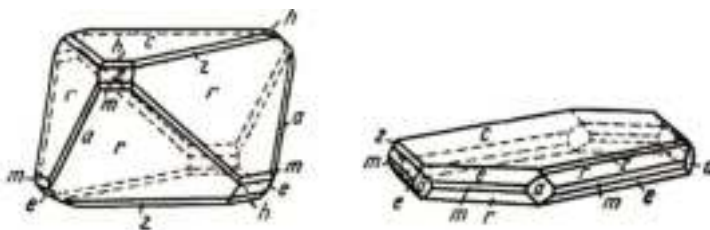
Хризоколла кездескен кенорындар аса көп санды. Оралда ол *Тура кеніштерінде*, *Меднорудьянскде* (демидовит) сипатталған. Орталық Қазақстанда хризоколла *Жезқазған* мыс кенорнында, сондай-ақ *Көктас-Жартаста*, *Өспен* кенішінде және басқа жерлерде кездеседі.

Шетел кенорындарынан ең белгілі жаралымдары Чилиде, АҚШ-тың батыс штаттарында, Африкада (Конго) және басқа жерлерде белгілі.

ЭВДИАЛИТ – $\text{Na}_4(\text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Y})(\text{Zr}, \text{Nb})[\text{Si}_3\text{O}_9][\text{Si}_9(\text{O}, \text{OH})_{27}]\text{Cl}$.
Формуласы жуық. Атауы грекше *эв* – оңай, *диаметос* – ыдырайтын дегеннен (оның дәнекерлеуші түтік алдында және қышқылдарда оңай ыдырайтындығына байланысты). *Эвколит* – FeO-ға мол түрлесі.

Химиялық құрамы, %: N_2O 11,6–17,3; CaO 8,9–11,3; ZrO_2 12,0–14,5; $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y})_2\text{O}_3$ 0,3–2,9; FeO 3,1–7,1; MnO 0,3–3,1; SiO_2 47,2–51,2; H_2O 0,03–2,9; Cl 0,7–1,6.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригондық-скаленоэдрлік $L^3_63L^2PC$. Кеңістіктік тобы $R\bar{3}m(D^5_{3d})$. $a_0=13,01$ (ромбоэдрлік ұяшық үшін).
Кристалдық құрылымы төтенше күрделі болып табылады, дегенмен формуланың өзінен де оңай көретініміздей, құрылымында кремнийоттек тетраэдрлерінен тұратын сақиналардың екі типі болады: үштік және тоғыздық. **Кристалдарының келбеті** қалың тақташа, қалақша, кейде призмалық (*310-сурет*). Ең басты пішіндері: пинакоид $\{0001\}$, ромбоэдрлер $\{10\bar{1}1\}$, $\{11\bar{2}0\}$, призмалар $\{10\bar{1}0\}$, $\{11\bar{2}0\}$ және басқа. Сондай-ақ бұрыс пішінді түйірлер, кейде тұтас желі тәрізді массалар түрінде де байқалады



310-сурет. Эвколит пен эвдиалит кристалдары: $r\{1011\}$, $c\{0001\}$, $m\{1010\}$, $d\{1120\}$, $z\{1014\}$, $e\{0012\}$

Түсі. Эвдиалит қызғылт, қызғылт-қызыл әр түрлі реңді, қызғылттым-қошқыл, қошқыл, сары-қошқыл және ашық-сары болады. **Жылтырлығы**

шыныша. Эвдиалит үшін: $Ng=1,610$; $Nm=1,608$. Эвколит үшін: $Nm=1,620$ және $Np=1,618$.

Қаттылығы 5–5,5. Морт. **Жіктілігі** {0001} бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 2,84–2,98 (эвдиалиттен эвколитке қарай артады).

Диагноздаушы белгілері. Эвдиалитке әдетте қызғылт немесе қызыл (таңқурай түсті) әр түрлі реңді түс тән, солар бойынша оның сілтілі магмалық таужыныстар арасында бар екенін оңай жорамалдауға болады, әсіресе цирконұстамды силикаттармен бірлестікте. Мөлдір шлифтерде ол оптикалық қасиеттері бойынша: плеохроизмі және өте төмен қосынуы бойынша бірден танылады.

Қышқылдарда жылдам ыдырайды. HCl қышқылындағы ерітіндісі Zr-ге реакция береді (куркум қағазының жирен түсі).

Жаралуы және кенорындары. Тек қана *магмалық* сілтілі таужыныстар (нефелинді сиенит) арасында және олардың арасындағы пегматит жаралымдарында нефелинмен, далашпаттармен, эгиринмен және басқалармен бірлестікте кездеседі. Құрамында эвдиалит өте кең таралған таужыныстар да белгілі (мысалы, эвдиалитті луюврит), мұнда ол таужынысжасаушы минерал болып табылады. Россияда *Хибин* және *Ловозерск* (бұрынғы *Луявр-Урт*) сілтілі массивтерінде (Кола түбегі), сондай-ақ *Инаглин* (Алдан) және *Гулин* (Анабар үстірті, Орталық Сібірдің солтүстігінде), *Коргередаб* сілтілі массивінде (Тыва Республикасы, Сібір) кең таралған.

Гидротермалық процестер үстіленген кезде эвдиалиттің оңай өзгерістерге ұшырайтыны көрінеді, өйткені оның орнында катаплеит жаралғаны байқалған. Ал кейде цирконның ұсақ пирамида кристалшалары эвдиалиттің шала бүлінген массалары арасында цеолиттермен, флюоритпен және гидротермалық жаралымды басқа минералдармен бірлестікте байқалады.

Морыған кезде эвдиалиттен сілтілер мен кремнийтотық бөлініп шығады да олардың орнында қошқыл кеуек масса түрінде ZrO_2 мен Fe_2O_3 (гидроокиселдер формасында болатыны көрінеді) жинақталады.

Практикалық мәні. Эвдиалитке елеулі байыған сілтілі таужыныстар түрлестері циркон көзі ретіндегі эвдиалит концентратын алу үшін шикізат бола алады. Мұндай таужыныстардағы (эвдиалитті луювриттегі) эвдиалиттің орташа мөлшері 6–8 % шамасында, кейде (желілік түрлестерінде, какортокитте) 30 % және одан да көп болады, бірақ әлі осыған дейін оны байыту технологиясын іздеу проблемасы шешілген жоқ.

ТУРМАЛИН ТОБЫ – $XY_3Z_6(BO_3)_3[Si_6O_{18}](O,OH,F)$, мұндағы $X=Na, Ca, K$ және Cl ; $Y=Li, Mg, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Al, Ti$; $Z=Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+}, Cr, V^{3+}$. Формула осы топтың барлығына қатысты. Атауы сингалезше турмалин сөзінен шығады. Осы атаумен ол Голландияға 1703 жылы басқа асыл тастармен бірге Шри-Ланка (Цейлон) аралынан әкелінген.

Химиялық құрамы изоморфтық алмасулардың кең білінімі салдарынан тұрақсыз болады. Басты компоненттері мөлшерінің мынадай шектері байқалады, %: SiO_2 30–44; B_2O_3 8–12; Al_2O_3 18–44; $FeO+Fe_2O_3$ 0–38;

MgO 0–25; Na₂O 0–6; CaO 0–4; H₂O 1–4. Одан басқа, изоморфтық қоспалар түрінде мына элементтер анықталады: K (K₂O 2,5 % шамасында), Li (Li₂O 1,3 %), Mn²⁺ (MnO 3,5 %), Cr (Cr₂O₃ 10,7 %), сондай-ақ F (1,2 %) және Cl.

Негізгі (таралғандығы бойынша) минерал түрлері мынасымен сипатталады, мұнда X=Na, ал қалған катиондарында изоморфтық алмасулар болады:

ДРАВИТ – Y=Mg, Z=Al;

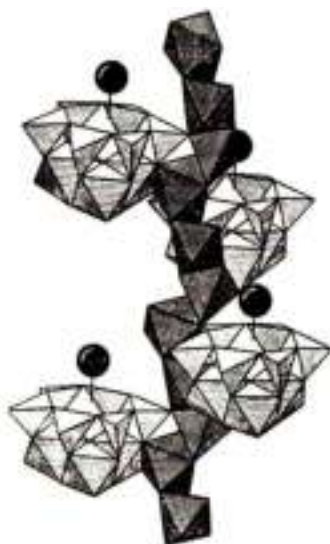
ШЕРЛ – Y=Fe²⁺, Z=Al;

ЭЛЬБАИТ – Y₃=Al_{1,5}Li_{1,5}, Z=Al.

Осы үш минерал түрінің Y және Z позицияларына жалпы формуладан кейін келтірілген элементтер атомының көпшілігі кіреді. Әдетте олар минералдық түрді өзгерту үшін аз мөлшерде болғанымен, бірақ бояуының әр түрлі қарқындылығын туындату үшін жеткілікті.

Дравит пен эльбаит аралығында араласқыштығының алшақтығы болады (үзіледі), ал қалған жұптар аралығында аталған түрлердің шексіз изоморфизмі болады.

Сингониясы тригондық; симметрия түрі дитригон-пирамидалық L³ЗР. Кеңістіктік тобы $R3m(C^5_{3v})$. $a_0=15,51-16,01$; $c_0=7,10-7,22$. Турмалиннің **кристалдық құрылымы** түбегейлі зерделенген және оның негізгі детальдары *311-суретте* жақсы көрінеді, мұнда тек VO₃-үшбұрыштары ғана көрсетілмеген. Бордың мұнда тетраэдрдегі кремнийді меңземеітінін, оның өзіне тән жеке координациясында дербес функция атқаратынын ескерсек, онда мынаны айтуға болады: турмалин тобы борсиликаттарға (алюмосиликаттардағы сияқты) емес, борат-силикаттарға жатқызылуы тиіс болады. Еркін дәрежесінің саны үлкен құрылымы турмалин тобының жоғары изоморфты сыйымдылығын қаматамасыз етіп, мұнда 15-тен аса минерал түрі бөлінген.

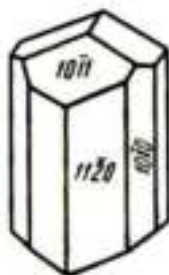


311-сурет. Турмалин тобы минералдарының кристалдық құрылымы

$XY_3Z_6(VO_3)_3[Si_6O_{18}](O,OH,F)_4$ тік бұранда осі төңірегінде Z-октаэдрлерден жалпақ Y-октаэдрлер үштігі қапталып, кремний-оттек сақиналарымен аяқталады, олардың үстінде X-катиондар «ілініп тұрады», үстіңгі жағында жоғары жатқан Y-октаэдрлер үштігінің төменгі оттекттерімен координацияланады. Ыңғайлы болу үшін Y-октаэдрлері әр біреуден кейін көрсетілген (тік бағыт бойынша).

Айта кететіні, түрлерінің атауын абайлап қолдану керек және оларды түсі бойынша түрлестерімен шатастыруға болмайды. Өйткені жасыл түсті верделит, мысалға, эльбаит те, хромдравит те бола алады.

Кристалдарының келбеті. Турмалин кристалдары әдетте бағанаша келбетке ие және симметриясының үштік осі бойымен созылған. Қысқа призма кристалдары сирек кездеседі. Әдетте, кристалдары шағын, көбінесе микроскоптыққа ұсақ, бірақ кейде ірі даналары да кездесіп, ұзындығы 20 см-ден асады, ал көлденеңі бірнеше сантиметрге жетеді. Пішіндерінің ең жиі кездесетіні: призмалар $\{10\bar{1}0\}$ және $\{11\bar{2}0\}$, тригондық пирамидалар $\{10\bar{1}1\}$, $\{02\bar{2}1\}$ және басқалар (312-сурет). Барлығы 180 шамасында қарапайым пішіндер анықталған. Көбінесе кристалдарының шеттері бірдей дамыған. Призма жақтарында турмалин үшін аса тән тік айғыздалу өте жиі байқалады. Және оған тән призма белдеуі көптеген жақтарының комбинациясына байланысты болатын көлденең қимасындағы сфералық үшбұрыштар пішінінің де мәні аз емес (313-сурет). Қосақтары өте сирек, $(10\bar{1}1)$ бойынша. **Агрегаттары.** Турмалиндер көбінесе сырықша, радиал-сәуле (турмалин Күні деп аталатын түрде), шатасқан-ине тәрізді немесе талшық агрегаттар түрінде байқалады. Кейде тұтас түйірлі, сирек жабық кристалды массаларда кездеседі.



312-сурет. Турмалиннің призма кристалы



313-сурет. Турмалин кристалының айғыздауы және көлденең қимасының пішіні

Түсі. Турмалин тобы минералдарының түсі оның химиялық құрамына байланысты. Құрамында темір жоқ немесе ол мардымсыз болатын эльбаит жасыл, қызғылт, қызыл түстің әр түрлі реңдеріне боялған. Ол әдетте MgO мен FeO-ға жұтаң, бірақ көбінесе Li_2O мен Al_2O_3 мол. Қызғылт түсі Mn, Li және Cs болуына байланысты. Күңгірт-қызыл эльбаит рубеллит деген атауға ие. Дравит көбінесе қошқыл және жасыл бояуға ие болады. Шерл іс жүзінде әрдайым қара түсті, бірақ изоморфтық қатар бойынша эльбаит қатарына қарай

жылжу барысында біршама мөлдірлеу және көкшіл (индиголит) тартады. Кейде тіпті түссіз, мөлдір эльбаит түрлестері байқалады. Ал кейде кристалдарының шеттері қандай да бір басқа түске боялады; мысалы, Эльба аралының түссіз кристалдары қанық қара түсті болады. Одан басқа, кристалл-зоналық бояулы түрлестері кездеседі. Мысалы, көлденең омырылымында ядросы қызыл түсті болса, ал шетінде бір немесе бірнеше күрт білінетін полигонды зоналары жасыл немесе қандай да бір басқа түстің әр түрлі реңдеріне боялған болады. **Жылтырлығы** шыныша. Дравит үшін: $Nm=1,635$ және $Np=1,614$. Шерл үшін: $Nm=1,698$ және $Np=1,658$.

Қаттылығы 7–7,5. *C* осі перпендикуляр бағытта параллель бағытына қарағанда жоғарылау. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ немесе призма $\{11\bar{2}0\}$ және пирамида $\{10\bar{1}1\}$ бойынша аса жетілмеген, әдетте $\{0001\}$ бойынша дербестік тән. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** 2,9–3,25.

Басқа қасиеттері. Қыздырған, үйкеген, сыққан кезде электрленеді, мұнда кристалдың бір шеті оң зарядталса, екіншісі – теріс зарядталады.

Диагноздаушы белгілері. Турмалин кристалдары өзіне тән көлденең қимасы (сфералық үшбұрыштар түрінде), көбінесе тік айғыздау күшті білінімді және жоғары қаттылығы бойынша оңай танылады. Сырттай өзіне ұқсас көптеген пироксендер мен амфиболдардан, сондай-ақ эпидоттан жіктілігінің болмауымен және жоғары қаттылығымен ажыратылады. Рутилден қаттылығы, сызығы және көлденең қимасының пішіні бойынша ажыратылады.

Турмалиндердің барлығы CaF_2 мен KHSO_4 қоспасында борға реакция береді (жалынды жасылға бояйды). Қышқылдарда ыдырамайды.

Жаралуы және кенорындары. Турмалиндер құрамында ұшпа және сирек компоненттер бар басқа минералдармен бірлестікте біршама жиі кездеседі. *Пегматиттерде* құрамында литий, цезий, рубидий және басқа сирек элементтер бар минералдармен бірлестікте кездеседі, оның қызғылт, қызыл (рубеллит) және полихромды тэльбаит табылымдары әдетті. Көк түсті шерл-эльбаит (индиголит) және жасыл бояулы эльбаит (верделит), А.И. Гинзбург бойынша танталниобийлі және қалайлы кенденуге байланысты альбитизацияға ұшыраған пегматиттерде кең таралған.

Көбінесе олар *гидротермалық* руда кенорындарында, сондай-ақ өзгерген әр түрлі таужыныстарда, соның ішінде кристалды тақтатастарда, гнейсте, филлитте, яғни пневматолит агенттерінің әрекетіне ұшыраған таужыныстарда байқалады.

Микроскоптық кристалшалар түрінде және де кейбір граниттерде және жапсарлық ореолдарда негізінен кварцпен, кейде топазбен, касситеритпен және басқа минералдармен бірлестікте, әсіресе *грейзендерде* байқалады.

Таужыныстар морыған кезде ол өзін химиялық төзімді минерал ретінде ұстайды және қалдық өнім ретінде шашылымдарға түседі. Көптеген шөгінді таужыныстарда да анықталады. Турмалин кристалдары бетінде кейде байқалатын жемірілу пішіндері өзінің жаралуымен гидротермалық процестерге борышты болуы ықтимал.

Құрамында біршама мөлшерде турмалин кездесетін кенорындар аса көп санды. Оларда ең көп таралғаны – қара турмалиндер. Олардың ішінде минералогиялық көзқарастан ең көп қызығушылыққа ие болатын кенорындарды ғана атаймыз.

Белгілі даңққа *Шайтанка*, *Музинка*, *Южаковка*, *Сарапулка* және *Липовка* (Оралда, Екатеринбургтен солтүстік-шығысқа қарай) пегматит желілері кенорындары ие болады. Мұнда әр түрлі түсті полихромды турмалин кездеседі, кейде сәуле-сырықша кірікпелерде болады. Әсіресе тамашасы Сарапулканың қызыл турмалині. Таңқурай түсті және полихромды эльбаиттің әсем кристалдары лепидолитпен бірге *Борщовочный* кряждың (Забайкалье) солтүстік беткейінде табылған. Оралда *Нижне-Исеть* ауданында, *Шабра* деревнясы маңында хромды теміртас жатындары арасындағы жарықшақтарда және олардың талькті тақтатастармен шекарасында күңгірт-жасылдан қара түстіге дейінгі хромды турмалин кристалдарының біршама ірі (ұзындығы бірнеше сантиметрге дейін және көлденеңі 1 см-дей) кристалдары анықталған.

Шетел кенорындарынан тек кейбіреулерін ғана атаймыз. Ең белгілісі *Мадагаскар* аралы пегматит желілеріндегі бояуы мен өлшемдері бойынша керемет турмалин кристалдары. Әр түрлі түске әсем боялған (қызыл, қызғылт, жасыл, көк, күлгін және басқа) турмалин *Сан-Диего* пегматиттері арасында және Калифорнияның басқа жерлерінде кездеседі. Қоңыр түсті дравиттің тамаша жаралған кристалдары слюдалы тақтатаста *Йиннитара* ауданында кездеседі (Батыс Австралия). *Шри-Ланка* (Цейлон) аралы шашылымдарынан қанық боялған турмалиннің мөлдір кристалдары ежелден өндірілген және асыл тастар ретінде Еуропаға тасылған. Оның бір бөлігі сирек кездесетін көк турмалин (индиголит) болып табылады. *Минас-Жейрас* штаты кенорындары (Бразилия) түрлі бояулы, соның ішінде полихромды жоғары сапалы эльбаитке бай.

Практикалық мәні. Әсем боялған мөлдір эльбаит пен хромдравит түрлестері зергерлік кәсіпте ұсақ бұйымдар жасау үшін қолданылады. Пьезоэлектрлік қасиеттерге ие ірі кристалдары радиотехникада қолданылып, олардан толқынбергіштердің толқындар ұзындығын тұрақтандырғыш ретінде қызмет атқаратын қалақшалар даярланады.

В КЛАСШАСЫ. Кристалл құрылымдарында SiO_4 тетраэдрлері үзіліссіз тізбекті немесе таспалы силикаттар

Бұл класша силикаттарының ең басты өкілдеріне пироксендер мен амфиболдар жатады, олар нағыз метасиликаттар саналады. Құрамдас компоненттері сандық қатынастарының елеулі айырмашылығына қарамай, бұл минералдар бірқатар ортақ өзіндік сыртқы сипаттарға ие: кристалдар келбетінің ұқсастығы, жақын кристалдық құрылымы, жіктілік білінімінің бірдей дәрежесі, жақын қаттылығы және т.б. Пироксендер мен амфиболдар катионы арасында негізінен мынадай элементтер болады: Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} ,

Na^{1+} , кейде Li^{1+} , сондай-ақ Al^{3+} , Fe^{3+} , ал аниондар аарсында: $[\text{SiO}_4]^{4-}$, кейде $[\text{AlO}_4]^{5-}$, сондай-ақ $[\text{OH}]^{1-}$, F^{1-} және Cl^{1-} (амфиболдарда).

Табиғатта ең көп таралғаны темірмагнийлі пироксендер мен амфиболдар. Олар көптеген магмалық таужыныстарда ең маңызды таужынысжасаушы минералдар болып табылады. Олардың салмағы бойынша жер қыртысындағы жалпы мөлшері 16 % шамасына жетеді.

Темірмагнийлі таужынысжасаушы ортосиликаттардан (оливин тобы минералдарынан) пироксендер мен амфиболдар мынадай химиялық ерекшеліктерімен айрықшалаынады:

1) SiO_2 мөлшері көп болады (егер SiO_2 жеткіліксіз болса, балқымаларда оливин жаралады);

2) Mg мен Fe-нен басқа аса елеулі рөлді Ca атқарады (ортосиликаттарда оның рөлі тіпті мардымсыз), осыған сәйкес оларда қосарланған қосылыстар кең таралған (диопсид, тремолит және басқалар);

3) көптеген пироксендер мен амфиболдар, әсіресе қосарланған қосылыстардан тұратындарының құрамында көбінесе Al_2O_3 , Na_2O , кейде Fe_2O_3 және басқалар болады (ортосиликаттар біршама таза құрамымен сипатталады).

Мұнда сипатталатын минералдардың физикалық қасиеттері олардың кристалдық құрылымымен толық сәйкестікте болады. Бұл құрылым бірақ ортосиликаттар құрылымынан аса елеулі айрықшалаынады, өйткені мұнда бір бағытта созылған (*c* осі бойынша) аниондар комплексі бір-бірімен кремнийоттек тетраэдрлерінің үзіліссіз байланысуы орын алады. Бұл класша минералдарының ең басты ерекшеліктері мынаған саяды.

1. Кристалл дарақтары әдетте бір бағытта созылған (оливин тобының минералдары изометрлі келбетке ие). Бұл мынадай байланысты, Si–O–Si байланысы полюссіздеу сипатты болуы салдарынан оттек пен металдар катионы Ca^{2+} және Mg^{2+} негізінен иондық байланысына қарағанда беріктеу, олар тізбектер аралығында орналасады және заряды шамалы болады; дәл сондықтан кристалдың *c* осі бойынша ыдырауы тізбектердің өзінің үзілуіне қарағанда әлдеқайда оңай жүреді.

2. Ортосиликаттармен салыстырғанда мұнда жіктілік күрттеу білінеді, оған тәні жіктілік призма бойынша дарақтар созылуына сай анықталады.

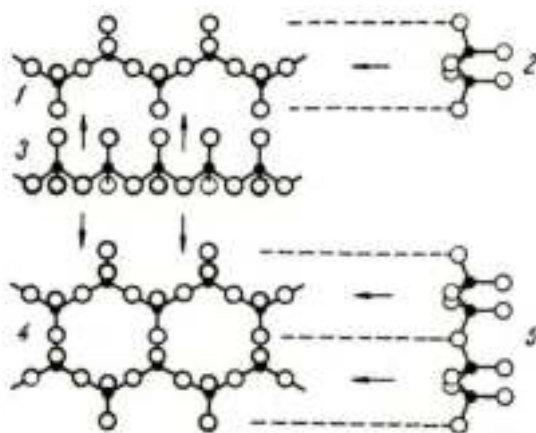
3. Сыну және қосыну көрсеткіштері оливин тобы минералдарымен салыстырғанда әдетте төмен.

4. Пироксендер мен амфиболдардың меншікті салмағы иондарының біршама төмендеу тығыз жайласуына байланысты, оливин тобындағы тиісті минералдарға қарағанда аздау.

Пироксендер мен амфиболдар ұқсастығымен қатар бір-бірінен кейбір ерекшеліктері бойынша елеулі айрықшалаынады. Олардың ең маңыздыларын атайық.

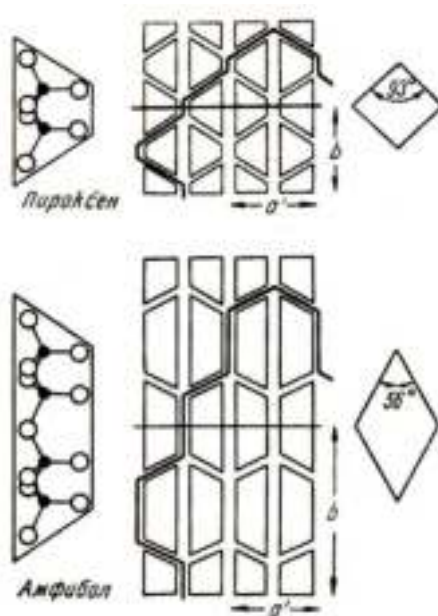
А. Көрсетілгендей, рентгенметрлік зерттеулерге сай пироксендердің кристалдық құрылымында анион радикалдары кремнийоттек тетраэдрлерінің формуласы $[\text{SiO}_3]_\infty$ қарапайым жекелеген тізбектерден тұрса, ал амфиболдар құрылымында – формуласы $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_\infty$ қосарланған тізбектерден тұрады (272-

суретте). Ары қарай c осі бойынша 2 және 5 проекцияларына көңіл аудару маңызды (314-сурет).



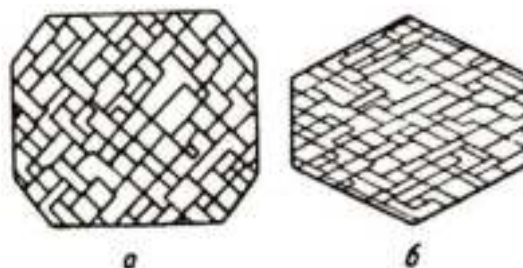
314-сурет. Үш проекциядағы кремнийоттек тізбектері (1, 2, 3 – пироксендерде; 4, 5 және 3 – амфиболдарда)

Б. Осының салдары ретінде, пироксендер мен амфиболдардың тізбектері созылуына параллель призмалық жіктілік бұрыштарында айырмашылық шығады. 315-суретте диопсид пен тремолиттің құрылымы сұлбалық бейнеленген, ол (001) жазықтығына параллель проекцияда төрт элементар ұшықтан тұрады. Кремнийоттек тетраэдрлерінің тізбектері трапециялар – блоктар түрінде сызықтармен бөлінген. Суреттерден көрінетіні, мұндай блоктар амфиболдарда b осі бойынша пироксендерге қарағанда екі есе үлкен өлшемге ие. Жіктілік жазықтықтары қалың сызықтар көрсететіндей, тізбектерді үзбей екі жағдайда да олардың аралығында диагональ бағыттарда өтеді, яғни $\{110\}$ призмаға параллель. Мұнда жалпы сынған сызықтар бағыты пироксендер үшін квадратқа жақындайтын бұрышы 87° пішінге ие болса, ал амфиболдар үшін – бұрышы 124° ромб пішінді болатынын көру қиын емес.



315-сурет. Пироксен мен амфиболдың c осі бойынша сұлбалық бейнеленген кристалдық құрылымның проекциясы. Сол жағында осы проекцияда кремнийоттек тізбектері көрсетілген

В. Кристалдар келбеті де осыған толық сәйкестікте болады. Мұнда көлденең қимада (*316-сурет*) пироксен кристалдары жалған тетрагондық, ал амфибол кристалдары жалған гексагондық пішінге ие болады.



316-сурет. Пироксен (*a*) және амфибол (*б*) кристалдарының көлденең қимасы жіктілік іздерінің бағыттарымен (олардың әрқайсысында әр түрлі бұрыштармен)

Соңғы уақытта *волластонит* тобы минералдары үшін, айтылып кеткендей, анион радикалының жаңа типі анықталған. Ол $[\text{Si}_3\text{O}_9]_\infty$ формуласымен өрнектеліп, осы класқа силикаттары қатарында табиғи кезекті мүше болып табылады.

Осы класшада айтылғанға сай, мынадай типтер бөлінеді:

1. Жекелеген тізбекті силикаттар – $[\text{Si}_2\text{O}_5]_\infty$ (пироксендер тобы);
2. Қосарланған тізбекті (таспалы) силикаттар – $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_\infty$ (амфиболдар тобы);
3. Жекелеген тізбекті силикаттар – $[\text{Si}_n\text{O}_{3n}]_\infty$, $n \geq 3$ (волластонит тобы);
4. Тарамдалған тізбекті силикаттар - $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_\infty$ (астрофиллит тобы).

1. Жекелеген анион тізбекті силикаттар

Пироксендер тобы

Кристаллографиялық белгілері бойынша минералдардың осы біршама үлкен тобы арасында баяғыдан екі топша ажыратылған: моноклин және ромб пироксендер.

Біз осы топқа жататын мына минералдар түрлерін сипаттаймыз.

Моноклин пироксендер:

- диопсид – $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$;
- геденбергит – $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$;
- авгит – $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[\text{Si,Al}]_2\text{O}_6$;
- жадеит – $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$;
- эгирин – $\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$;
- сподумен – $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$;

Ромб пироксендер:

- энстатит – $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$;
- ферросилит – $\text{Fe}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$.

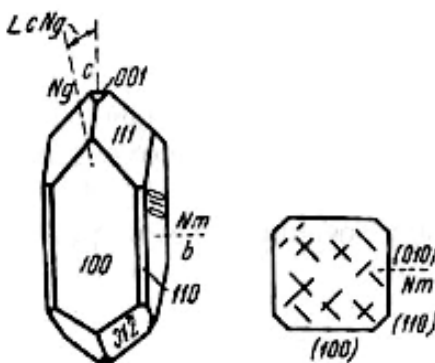
Моноклин пироксендер негізгі өзінің массасында қосарланған және күрделілеу қосылыстардан тұрады. Олардың кристалдық құрылымында катиондар ретінде бір жағдайларда бірін бірі алмастыратын Mg^{2+} және Fe^{2+} , сондай-ақ Ca^{2+} , басқаларда – Na^{1+} (Li^{1+}), Fe^{3+} және Al^{3+} болады. Одан басқа, авгит деген атауға ие болған пироксен белгілі, оның құрамында Al , Fe^{3+} , кейде Ti^{4+} болады, мұнда Al -дің бір бөлігі кремнийоттек тізбектерінде Si -ді алмастыратыны көрінеді (яғни шын мәнінде мұнда енді алюмосиликаттарды көреміз). Si^{4+} иондарының бір бөлігін Al^{3+} иондарымен алмастырғанда тізбектердің жалпы теріс заряды тиісінше артатындықтан, әрине оны минералдың кристалдық құрылымына валенттілігі жоғарылау катиондары енгізу арқылы өтемелеу қажет.

Ромб пироксендер Mg және Fe метасиликаттары болып табылады да, оливиннің тобында болғандағыдай $Mg_2[Si_2O_6]-Fe_2[Si_2O_6]$ изоморфты қоспалардың үзіліссіз қатарын жасайды. Табиғи жағдайларда бұл қатардың магнийлі және магнийлі-темірлі пироксен түрлері кең таралған.

ДИОПСИД – $CaMg[Si_2O_6]$. Атауы грекше *дис* – екі рет және *опсис* – пайда болу дегеннен шыққан. Диопсид нағыз қос қосылыс болады да маңызды $CaMg[Si_2O_6]-CaFe^{2+}[Si_2O_6]$ (диопсид–геденбергит изоморфты қатарының шеткі мүшесі болып табылады; құрамы бойынша аралық түрлесі салит атауына ие. Диопсид таужыныс жасаушы минерал ретінде көптеген магмалық таужыныстарда, сондай-ақ жапсарлық метасоматоздық жаралымдарда кең таралған.

Химиялық құрамы, %: CaO – 25,9; MgO – 18,5; SiO_2 – 55,6. Қоспалар түрінде құрамында FeO , MnO , кейде Al_2O_3 , Fe_2O_3 , бірнеше процентке дейін Cr_2O_3 (хромдиопсид), V_2O_5 2–4 % (лавровит), кейде Na_2O , көбінесе TiO_2 болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=9,71$; $b_0=8,89$; $c_0=5,24$; $\beta=105^{\circ}51'$. **Кристалдарының келбеті.** Жақсы жаралған кристалдары біршама сирек кездеседі. Әдетте олар қысқа бағанаша келбетке ие (*317-сурет*), басым дамығаны пинакоидтар $\{101\}$ және $\{010\}$. Қосақтары (100) бен (102) бойынша сирек. **Агрегаттары.** Диопсидтің тұтас массалары көбінесе түйірлі агрегаттардан тұрады, бірақ жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда дарақтардың сырықша немесе радиал-сәуле агрегаттары кездеседі.



317-сурет. Диопсид кристалы. Оң жағында – көлденең қимасының пішіні және жіктілік

Түсі. Сирек түссіз болады. Әдетте әр түрлі, негізінен лас-жасыл немесе көк түстің солғын реңдеріне боялған. **Жылтырлығы** шыныша. Сыну көрсеткіштері геденбергит молекуласының мөлшеріне байланысты өзгереді. Таза диопсид үшін: $N_g=1,694$; $N_m=1,671$; $N_p=1,664$.

Қаттылығы 5,5–6. Морт. **Жіктілігі** призма {110} бойынша орташа 87° бұрышпен. Көбінесе сондай-ақ {001} бойынша, кейде {010} бойынша дербестік байқалады. **Мен. салмағы** 3,27–3,38.

Диагноздаушы белгілері. Диопсидтің жақсы жаралған кристалдары авгит кристалдарынан өзінің келбеті (тік пинакоидтардың басым дамығандығымен) және бояуының сұр немесе ашық-жасыл реңімен ажыратылады. Бірақ диопсид әр түрлі басқа пироксендермен изоморфты қоспалар жасауға қабілетті болғандықтан оны дәл диагноздау тек оптикалық константаларын, ал бірқатар жағдайларда химиялық талдау көмегімен ғана жүргізіле алады.

Қышқылдарда ерімейді десе де болады.

Жаралуы және кенорындары. Диопсид магмалық жаралымды минерал ретінде негізді және ультранегізді магмалық таужыныстарда (пироксенитте, перидотитте, габброда, диабазда) кең таралған, кейде пироксенді диоритте, сиенитте, сондай-ақ базальтта, диоритте және басқаларда таралған. Ірі бөлінімдері, сондай-ақ жақсы жаралған кристалдары *Ковдор* сілтілі-ультранегізді пироксенит пен карбонатит массивінде (Кола түбегі) байқалады.

Жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда диопсид өте жиі айтарлықтай мөлшерде қатысады, ол скарн мен жапсарлық мүйізтас құрамына волластонитпен, анартастармен және басқа минералдармен кіреді де Оралда, Қазақстанда, Сібірде, Забайкальде және басқа жерлерде магнетиттің және басқа пайдалы қазбалардың көптеген кенорындарында кездеседі.

Осындай жаралымды диопсид жақсы кристалдарда *Назым* тауларында (Златоуст ауданы, Орал) *Ахматова* кенішінде хлоритті тақтатастар арасында анартаспен, клинохлормен және басқалармен бірге кездеседі. Диопсидтің ірі кристалдары *Монте-Сомма* мәрмәрленген әктасында белгілі. Өте ірі, жақсы жаралған кристалдарын «байкалит» деген атаумен кезінде акад. В.М. Севергин *Слюдянск* ауданында (Оңтүстік-Батыс Прибайкалье) флогопит кенорнында сипаттаған.

ГЕДЕНБЕРГИТ – $\text{CaFe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Атауы Л. Геденберг фамилиясы бойынша берілген – ол осы минералды алғаш талдаған швед химигі.

Химиялық құрамы, %: CaO – 22,2; FeO – 29,4; SiO₂ – 48,4. Магнийге бай түрлесі *салит* деп аталады. Шамалы мөлшерде сілтілер мен алюмототықтың мардымсыз мәндері анықталады. Mn²⁺ мөлшерінің *йохансенит* манган-доминантына дейін көтерілуі мүмкін.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық. Негізінен радиал-сәуле немесе ірі сырықша агрегаттары кездеседі.

Түсі. Геденбергит күңгірт-жасылдан қара-жасылға дейін болады. Сызығы ақшыл-сұр жасылтым реңді. **Жылтырлығы** шыныша. Таза геденбергит үшін: $N_g=1,757$; $N_m=1,745$; $N_p=1.739$.

Қаттылығы 5,5–6. **Жіктілігі** призма $\{110\}$ бойынша 87° бұрышпен. **Мен. салмағы** 3,5–3,6.

Диагноздаушы белгілері. Сырықша агрегаттары, күңгірт-жасыл немесе жасыл-қара түсі бойынша оңай танылады. Және де салит сияқты әдетте интрузиялық таужыныстардың мәрмәрленген таужыныстармен жапсарында орналасады.

Жаралуы және кенорындары. Салитпен қатар магнетиттің, кейде мысты сульфид рудаларының көптеген жапсарлық-метасоматоздық кенорындарында, сондай-ақ кейбір жоғары температуралық гидротермалық кенорындардың метасоматоздық жаралымды әктасында өзіндік болып табылады. Геденбергитпен парагенезисте мына минералдар кездеседі: ильваит, магнетит, темірлі анартастар, сульфидтер (пирротин, халькопирит, кара сфалерит), кальцит, эпидот және басқалар.

Геденбергит бұл кенорындарда әктасты немесе мәрмәрді алмастыру жолымен айқын дамиды. Өз кезегінде геденбергит бойынша, салит бойынша сияқты, метасоматоздық жолмен темір және мыс сульфидтері, ильваит, кейде эпидот, хлориттер және басқа минералдар жаралады.

Россияда *Тура* мыс кеніштерінде (скарндар белдемінде), *Дальнегорск* Pb-Zn скарн кенорнында (Приморье), *Троицк* кенішінде (Алтай) және басқа жерлерде белгілі.

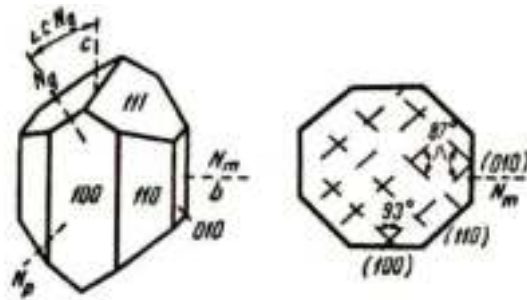
АВГИТ – $(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)_2O_6]$. Алюмототықты пироксен. Атауы грекше *авге* – жылтыр (оның кристалдары көбінесе жылтырақ жақтарға ие). Авгит кейбір магмалық таужыныстардың маңызды таужынысжасаушы минералы болып табылады.

Химиялық құрамы. Авгиттің құрамы басқа пироксендерге қарағанда әлдеқайда күрделірек болады. Әрдәйім дерлік артық мөлшерде MgO , FeO анықталады және айрықша маңыздысы, Al_2O_3 (4–9 %) және Fe_2O_3 , сондай-ақ Na_2O мол болады. MgO бір бөлігін FeO мен MnO алмастырады. Авгиттің статусы минерал түрі ретінде толық айқын емес.

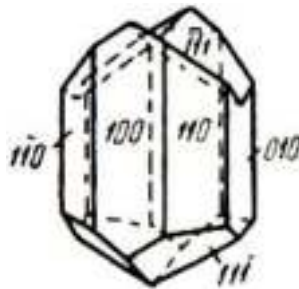
Эгирин-авгит – Na_2O және Fe_2O_3 мол түрлесі, ол кәдімгі авгиттен оптикалық қасиеттері бойынша ажыратылады. Сілтілі таужыныстарда таралған. Құрамы бойынша авгит және эгирин-авгит аралығындағы түрлесі федоровит деп аталған (орыс кристаллографы Е.С. Федоровтың құрметіне).

Титан-авгит (дұрысырағы: титанды авгит) – TiO_2 , Fe_2O_3 және Al_2O_3 мол түрлесі (TiO_2 8–9 %; кәдімгі авгитте – 0,1–0,7 %).

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық. Кристалдарының келбеті қысқа бағанаша, тақташа тәрізді, сирек изометрлі. Диопсидтен айырмашылығы – призманың $\{110\}$ жақтары әдетте пинакоидтарға қарағанда көптеу дамыған. Кристалдарының ең кәдімгі пішіні және көлденең қимасы *318-суретте* келтірілген. Қималарына жақтары біршама бірдей дамыған сегізбұрышты пішін тән. Қосақтары (100) бойынша жиі (*319-сурет*). **Агрегаттары** тұтас массаларда түйірлі.



318-сурет. Авгит кристалы. Оң жағында – көлденең қимасының пішіні және жіктілігі



319-сурет. Авгиттің (100) бойынша қосағы

Түсі қара, жасылтым және қошқыл-қара, кейде күңгірт-жасыл немесе қошқыл. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,710-1,724$; $N_m=1,692-1,706$; $N_p=1,685-1,700$.

Қаттылығы 5–6. **Жіктілігі** призма {110} бойынша орташа. Көбінесе {100} бойынша дербестік дамыған. Бұл дербестік төтенше күрт білінген авгиттер де, сондай-ақ басқа моноклин пироксендер де *диаллаг* деп аталады. **Мен. салмағы** 3,2–3,6.

Диагноздаушы белгілері. Авгиттің жекелеген кристалдары негізді таужыныстардың жанартау туфы мен күлінен оңай босап шығады да өзіне тән пішіндері (318-суретте) және қара түсі бойынша біршама оңай анықталады. Басқа жағдайларда оны мұқият микроскопиялық зерттеулерсіз және химиялық талдауларсыз дәл диагноздау мүмкін емес.

Қышқылдарда ерімейді. Титанавгит ыстық HCl қышқылында толық ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Авгит көбінесе негізді құрамды кейбір *магмалық* эффузиялық таужыныстарда: андезитте, фонолитте, базальтта, олардың туфы мен жанартау күлінде кездеседі. Бұл таужыныстарда кейде өзіндік пішінді біршама ірі кристалдарды кездестіруге болады (318 және 319-суреттерде). Онымен бірлестікте әдетте негізді плагиоклаздар, магнетит, кейде оливин және басқалар байқалады.

Эгирын-авгит сілтілі магмалық интрузиялық таужыныстарда, мысалы *Ильмен* тауларындағы (Оңтүстік Орал) нефелинді сиенитте, сондай-ақ олардың эффузиялық баламаларында – фенолитте, лейцитифирде және басқаларда байқалады.

Постмагмалық сатыда авгит үшін, басқа да моноклин пироксендердегідей, оның амфибол тобы минералдарымен алмасуы анықталады. Микроскоп астында көбінесе мүйіз алдамыш бұл жағдайларда

бір тұтас ретінде пироксен пішінін сақтай отырып дамиды. Мұндай псефдоморфозалар *уралит* деп аталады (ол алғаш Оралда) анықталған.

Магмалық таужыныстар гидротермалық өзгерген кезде авгит ыдырайды да көбінесе эпидотпен, хлориттермен, кальцитпен және басқа минералдармен алмасуға ұшырайды.

ЖАДЕИТ – $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Жадеит молекуласы диопсид пен эгириин құрамына кіріп, олардың құрамында Na_2O және Al_2O_3 мөлшерінің артуына әкеледі.

Сингониясы моноклиндік. Кристалдары сирек; көбінесе тығыз түйірлі алма-жасыл, жасылтым-көк және ақ түсті агрегаттарда кездеседі. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,667$; $N_m=1,659$; $N_p=1,654$.

Қаттылығы 6,5–7. Айрықша тұтқыр. **Жіктілігі** призма $\{110\}$ бойынша орташа, $\{010\}$ және $\{100\}$ бойынша жетілмеген. Жасырын кристалды түрлестерінің омырылымы бейтегіс, тікенекше. Нефритке өте ұқсас (амфиболдар тобындағы). **Мен. салмағы** 3,3–3,4. Қышқылдар балқытқаннан кейін ғана әсер етеді.

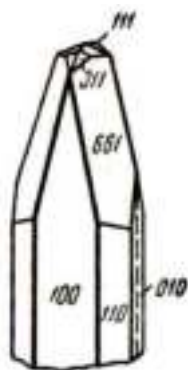
Жадеит – жоғары қысым минералы, оның жаралуы далашпаттардың альбит құрамдасының кварц бөліп ыдырауымен байланысты болуы мүмкін. Жадеит молекуласының қоспасы елеулі байқалатын жоғарыбаралық пироксендер омфациит деп аталады. Жадеиттің өзі метаморфтық сілтілі таужыныстарда, кейде жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда кездеседі. Россияда *Левокечпельское* (Полюстік Орал) және *Борусское* (Батыс Саян) кенорындары белгілі.

Қазақстанда жадеиттің *Итмұрынды* кенорны бар, ол әсемдік-зергерлік тастар талабына сай келеді. Оңтүстік Азияда (Таиланд) бұл минерал *Таумау* кенорнында кездеседі, оның түрлестері кейде өте жоғары сапаға ие болады да зергерлік тас ретінде пайдаланылады.

ЭГИРИН – $\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Атауы теңіздің Исланд құдайы – Эгир атынан шыққан. Синонимі: акмит. Көптеген сілтіге бай магмалық таужыныстардың ең маңызды таужыныжасаушы минералы болып табылады.

Химиялық құрамы, %: Na_2O – 13,4; Fe_2O_3 – 34,6; SiO_2 – 52. Қоспалары: K_2O , көбінесе CaO , FeO , MnO , MgO , Al_2O_3 , TiO_2 , кейде V_2O_3 ; анда-санда өте мардымсыз мөлшерде сирекжерлер, BeO , ZrO_2 және ThO_2 . Эгириин мен авгит, эгириин мен диопсид, және де эгириин мен геденбергит аралығында изоморфты қоспалар болады. Құрамы бойынша аралық түрлестері эгириин-авгит, эгириин-диопсид және эгириин-геденбергит деген атауларға ие.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық. **Кристалдарының келбеті**. Әдетте ұзын призма бағанаша немесе ине тәрізді (*320-сурет*). Жақтарында тік айғыз немесе атыздар байқалады. $\{100\}$ жағы әрдәйім дерлік жақсы дамыған. Қосақтары $\{100\}$ бойынша біршама жиі; көбінесе полисинтетикалық қосақтары бар. **Агрегаттары**. Тұтас массаларда сырықша, радиал-сәуле, сондай-ақ жұлдызша тәрізді агрегаттары байқалады.



320-сурет. Эгирин кристалы

Түсі әдетте жасылтым-қара, күңгірт-жасыл, кейде қошқыл немесе қызғылт-қошқыл (акмит). **Сызығы** ашық-жасыл. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,787$; $N_m=1,768$; $N_p=1,742$.

Қаттылығы 5,5–6. **Жіктілігі** призма бойынша айқын 87° бұрышты; $\{010\}$ және $\{001\}$ бойынша дербестік анықталады. **Мен. салмағы** 3,43–3,6.

Диагноздаушы белгілері. Бағанаша келбетті кристалдары, күңгірт-жасыл немесе жасылтым-қара түсі мен сілтілі силикаттармен (нефелинмен, далашпаттармен, сілтілі амфиболдармен) бірлестігі бойынша біршама оңай танылады. Өзіне ұқсас күңгірт-жасыл турмалиннен төмендеу қаттылығымен және айқын жіктілігі болуымен ажыратылады.

Қышқылдар нашар әсер етеді.

Жаралуы және кенорындары. Эгирин сілтілерге бай интрузиялық және эффузиялық таужыныстардың (нефелинді сиенит, фонолит, лейцитифир және т.б.) нағыз таужынысжасаушы минералы болып табылады. *Хибин* және *Ловозерск* массивтерінде кең таралған. Кейде жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда сілтілі магманың айналасындағы таужыныстармен реакциясының өнімі ретінде байқалады.

Ол ірі кристалдарда *Шиелі* және *Ильмен* тауларындағы (Орал) нефелинді сиенит пегматиттерінде кездеседі. Онымен бірлестікте нефелин, далашпаттар және мүйіз алдамыштан басқа қара слюда, олар кейде эгирин кристалдарын алмастырады, содалит, канкринит және басқа сирек силикаттар байқалады.

СПОДУМЕН – $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Пироксендер тобы арасында біршама айрықша жағдайда болады. Басқа пироксендермен изоморфты қоспалар жасамайды.

Химиялық құрамы, %: Li_2O – 8,1; Al_2O_3 – 27,4; SiO_2 – 64,5. Қоспалар түрінде Na_2O болады, мардымсыз мөлшерде CaO , MgO , анда-санда Cr_2O_3 кездеседі. Кейбір түрлестерінде сондай-ақ сирекжерлер, кейде цезий болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C_2^6_{2h})$. $a_0=9,50$; $b_0=8,30$; $c_0=5,24$; $\beta=110^\circ 20'$. **Кристалдарының келбеті** призмалық. Тік жақтарында айғыздау болады. Көбінесе өте ірі кристалдары кездеседі (ұзындығы 16 м-ге дейін). Қосақтары $\{100\}$ бойынша. **Агрегаттары** қалақша-сырықша тәрізді. Сондай-ақ тығыз жасырынкристалды массаларда байқалады.

Түсі сұрғылт ақ, көбінесе жасылтым реңді, сарғыш-жасыл, қызғылт-күлгін (кунцит), жасыл (гидденит). **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында шамалы інжуше құлпырымды. $N_g=1,675$; $N_m=1,66$; $N_p=1,65$.

Қаттылығы 6,5–7 (өзгеріске ұшыраған түрлерінде төмен). **Жіктілігі** призма бойынша жетік немесе орташа; {100} бойынша дербестік бар. **Мен. салмағы** 3,13–3,2.

Диагноздаушы белгілері. Толық сенімді түрде микроскоп астында оптикалық константалары бойынша анықтала алады. Сподуменге моноклин пироксендер арасында ең аз сөну бұрышы тән.

НСІ қышқылында ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Гранит *пегматиттерінде* кварцпен, далашпаттармен, литийлі слюдамен, турмалинмен және басқалармен бірлестікте кездеседі.

Ең кейінгі өзгерістерге оңай ұшырайды. Құрамында Na_2O бар ерітінділер әрекетінен ыдырайды да эвкрипит ($LiAlSiO_4$), альбит ($NaAlSi_3O_8$) және серицит (калийлі слюда) жаралады.

Россияда гранит пегматиттерінде *Ворони* тундрасында (Кола түбегі), *Енашимода* (Красноярск өлкесі), *Завитинскде* (Шығыс Забайкалье) және *Қара-Адырда* (Тыва) кездеседі, мұнда кристалдарының ұзындығы 1м-ге дейін жетеді.

Біршама көп шетел сподумен кенорындарынан тек кейбіреулерін ғана атаймыз. Шығыс Қазақстандағы *Бакенді* кенорны (Огневка кенті маңында) ірі сподумен және басқа литийлі минералдардың ірі кристалдарымен белгілі. Сподуменнің зергерлік түрлері *Кулама* кенорнында (Ауғанстан) және *Минас-Жерайс* штатының (Бразилия) көптеген пегматит кенорындарында бар. Оңтүстік Дакотадағы (АҚШ) ірі *Кийстон* кенорны кеңінен белгілі, мұнда өзгеріске ұшыраған сподуменнің ұзындығы 16 м-ге дейін және көлденеңі 1 м-ге жуық (салмағы 90 т-ға дейін) алып кристалдары кездеседі. *Мадагаскар* аралындағы пегматит кенорындарының ерекшеліктері мынада: мұнда өзгермеген мөлдір әр түрлі реңді: сарғыш-жасыл, сары, қызғылт түрлері кездеседі. Коннектикуттегі (АҚШ-тың шығысында) *Брэнчвилл* кенорнында сподуменнің өзгерген ірі кристалдары литийфиллитпен, уранинитпен, марганецтің әр түрлі фосфаттарымен және басқа минералдармен бірлестікте байқалады.

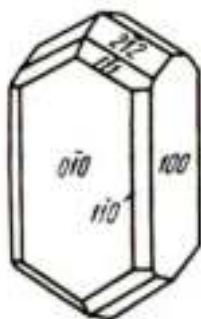
Практикалық мәні. Литийлі слюдаларымен бірге литий препараттарын алудың көзі болып табылады. Бұл препарат медицинада, пиротехникада, фотографияда, шыны ісінде, рентгенографияда және басқа мақсаттарда қолданылады. Мөлдір, әсем боялған түрлері асыл тас ретінде қолданылып келген. Соңғы кездері литий металл ретінде термоядролық реакцияларда қолданысқа ие болады.

ЭНСТАТИТ – $Mg_2[Si_2O_6]$. Атауы грекше *энстатес* – қиыр (қиын балқитындығынан) дегеннен шыққан. Әдетте энстатитке шартты түрде құрамында FeO 5 %-ке дейін бар түрлесі жатады; ал FeO мөлшері 5–14 % болатын (25 % $FeSiO_3$) түрлесі бронзит деп аталады (қола түсті, бірақ ол

морыған түрлестерінде немесе құрамында бағдарланған кірінділер бар түрлестерінде байқалады). Минерал түрлерін бөлудің қазіргі ережелері бойынша энстатитті құрамында магний темірден басым болатын ортопироксендерді жатқызу керек. Магнийлі магмалық таужыныстардың маңызды таужынысжасаушы минералы болып табылады.

Химиялық құрамы. Оливинмен салыстырғанда SiO_2 мол, оның мөлшері таза магнийлі түрлесінде 60 % болады; MgO – 40,0 %. Көбінесе және де NiO болады (әдетте 0,2 %-ке дейін). Кейде CaO , MnO , Al_2O_3 және Fe_2O_3 қоспалары анықталады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-дипирамидалық $3L^23PC$. Кеңістіктік тобы $Pbca(D^{15}_{2h})$. $a_0=18,2$; $b_0=8,86$; $c_0=5,20$. **Кристалдарының келбеті.** Энстатиттің сирек байқалатын кристалдары призмалық (321-сурет), кейде тақталық келбетке ие. Таужыныстарда кең таралған бұрыс пішінді түйірлері көбінесе ұзыншақ келбетке ие. Моноклин пироксендермен заңдылық кірікпелері байқалған.



321-сурет. Энстатит кристалы

Түсі. Түссіз, сұрғылт ақ жасылтым реңді, кейде бурыл-жасыл. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,665$; $N_m=1,659$; $N_p=1,656$.

Қаттылығы 5,5. **Жіктілігі** призма $\{110\}$ бойынша орташа; жіктілік жазықтықтары аралығындағы бұрыш 85° . Мен. салмағы 3,1–3,3 (құрамында FeO мөлшері артқан сайын жоғарылайды).

Диагноздаушы белгілері. Бұрыс түйірлерде тек жұқа шлифтерде микроскоп астында оптикалық константалары бойынша сенімді анықтала алады. Моноклиндік пироксендерден сөнудің тікбұрышы бойынша, кейде шамалы плеохроизмі бойынша, ал гиперстеннен – оптикалық белгісі және оптикалық остерінің бұрышы бойынша ажыратылады.

Қышқылдарда ерімейді.

Жаралуы және кенорындары. Көптеген магнийге бай магмалық таужыныстардың нағыз минералы. Оливинмен бірлестікте көбінесе перидотиттер деп аталатындары құрайды, атап айтқанда гарцбургитті, сондай-ақ габбро-нориттің, кейде диориттің елеулі құрамдас бөлігі болады. Эффузиялық таужыныстарда да (базальт, андезит) байқалады. Жапсарлық-метасоматоздық жаралымдарда әлдеқайда сирек кездеседі, бірақ та көбінесе ірі жақсы жаралған кристалдарда: нағыз ақ кристалдары флогопитпен, форстеритпен және талькпен бірге *Мульводжа* ауданында бар (Оңтүстік-Батыс Памир, Тәжікстан).

Постмагмалық процестерге гидротермалық процестер үстіленгенде оливин мен моноклиндік пироксендерге қарағанда оңай серпентинге – *баститке* айналады. Оның псевдоморфозалары энстатиттің түйірлері бойынша тұтас кристалл индивидтері болып табылады, олар белгілі бір кристаллографиялық бағдарлануда алмасатын пироксенге қатысты өзіндік тамаша білінген дербестікке (жіктілікке) ие. Бастит алтын-сары немесе жіктілігі бойынша қола түсті реңге ие, осыған байланысты өзгерген энстатиттұстамды таужыныстарда оңай танылады.

Таужынысжасаушы минерал ретінде көптеген магнийге бай, бірақ кальций окисіне жұтаң магмалық таужыныстарда жиі кездеседі, әсіресе интрузиялықтарда (гарцбургитте, лерцолитте және басқаларда). Олар Оралда, Солтүстік Кавказда, Закавказьеде, Сібірдің бірқатар жерінде және басқа аудандарда кең таралған.

ФЕРРОСИЛИТ – $(\text{Fe},\text{Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Таза ферросилит төзімсіз, әдетте гиперстен деп аталатын энстатит-ферросилит қатарының ортаңғы мүшелері кездеседі. Атауы грекше – *ипер* және *стенос* – өте берік дегеннен шыққан. Гиперстенге әдетте ромб пироксендердің құрамында FeO мөлшері 14 %-тен асатын түрлестері жатады.

Гиперстеннің көптеген физикалық қасиеттері энстатитке ұқсас. FeO мөлшері жоғары болуы салдарынан сыну көрсеткіштері энстатиттікіне қарағанда жоғары: $N_g=1,69-1,73$; $N_p=1,68-1,71$.

Түсі жасылдан жасылтым немесе қошқыл-қараға дейін. **Мен. салмағы** 3,3–3,5. HCl қышқылында шала ыдырайды.

Құрамында темір мол негізді магмалық таужыныстарда кездеседі (габбро-норит, трахит пен андезиттің кейбір түрлестері).

Слюдянск ауданында (Оңтүстік-Батыс Прибайкалье) жоғары темірлі гиперстен елеулі мөлшерде кейде пироксен-амфиболды, сондай-ақ биотитті және анартасты гнейстерде кездеседі. Одан басқа, метеориттерде де табылған.

2. Қосарланған анион тізбекті силикаттар

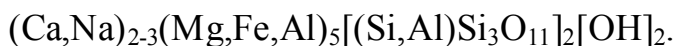
Амфиболдар тобы

Амфиболдардың конституциясы пироксендермен салыстырғанда күрделілеу болып табылады, дегенмен сапалық құрамы жағынан олардың аралығында ортақ заттар көп.

Рентгенметриялық зерттеулерге сай, амфиболдардың өзіндік ерекшеліктеріне, аталып кеткендей, олардың кристалдық құрылымына кремнийоттек тетраэдрлерінің $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$ құрамды қосарланған тізбектері (таспалары) қатысатыны жатады (химиялық көзқарастан метасиликаттарда болады деп саналған Si_4O_{12} орнына). Оттектің қалған иондары дербес бір валентті анион $[\text{OH}]^{1-}$ құрамына кіреді. Осылайша, анион комплексінің жалпы теріс заряды 7-ге тең. Осыдан кейін химиялық формуласы түсінікті болады, мысалы антофиллит сияқты құрамы бойынша қарапайым амфиболдың формуласы $\text{Mg}_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$ болады. Оттектің Si-мен байланыспаған екі ионын бір валентті екі $[\text{OH}]^{1-}$ ионымен алмастыру катиондар санының азаюына әкеледі: антофиллит үшін Mg иондарының саны бұрын қабылданып келгендей сегіз емес, MgSiO_3 формуласынан шығатындай жеті болады.

Дәл солай, амфиболдар тобының қосарланған қосылыстарындағыдай, мысалы тремолит үшін біз $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$ формуласына ие боламыз, ал бұрын рентгенметрлік зерттеулерге дейін ол $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Si}_8\text{O}_{24}$ түрінде жазылып келген. Дәл осы химиялық талдау деректерін формулаға $[\text{OH}]^{1-}$ анионын енгізіп есептеп шыққан кезде де қуатталады. Қатынас Ca:Mg (Fe)=2:5 болса, ал тиісті құрамды пироксендерде, мысалы диопсидте, біз білетініміздей бұл қатынас 1:1 болады. Амфиболдардың пироксендерден айтарлықтай айырмашылығы да осында болып шығады.

Сонымен, үш валентті (Al және Fe^{3+}) және бір валентті (Na және K) металдарға бай қосарланған қосылыстарда металдардың жекелеген топтарының қатынасында мынадай көрініс анықталады: $(\text{Ca}, \text{Na}):(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})=3:5$. Бұл жағдайларда Al^{3+} иондарының елеулі бөлігі кремнийоттек тетраэдрлері тізбектерінде Si^{4+} иондарын алмастырады. Осының салдарынан тізбектің жалпы теріс заряды тиісінше жоғарылайды, яғни қосымша катиондармен (негізінен Na^{1+} және K^{1+}) бейтараптануы тиіс болады. Амфиболдар кристалдық құрылымында (пироксендерден айырмашылығы) сілті металдардың қосымша иондары орналасу үшін тиісті орындар болады, оларды енгізу қажеттілігі кремнийді алюминийге $\text{Si}^{4+} > \text{Al}^{3+} > \text{Na}^{1+}$ сұлбасы бойынша алмастыру кезінде пайда болады. Сондықтан құрылымдағы оң зарядтардың жалпы саны жетіден сегізге дейін (шамамен) жоғарылайды. Кремнийоттек тізбектеріндегі Al:Si қатынасы химиялық талдау деректерін есептеуге сай, әдетте 1:3 шамасынан аспайды. Мүйіз алдамыштың жалпы формуласы мынадай:



Радикалда бір Si ионын Al ионымен толық алмастырған кезде (Ca,Mg) саны үшке тең болар еді, шын мәнінде де осы анықталады (егер, есептеуге сәйкес, Mg және Fe²⁺ иондарына қосылатын Al³⁺ немесе Fe³⁺ иондарының қалдық саны мардымсыз болып шығатын жағдайлар кезінде). Керісінше болған жағдайда теріс зарядты магнийді алюминиймен алмастыру жолымен қосымша өтемелеу де орын алуы мүмкін. Химиялық талдау деректері бойынша, мұндай жағдайлар сирек те болса кездеседі (кокшаровит, гастингсит).

Амфиболдардың химиялық сипаттамасы бойынша айтылғанға қосуға болатыны, ОН жиі F-мен және Cl-мен алмасады. Бұл иондардың жалпы саны химиялық формуласына сай екіге тең болуы тиіс, бірақ одан аз болады (олардың жартылай оттегі иондарымен алмасатыны көрінеді).

Химиялық құрамының біршама кең ауқымда өзгеретініне қарамай, амфиболдардың барлығы көптеген физикалық және химиялық қасиеттері бойынша өзара ұқсас келеді. Амфиболдардың табиғатта жаралу жағдайлары пироксендерге қарағанда біршама өзгеше. Амфиболдарда гидроксил, фтор және хлор болуы, олардың магмалық және метаморфтық таужыныстарда жаралуы біршама төмен температурада кристалдануына әкелетін минерализаторлар қатысуына байланысты екенін куәландырады. Амфиболдардың жиі байқалатын пироксендермен алмасуы да олардың біршама кейінірек жаралатынын көрсетеді. Д.П. Григорьев амфиболдарды фторұстамды силикат балқымасы кристалданған кезде ғана жасанды жолмен алуға қол жеткізген. Табиғи қосылыстарға сай келетін, яғни құрамында ОН бар амфиболдарды И.А. Островский жасанды жолмен алған.

Амфиболдар тобынан мына минерал түрлерін сипаттаймыз:

Моноклин амфиболдар:

- тремолит – Ca₂Mg₅[Si₄O₁₁]₂[OH]₂;
- актинолит – Ca₂(Fe,Mg)₅[Si₄O₁₁]₂[OH]₂;
- мүйіз алдамыш – Ca₂Na(Mg,Fe)₄(Al,Fe)[(Si,Al)₄O₁₁]₂[OH]₂;
- глаукофан – Na₂(Mg,Fe)₃Al₂[Si₄O₁₁]₂[OH,F]₂;
- арфведсонит – Na₃(Fe,Mg)₄(Fe,Al)[Si₄O₁₁]₂[OH,F]₂;

Ромб амфиболдар:

- антофиллит – (Mg,Fe)₇[Si₄O₁₁]₂[OH]₂.

ТРЕМОЛИТ – Ca₂Mg₅[Si₄O₁₁]₂[OH]₂. Атауы табылған жері бойынша – Тремоль аңғарына байланысты (Сен-Готтардтың оңтүстік жағында) берілген. Тремолит амфиболдардың табиғатта ең көп таралғандардың бірі болып табылады.

Химиялық құрамы, %: CaO – 13,8; MgO – 24,6; SiO₂ – 58,8; H₂O – 2,8. MgO-ға изоморфты қоспа түрінде шамалы мөлшерде (3 % шамасына дейін) кейде FeO (актинолитке өтпелі түрлестерінде), MnO, сондай-ақ Al₂O₃, сілтілер және басқалар болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L²PC. Кеңістіктік тобы C2/m(C³_{2h}). a₀=9,78; b₀=17,8; c₀=5,26; β=106°02'.

Кристалдарының келбеті. Пішіні бойынша біршама қарапайым ұзын пирамида, ине тәрізді, кейде шаш тәрізді байқалған, олар *c* осі бойынша созылған. Көбінесе майда сәуле, сырықша немесе шаш тәрізді, кейде киіз сияқты агрегаттар түрінде кездеседі. Кейде тығыз, жасырын кристалды, өте тұтқыр тікенекше омырылымды массалары ашық түсті түрде кездесіп, ол *нефрит* деген атауға ие болады (*актинолитті* де қараңыз), сондай-ақ асбест түрінде болып, оның практикалық мәні жоғарылайды.

Түсі ақ немесе ашық бояулы, негізінен сұрғылт реңді. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,624$; $N_m=1,613$; $N_p=1,599$.

Қаттылығы 5,5–6. Морт. Ине және шаш тәрізді кристалдары сынғыш. **Жіктілігі** призма {110} бойынша жетік 124^0 бұрышпен, (010) бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 2,9–3.

Диагноздаушы белгілері. Физикалық қасиеттері бойынша тремолит өзіне төтенше жақын актинолиттен негізінен ашық (ақ немесе сұрғылт-ақ) түсі бойынша ажыратылады.

Қышқылдар оған әсер етпейді десе де болады.

Жаралуы және кенорындары. Тремолит басқа да амфиболдар сияқты, магмалық таужыныстарда кездесіп, нағыз эпимагмалық біршама төмен температуралық минерал болып табылады да көбінесе кальцийлі-магнийлі пироксен бойынша жаралады. Ол көбінесе метаморфталған кристалды әктас пен доломит құрамында, сондай-ақ кристалды тақтатас пен мүйізтаста кездеседі.

Жақсы жаралған кристалдары Швейцарияның, Шығыс Альпінің, Богемияның және басқа аудандардың альпілік желілерінде байқалады. Россияда тремолит Кочкар ауданы (Оңтүстік Орал) *Санарка* мен *Каменка* өзендері бойындағы доломитте, *Слюдянка* ауданында (Оңтүстік-Батыс Прибайкалье) және басқа көптеген жерлерде сипатталған.

АКТИНОЛИТ – $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$. Қатардың өзіндік темірлі соңғы мүшесі *ферроактинолит* деп аталады да минерал түрі статусына ие болады. Бірақ бұл термин отандық әдебиетте тұрақтап қалмады. Атауы грекше *актис* – сәуле және *литос* – тас деген сөздерден құралған. Бұл атау табиғатта кең таралған осы минералдың жиі байқалатын көбінесе ине-сәуле тәрізді агрегаттарына байланысты. Осыдан келіп сәуле тас синонимі шыққан.

Актинолит көптеген физикалық қасиеттері бойынша жоғарыда сипатталған тремолитке ұқсас, одан негізінен жасыл түсі (құрамында темір болуына байланысты) және оптикалық қасиеттері бойынша ажыратылады. Актинолиттің айрықша ерекшеліктерін атаймыз.

Химиялық құрамы. Химиялық көзқарастан актинолиттің химиялық құрамы шын мәнінде тремолиттің темірлі түрлесі болып табылады. FeO мөлшері әдетте 6–13 % ауқымында ауытқиды. Көбінесе құрамында және де Al_2O_3 болып, осыған байланысты сілтілердің де (Na_2O) біршама мөлшері болады.

Түсі. Актинолит бөтелке-жасыл әр түрлі реңді: ашық жасылтым-сұрдан күңгірт-жасылға дейін. **Мен. салмағы** 3,1–3,3 (құрамында FeO мөлшері артқан сайын көтеріледі).

Түрлестері. Морфологиялық белгілері және агрегаттарының құрылысы бойынша мынадай негізгі түрлестері ажыратылады.

1. *Нефрит* (жад) – жасырын кристалды, тығыз, ерекше тұтқыр, әр түрлі жасыл реңді, омырылымы тікенекше және кейде құлпырма жылтыр (грекше *нефрос* – бүйрек).

2. *Амиант* – амфибол асбест (тремолит-асбест, актинолит-асбест және басқа).

Амфиболдардың бұл түрлесіне аса тән болатыны, ол қатал параллель-талшықты құрылысты желішіктер түрінде (қалыңдығы бірнеше сантиметрге дейін) байқалады, мұнда талшықтар желілік қабырғаларына перпендикуляр орналасады. Нағыз амфибол-асбесттің тамаша және өте маңызды ерекшелігіне оның механикалық жолмен өте жіңішке майысқақ және берік талшықтарға ажыратылу қабілеті жатады. Бұл талшықтардың көлденең өлшемі коллоидтардағы дисперсиялық фазалар өлшеміне жақын. Сонымен қатар, асбест талшықтары оттөзімді және қышқылтөзімді қасиеттерге ие, осыған байланысты ол өнеркәсіптің бірқатар салаларында қолданылады.

Жаралуы және кенорындары. Амфиболит басқа да амфиболдар сияқты біршама төмен температурада төзімді. Көбінесе шамалы тереңдікте жаралған кристалды тақтатастарда кездеседі (кейде аса көп мөлшерде). Микроскопта ол тремолитпен қатар көптеген магмалық, негізінен гидротермалық метаморфизмге ұшыраған негізді таужыныстарда анықталады. Онымен бірлестікте эпидот, хлорит, кварц, цоизит, тальк және басқа минералдар байқалады.

Актинолит-асбест желішіктер түрінде Оралдағы (Екатеринбургтің солтүстігіне қарай) *Белореченск* және *Калатинск* колчедан кенорындарында (пирит-халькопирит жатындарында) белгілі. Оларға тәні, асбест желішіктеріне көршілес актинолиттің ұзын ине тәрізді кристалдары байқалады. Олар пирит-халькопирит массалары арасындағы ертерек жаралған, нағыз метаколлоидтық құрылысқа ие.

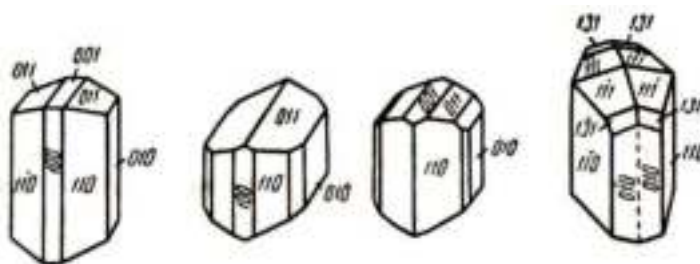
Нефрит шөп-жасыл түсті жақсы жұмырланған тегіс тасдөңбектер түрінде *Онон*, *Чикой* өзендері бойында түбірлік жатысты актинолит тақтатасы арасында *Хара-Желга* бұлағы маңында (Байкал көлінен батысқа қарай), сондай-ақ Орта Азияда *Раском-Дарья* өзені бойында (Шығыс Памир) және басқа жерлерде кездеседі. Шетел кенорындарынан мыналарды атаймыз: *Жаңа Зеландияда*, *Тасманияда*, *Жаңа Каледонияда* және Полинезияның басқа да аралдарында. Мұнда жергілікті халық одан балта, найзаның ұшын және басқа заттарды ежелден жасап келген. *Кунь-Лунь* жотасында (Батыс Қытай) және одан ары шығысқа қарай *Гань-су* провинциясына дейін таралған, бұл жерлерде ежелден шашылымдарда және түбірлік таужыныстарда көп мөлшерде өндіріліп келген. Ол біршама оңай өңделеді, ерекше берік әшекей тас; одан табылатын заттар (құдайлар), тұмар тастар, ыдыстар жасалынып, осы әр түрлі заттар көптеген мұражайларда сақталып келеді.

МҮЙІЗ АЛДАМЫШ – $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$. Көбінесе «мүйіз алдамыш» терминін *амфибол* терминіне шатастырып телиді.

Айту керектігі, «амфибол» қарастырылған топ минералдар түрінің жиынтық атауы болса, ал мүйіз алдамыш деп белгілі бір минерал түрін айтады.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Магнийдің екі валентті темірге және алюминийдің үш валентті темірге қатынасы кең ауқымда өзгереді. Калий кейде натрийден басым болады. Құрамында 0,3 % шамасында фтор болатын түрлестері белгілі. Оның құрамында әрдайым дерлік TiO_2 болады, әдетте 0,1–0,25 % шамасында.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. $a_0=9,8$; $b_0=17,9$; $c_0=5,28$; $\beta=106^\circ$. **Кристалдарының келбеті** призмалық, бағанаша, кейде изометрлі. 322-суретте мүйіз алдамыштың ең көп таралған пішіндері келтірілген. (100) бойынша қосағы 322-суреттің оң жағында көрсетілген.



322-сурет. Мүйіз алдамыш кристалдары. Оң жағында – (100) бойынша қосағы

Түсі. Кәдімгі мүйіз алдамыш жасыл немесе қошқыл түстің әр түрлі реңдеріне боялып, негізінен күңгірттен қараға дейін болады. Сызығы жасылтым реңді ақ. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,65-1,69$ және $N_p=1,63-1,66$.

Қаттылығы 5,5–6. **Жіктілігі** призма $\{110\}$ бойынша жетік 124° шамасындағы бұрышпен (316-суреттің оң жағындағы), $\{001\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 3,1–3,3.

Түрлестері. Саны өте көп түрлестерінің арасында негізінен химиялық құрамының ерекшеліктерімен және осыған байланысты оптикалық қасиеттерімен айрықшаланатын тек мыналарды атаймыз.

1. *Базальттық* мүйіз алдамыш әдетте қошқыл түсті (жұқа шлифтерде). Эффузиялық магмалық таужыныстарда кездеседі. Құрамында біржарым тотықты окиселдер, атап айтқанда Fe_2O_3 және TiO_2 болуымен (2–3%) айрықшalandы.

2. *Уралит* – мүйіз алдамыштың пироксен бойынша псевдоморфозасы. Бұл түрлесіне пироксен кристалдарының сыртқы пішіні тән (авгит немесе диопсидтің).

Шлифтерде микроскоп астында көлденең қималарда байқалатын призмалық жіктілік бұрыс пішінді. Пироксендердің уралиттену процесі табиғатта кең таралған.

Диагноздаушы белгілері. Кәдімгі мүйіз алдамышты диагноздау мыналарға негізделеді: оның кристалдары сыртқы келбеті және жіктілігі аралығындағы бұрышы (124°), әдетте күңгірт-жасыл немесе күңгірт-қошқыл түсі, ал микроскоп астында – оптикалық қасиеттері бойынша оңай танылады.

Қышқылдарда ерімейді. Тек алдын ала балқытқаннан кейін ғана ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Кәдімгі мүйіз алдамыш негізділігі орташа көптеген интрузиялық магмалық таужыныстардың нағыз минералы болып табылады: сиениттің, диориттің, гранодиориттің және басқалардың. Жер бетіне төгілген эффузиялық таужыныстарда ол бастапқы минерал ретінде кездеседі және негізінен сілтілі түрлестерінде.

Ол өте ірі кристалл түйірлері немесе кристалдар түрінде біршама сирек кездесетін *габбро пегматиттерінде* байқалады. Қыранды тауында (Солтүстік Оралдағы Ис ауданында) пегматит желілерінде мүйіз алдамыштың жақсы жаралған кристалдарының ұзындығы 0,5 м-ге жетеді. Мүйіз алдамышты таужыныстар қышқылды пегматиттердің ультранегізді магмалық таужыныстарға әрекеті нәтижесінде реакциялық-метасоматоздық жаралымдар түрінде де пайда болады.

Метаморфтық таужыныстарда да кең таралған. Мұнда ол амфиболиттер немесе амфиболды тактатастар мен гнейстер деп аталатындардың басты құрамдас бөлігі болып табылады. Мүйіз алдамыш пен плагиоклаздан тұратын амфиболиттер көпшілік жағдайларда негізді таужыныстардың, атап айтқанда габбронның метаморфизмі кезінде жаралған.

Гидротермалық процестер үстіленген кезде мүйіз алдамыштың кальцитпен және кварцпен бірге серпентинге, хлоритке, эпидотқа айналу жағдайлары жиі кездеседі.

Мору процесінде ол басқа да темірлі-магнийлі силикаттар сияқты (мысалы, пироксендер) нонтронитке, карбонаттарға, ал жер беті маңында – опалды лимонитке, галлуазитке және басқаларға айналып ыдырайды.

ГЛАУКОФАН – $\text{Na}_2(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH,F}]_2$. Құрамы тұрақсыз. Құрамында Fe_2O_3 , CaO және басқалар да болады. Актинолитке және мүйіз алдамышқа өтпелі түрлестері анықталады.

Сингониясы моноклиндік. Сұрғылт-көк, ашық-көк немесе көкшіл-қара түсті ұзыншақ түйірлі, бағанаша, сәуле және талшық тәрізді агрегаттарда байқалады.

Сызығы көкшіл-сұр. **Жылтырлығы** шыныша. Ең таза, құрамында темір жоқ түрлестері үшін: $N_g=1,639$; $N_m=1,638$; $N_p=1,621$.

Қаттылығы 6–6,5. **Жіктілігі** призма {110} бойынша. **Мен. салмағы** 3,1–3,2. Қышқылдарда ерімейді.

Глаукофан кейбір кристалды тактатастарға (глаукофанды, слюдалы және басқа) альбитпен, хлориттермен, эпидотпен, кварцпен және басқалармен бірлестікте тән. Кривой Рогта (Украина), Қалба жотасының (Шығыс Қазақстан) магнетитті-амфиболды тактастарында, Апшеран түбегінде (Әзірбайжан) және басқа жерлерде белгілі.

АРФВЕДСОНИТ – $\text{Na}_3(\text{Fe,Mg})_4(\text{Fe,Al})[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH,F}]_2$. *Магнезийарфведсонитпен* – $\text{Na}_3(\text{Mg,Fe})_4(\text{Fe,Al})[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH,F}]_2$ изоморфты. **Сингониясы** моноклиндік. Қар түсті бағанаша тәрізді кристалдарда және сырықша немесе түйірлі агрегаттарда кездеседі. Тіпті жұқа шлифтердің

өзінде мөлдірлігі шамалы. **Сызығы** күңгірт көкшіл-сұр. $N_g=1,686-1,708$; $N_p=1,676-1,695$.

Қаттылығы 5,5–6. **Жіктілігі** призмалық {110} бойынша. **Мен. салмағы** 3,44–3,46. Қышқылдарда ерімейді.

Сілтілерге бай магмалық таужыныстарда кездеседі. Көбінесе нефелинді сиенитте содалитпен, эвдиалитпен және басқалармен бірлестікте байқалады. Пегматиттегі жекелеген кристалдары кейде 20 см-ге жетеді. Россияда күңгірт түсті таужынысжасаушы минерал ретінде Хибин және Ловозерск сілтілі массивтерінің нефелинді сиенитінде таралған.

АНТОФИЛЛИТ – $(Mg,Fe)_7[Si_4O_{11}]_2[OH]_2$. **Химиялық құрамы.** Химиялық талдау деректері бойынша магнийлі-темірлі түрлестерінің изоморфтық қатары болады. Бірақ таза темірлі де, таза магнийлі де түрлестері табиғатта әзірше кездеспеген.

Сингониясы ромбылық. **Кристалдарының келбеті.** Сирек кездесетін кристалдары тұтас массаларда сәуле, сырықша, көбінесе талшықты агрегаттар түрінде байқалады.

Түсі қошқыл-немесе сарғыш-сұр, қошқыл-жасыл, кейде қызғылт-қошқыл. $N_g=1,625-1,698$ және $N_p=1,605-1,668$.

Қаттылығы 5,5–6. **Жіктілігі** призма {110} бойынша жетік $125^{\circ}37'$ бұрышпен. **Мен. салмағы** 2,8–3,2.

Қышқылдарда ерімейді. $400^{\circ}C$ -тан жоғары температурада қыздырған кезде моноклиндік модификацияға өтеді. Яғни тек біршама төмен температурада ғана тұрақты. Айта кететіні, рентгенметриялық зерттеулер көрсеткендей, $1000^{\circ}C$ шамасындағы температурада энстатитке өтеді. Бұл жағдай жоғары температурада ОН шығарылған кезде қосарланған тізбекті SiO_4 тетраэдрлерінің жекеленгенге өтетінін білдіреді.

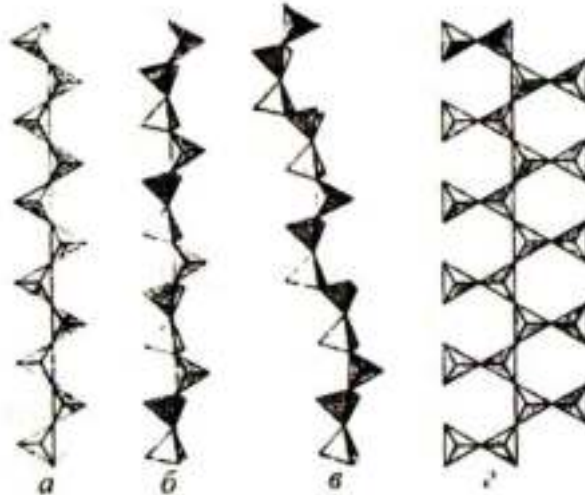
Кенорындары. Таужынысжасаушы минерал ретінде кейбір кристалды тақтатастарда кездеседі. Россияда ол Екатеринбург облысындағы (Орал) мәрмәрлі завод төңірегінде сипатталған және басқа жерлерде де кездеседі.

3. Жоғарыпериодты жекелеген тізбекті силикаттар

Волластонит (пироксеноидтар) тобы

Мұнда жоғарыпериодты $[Si_nO_{3n}]$ тізбекті $n>2$ болатын кездегі минералдар тобы жатады, олар бұрын триклиндік пироксен деп аталған. Эмпирикалық химиялық формуласы пироксендер формуласына дәл ұқсас және сондықтан олар метасиликаттарға жатқызылған. Сонымен бірге бұл минералдар құрылымдық жағынан (*323-сурет*) және бірқатар қасиеттері бойынша пироксендерден айрықшалаанады.

Бұрынырақ бұл топтың минералдарына аниондық радикалдардың сақиналық пішіні – $[Si_3O_9]^{6-}$ ұсынылған. Бірақ қазір сенімді анықталғаны, бұл минералда пироксендерге карағанда қайталанғыштық периоды үлкен тетраэдрлер тізбегі болады екен. Бұл жағдай Н.В. Белов көрсеткендей, кремнийоттек радикалының катиондардың ірі өлшемдеріне бейімделуіне байланысты.



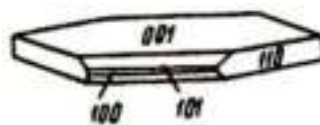
323-сурет. Силикаттар құрылымындағы кремнийоттек тетраэдрлерінің жекелеген тізбектері: *a* - пироксендік; *б* - волластониттік, *в* - родониттік; *г* - астрофилиттік

ВОЛЛАСТОНИТ – $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ немесе CaSiO_3 . Химик В. Волластонның (1766–1828) фамилиясы бойына аталған. Синонимі: тақтай шпат.

Химиялық формуласы, %: CaO – 48,3; SiO_2 – 51,7. Кейде FeO (9 %-ке дейін) анықталады, шамалы мөлшерде сондай-ақ Na_2O , MgO және Al_2O_3 болады.

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық. Кеңістіктік тобы $P1(C^1_i)$. $a_0=7,88$; $b_0=7,27$; $c_0=7,03$; $\alpha=90^0$; $\beta=95,16'$; $\gamma=103^025'$. Моноклиндік политиптері де анықталған. **Кристалдық құрылымы.** Н.В. Белов пен Х.С. Мамедовтың зерттеулеріне сай, волластониттің кристалдық құрылымында Барниктің түсінігіне қарамай, анион радикалы жекелеген $[\text{Si}_3\text{O}_9]$ тізбегінен тұрады. Мұнда екі $[\text{SiO}_4]$ тетраэдрі өзінің белсенді оттек иондарымен өстің бір жағына қараған, ал олармен кезектесетін үшінші $[\text{SiO}_4]$ тетраэдрі – екінші жағына қарайды (323 б-сурет). Ұсынылған құрылымның ерекшеліктерімен бұл топ минералдарының мынадай қасиеттері жақсы үйлесім табады: сынықтардың тақтай тәрізді пішінін анықтайтын жіктілігі, жиі байқалатын агрегаттарының талшықты құрылысы және басқа.

Кристалдарының келбеті. Волластонит тақташа (324-сурет), кейде *v* осі бойынша созылған кристалдар жасайды. Минералдың бұрынғы атауы (тақтайшпат) да осыған байланысты. Негізгі дамуға пинакоид $\{001\}$, аздау дәрежеде $\{100\}$, сондай-ақ призманың $\{110\}$, $\{101\}$ жақтары және басқалар ие болады. Қосақтары (100) және (001) бойынша. Агрегаттары парақталған, радиал-сәуле немесе сырықша пішінді, қабықшаланған, кейде жекелеген талшықтары параллель және торланып орналасқан талшықты.



324-сурет. Волластонит кристалы

Түсі. Волластонит ақ түсті, сұрғылт немесе қызғылтым реңді, кейде етқызыл. Нағыз мөлдір түссіз түрлестері де кездеседі.

Жылтырлығы шыныша, жіктілік жазықтықтарында кейде інжуше құлпырымды. $Ng=1,631$; $Nm=1,623$ және $Np=1,616$.

Қаттылығы 4,5–5. **Жіктілігі** {100} бойынша жетік және {001} бойынша орташа 74° бұрышпен; басқа бағыттары бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 2,78–2,91.

Диагноздаушы белгілері. Өзгерген әктастар жапсарында кездесетін тұтас массаларда әдетте ақ немесе сұрғылт-ақ түсі, радиал-сырықша агрегаттары, жіктілігі және жапсарлық-метасоматоздық жаралымды басқа минералдармен (анартастар, диопсид және басқа) парагенезисі бойынша танылады.

НСІ қышқылында кремнийтотық бөліп жақсы ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Негізінен қышқылды магманың ықпалына ұшыраған мәрмәрленген әктаста немесе магмалық таужыныстардағы қайта кристалданған әктас ксенолиттерінде кездеседі. Онымен бірлестікте әкті анартастар, диопсид, везувиан және скарн зонасының басқа минералдары байқалады. Мысалы, волластониттің *Тура кеніштерінде* (Солтүстік Орал), кейбір *Минусинск* жапсарлық-метасоматоздық руда кенорындарында және басқа жерлерде табылу жағдайлары осындай. Волластонит геденбергитпен және кейде датолитпен және данбургитпен *Дальнегорск* кенорнында (Приморье) ырғақты-зоналы скарн сферолиттерін жасайды. Волластониттің *Санта-Фе* маңындағы (Нью-Мексико, АҚШ) айрықша сирек кездесетін үлкен массалары (мыңдаған текше метр) айтуға тұрарлық. Кристалдар түрінде жанартау лақтырылындарында *Монте-Сомма* (Везувий) жанартауында байқалған.

Волластонит және де метаморфизм кезінде тереңдік зоналар жағдайларында жаралатын әкті кристалды тақтатастарда кездеседі.

Таза волластонитті таужыныстар ақ түсті «тау жүнін» даярлау үшін пайдаланылады, оның талшықтары берік әрі айтарлықтай ұзын болады. Балқыту электрпештерінде жүргізіледі.

РОДОНИТ – $\text{CaMn}_4[\text{Si}_5\text{O}_{15}]$. Атауы грекше *родон* – қызғылт дегеннен. Синонимі: орлец (орыс тілінде).

Химиялық құрамы, %: MnO 30–46; FeO 2–12; Ca 4–6,5 (табиғи үлгілерде одан аспайды, *бустамиттен* $(\text{Mn,Ca})_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ осысымен айрықшаланады); SiO_2 45–48. Қоспалар түрінде FeO , өте мардымсыз мөлшерде сілтілер мен Al_2O_3 болады.

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық. **Кристалдарының келбеті.** Қуыстарда сирек кездесетін кристалдары әдетте нашар жаралған, жақтары кедір-бұдыр және қырлары жұмырланған. Бірақ акад. Н.И. Кокшаров пішіндерінің саны 40-қа дейін жететін кристалдарын сипаттаған. Көбінесе тақталанған, изометрлі, кейде призма пішінді кристалдары кездеседі. **Агрегаттары.** Негізінен тұтас тығыз немесе түйірлі массалар түрінде байқалады.

Түсі. Родонитке қызғылт, кейде қызғылт-сұр түс тән. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше құлпырымды. $N_g=1,730$; $N_m=1,726$; $N_p=1,721$.

Қаттылығы 5–5,5. **Жіктілігі** {110} және {100} бойынша жетік, {001} бойынша нашарлау жетік. **Мен. салмағы** 3,4–3,75.

Диагноздаушы белгілері. Тұтас массаларда қызғылт түсі бойынша танылады. Шала тотығуға ұшыраған үлгілерінде марганец гидроокиселдерінің кара желішіктері төтенше тән. Бурамен және фосфор тұзымен Mn-ке реакция береді. HCl қышқылында баяу ыдырап, кремний тотықтың ақ ұнтағы жаралады.

Жаралуы және кенорындары. Біршама төмендеу температуралық минерал ретінде кейде *гидротермалық*, сондай-ақ *жапсарлық-метасоматоздық* кенорындарда родохрозитпен, бустамитпен және басқа марганец минералдарымен, ал кейде Mn, Zn, Pb және басқалардың сульфидтерімен бірлестікте кездеседі.

Айтарлықтай массаларда шөгінді марганец рудаларының *аймақтық метаморфизмі* процесінде марганец окиселдері немесе карбонаттары мен опал немесе кварц бойынша жаралады. Онымен парагенезисте әрдайым дерлік іс жүзінде көзге байқалмайтын бустамит шоғырлары, жиі марганецті жасыл түсті анартастар мен марганец карбонаттары байқалады.

Морыған кезде тотығуға төтенше оңай ұшырап, марганец гидроокиселдерінің кара жұғындылары, қабыршақтары, желішіктері жаралады. Екі валентті марганец тікелей төрт валенттікке өтеді. Тіпті бір жылдың ішінде таза қызғылт родонит кесегінің беті вернадиттің кара жұғынымен көмкеріледі.

Родониттің ең жақсы кенорындары Оралда, *Малая Седельникова* деревнясы маңында (Екатеринбургтен оңтүстікке қарай). Осы жерден кезінде көптеген тұтас кесектері өндіріліп, олар ірі және ұсақ бұйымдар жасауға пайдаланылған. Олардың көпшілігі мұражайларда сақтаулы. Марганецтің метаморфталған шөгінді рудаларының осындай, бірақ өлшемдері шағындау кенорындары Примагнитогорск ауданының (Орал) көптеген жерлерінде қабатталған қызыл яшма, туффит және басқа метаморфталған шөгінді таужыныстар арасында кездеседі. Олардың тотығу белдемі бай марганец рудасынан тұрады. Бұл руда кара металлургияда пайдаланылады.

Практикалық мәні. Тұтас родониттен тұратын шомбал таужыныстар әсемдік тас ретінде вазалар, жазатын құралдар, бағаналар қаптамасы және тағы басқалар жасау үшін қолданылған. Атап айтқанда, оны Москва метрополитенінің «Маяковская» бекетін әрлегенде пайдаланған.

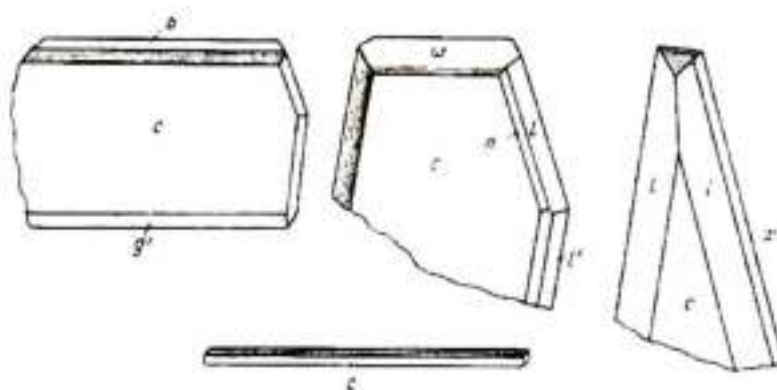
4. Кремнийоттек тетраэдрлері тарамдалған тізбекті силикаттар

Астрофиллит тобы

Мұнда тек қана астрофиллит сипатталады. Оның құрылымында кремнийоттек тетраэдрлерінің тарамдалған тізбегі болады (323 *г-суретте*).

АСТРОФИЛЛИТ – $(K,Na)_3(Fe^{2+},Mn)_7Ti_2[Si_4O_{12}]_2[OH,F]_7$. Mn пен Fe қатынасы кең ауқымда ауытқиды. Құрамында сондай-ақ ZrO_2 , BaO, MgO, Al_2O_3 және Nb_2O_5 болады.

Сингониясы триклиндік. Құрылымы жоғарыда (323 *г-суретте*), сондай-ақ жалпы сипаттамасы лампрофиллит–сейдозерит әулетінде берілген. Лампрофиллитке ұқсас. Кристалдары сирек және жетілмеген. Қалақша немесе *с* осі бойынша ине тәрізді келбет тән (325-сурет). Қалақша, кейде әсерлі жұлдызша агрегаттарда таралған.



325-сурет. Астрофиллит кристалдары

Түсі қола-қошқыл, алтын-сары, жирен. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше құлпырымды. $N_g=1,733$; $N_m=1,703$; $N_p=1,678$.

Қаттылығы 3–3,5. Морт. **Жіктілігі** $\{100\}$ бойынша жетік және $\{001\}$ бойынша жетілмеген. Жіктілігі бойынша сынғыш жұқа парақтарға жеңіл ажырайды. **Мен. салмағы** 3,28–3,3.

HCl және H_2SO_4 қышқылдарында ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Сілтілі интрузиялық магмалық таужыныстарда (нефелинді сиенитте және басқаларда) эгириинмен, кара слюдамен, дала шпаттармен, цирконмен, титанитпен және басқалармен бірлестікте *Хибин* массивінде (Кола түбегі) кездеседі. Сиенит-гнейс пегматиттерінің кварц ядросында *Кейвы* ауданында (Кола түбегі), *Инаглин* сілтілі-ультранегізді массивінде (Оңтүстік Якутия-Саха республикасы) және *Бурнал* массивінде (Забайкалье) белгісі. Алғаш Лангезунд-фиорд аралдарында (Норвегия) цирконды сиенитте анықталған.

Сілтілі мгамалық таужыныстар пегматиттерінде кең таралған. Ол кейде ірі қалақша бөлінімдер немесе шатасқан-қалақша агрегаттар түрінде, жиі ине тәрізді дарақтар түрінде болады. Сондай-ақ радиал-сәуле «Күн» тәрізді шоғырлары байқалады.

Г КЛАСШАСЫ. Кристалдық құрылымдары SiO_4 тетраэдрлерінің тұратын үзіліссіз қабатты силикаттар

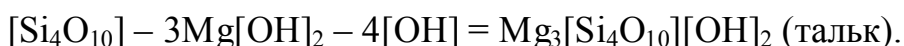
Мұнда біз слюда сияқты силикаттарды қарастырамыз. Олар гексагондық мотивті қабатталған кристалдық құрылымымен, сондай-ақ

солармен тектес қосымша радикалды минералдармен сипатталады. Соңғылар қабатшаға ұқсас құрылымға ие және де жалған гексагондық келбетті кристалдар береді.

Слюда сияқты минералдардың өзіндік химиялық ерекшелігіне олардың құрамында амфиболдар тобындағы сияқты әрдәйім гидроксил ОН, кейде F-мен бірге қатысатыны жатады. Гидроксил топтарымен бірге кремнийоттек тетраэдрлерімен тікелей байланысты катиондардан әдетте Mg^{2+} және Al^{3+} таралған, ал олардың алмастырушылары ретінде – Fe^{2+} , Ni^{2+} , (Mn^{2+}) , Li^{1+} және тиісінше F^{3+} , кейде Cr^{2+} , V^{3+} таралған. Олардан басқа, құрылымында SiO_4 тетраэдрлері жартылай AlO_4 -пен алмасқан көптеген минералдар құрамына қосымша ірі катиондар кіреді: K^{1+} , Na^{1+} , Ca^{2+} , сондай-ақ су молекулалары кіреді (олардың барлығы төменде көрсетілетіндей, байланыстырушы элементтер түрінде олармен тікелей байланысты кремнийоттек қабаттары мен иондарынан тұратын қабатталған пакеттер аралығында орналасады).

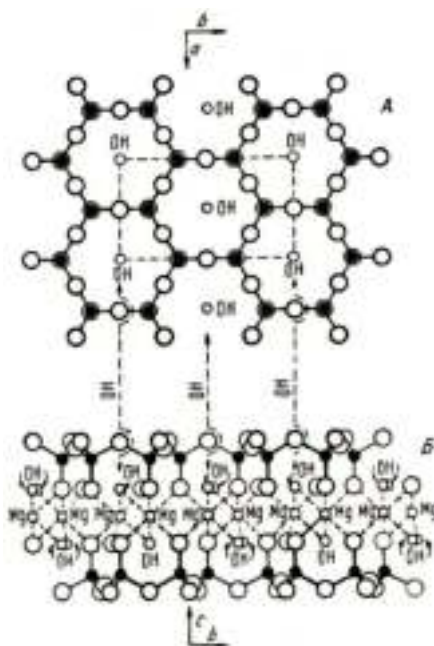
Слюдасияқты минералдардың физикалық қасиеттері әрине, кристалдық құрылым ерекшеліктерімен өте тығыз байланысты болады. Жазық тор құрылысы ең алдымен гексагондыққа өте жақын симметрияға ие болатын кристалдар келбетінде, бір остіге жақын оптикалық қасиеттерінде, біріккен қалақшалар бетіндегі соққы және сығу фигуралары деп аталатындарда көрініс табады. Кристалдық құрылымның қабатталған құрылысы бұл минералдардың жұқа парақшаларға ажыратылатын тамаша қасиетін қалыптастырады. Бұл парақшалардың серпімділік дәрежесі минералдардың түрлі топтарында бірдей емес, ал ол олардың кристалдық құрылымының ерекшеліктерінде өзінің көрінісін табатын химиялық құрамымен байланысты. Бұл мәселеге толығырақ тоқталу қажет. Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$ кристалдық құрылысына назар аударайық.

Барлық слюда сияқты минералдар үшін кремнийоттек тетраэдрлер қабатының формуласы біз білетіндей, $[Si_2O_5]$ радикалымен өрнектеледі. Мұнда барлық тетраэдрлердің белсенді шеттері дәл бір жаққа бағытталған (*326-сурет*). Бір-біріне белсенді жақтарымен қараған осындай екі гексагонторлық қабат бар жалпақ пакетке олардың аралығында орналасатын құрамы $Mg[OH]_2$ брусит қабаты көмегімен біріктірілген (*327-сурет*) және екі қабаттың жалпы $[Si_2O_5]^{2-}$ теріс заряды бейтараптанған. «Брусит» қабатының оң заряды мынаған байланысты, құрылымға кірген кезде ол өзінің гидроксилдерінің бір бөлігін жоғалтады (олардың орнын $[Si_2O_5]$ оттек радикалдарының белсенді иондары басады). Мұндай жалпақ пакетінің жаралуын мынадай теңдеу түрінде бейнелеуге болады:

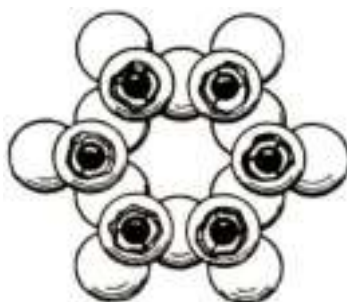


Брусит қабаты $Al[OH]_3$ гиббсит қабатымен алмаса алады. Онда жоғарыдағы сияқты мынаны аламыз:





326-сурет. Үзіліссіз қабат жасайтын байланысқан SiO_4 топтарының гексагондық торы (А). Төменде (Б) SiO_4 топтарының екі қабатынан тұратын және олардың аралығында орналасқан бір $\text{Mg}(\text{OH})_2$ қабаты құрылымының бүйірінен қарағандағы түрі көрсетілген. Оған тәні, SiO_4 тетраэдрлерінің төбешіктері екі қабатта да бір-біріне қарсы қараған



327-сурет. SiO_4 тетраэдрлерінің гексагондық сақинасы планда. Белсенді оттегі иондары бар тетраэдрлер төбешіктері байқаушыға қараған. Қара шариктер – Si^{4+} иондары (төрт оттегі ионының қоршауында)

Бірақ брусит $\text{Mg}[\text{OH}]_2$ пен гиббсит $\text{Al}[\text{OH}]_3$ формулаларын салыстыра келе айтатынымыз, оттегі атомдарының жалпы санын сақтау үшін пирофиллит жағдайында қабаттың әр бір үшінші октаэдрі бос болу керек. Ал талькте брусит қабатының барлық октаэдрлік қуыстары тола болады. Брусит немесе гиббсит қабатының бейнесі бойынша октаэдрлік қуыстардың толу дәрежесіне байланысты қабатталған силикаттардың тиісінше *триоктаэдр* және *диоктаэдр* құрылымдары ажыратылады.

Тальк құрылымында да, пирофиллит құрылымында бұл пакеттер толықтай дерлік өте мөлеленген өте берік ішкі байланысқа ие. Сондықтан мұндай пакеттер өзара өте нашар қалдық вандерваальс күштерімен байланысқан (пакеттердің сыртқы жазық беттерінде әр SiO_4 тетраэдрдегі оттегі иондары екі Si ионымен байланысқан және осыдан туындайтыны, пакеттерді өзара берік біріктіру үшін белсенді валенттік байланыс қалмайды). Тальк пен пирофиллиттің өте төмен қаттылығы, майысқақ

парақшаларға айрықша оңай ажыратылатындығы және де парақшаларда серпімділіктің болмауы осымен түсіндіріледі.

Кейбір минералдарда, құрамындағы Si^{4+} иондарының бір бөлігі Al^{3+} иондарымен алмасқандарда (сол төрттік координациясында) қасиеттерінің айтарлықтай өзгеруі байқалады. Бір Si^{4+} онын Al^{3+} ионына алмастыру, амфиболиттердегі сияқты анион радикалындағы теріс зарядтың бір бірлікке артуына әкеледі. Бұл жағдай пакеттің сыртқы жазық қабырғалары белсенді болады дегенді білдіреді. Осы қабылданған зарядты бейтараптандыру үшін *пакеттер аралығындағы кеңістікке бір валентті* ірі K^{1+} катиондары кіреді. Олар гексагондық, дәлірек айтқанда дитригондық (Н.В. Белов бойынша) сақиналардың қарсысындағы тек үлкен «қуыстарда» ғана орналаса алады. Бұл сақиналар кремний оттегі қабаттарында бұрын саналып келгендей онекілік емес, алтылық координацияда болады. Нәтижесінде бір-бірімен біршама берік, пакеттер аламыз. Осының салдарынан мұндай минералдардың нағыз (нағыз слюдалардың) қаттылығы тальктікіне қарағанда әлдеқайда жоғары болады: ажыратылатын жұқа парақшалары серпімділікке, яғни иген кезде бұрынғы қалпына қайта келетін қабілетке ие болады.

Егер Si_4O_{10} анион радикалында екі Si^{4+} ионы екі Al^{3+} ионымен алмасса, онда ондағы теріс заряд 2-ге дейін артады. Мұндай жағдайда ол енді *екі валентті* катиондармен, мысалы Ca^{2+} (өлшемдері бойынша кішілеу) иондары K иондарына қарағанда басқа жерлерде орналасады. Бұл жағдай, яғни *пакеттер аралығындағы байланыс беріктігінің артуы* слюда сияқты минералдар қасиеттерін айтарлықтай өзгертеді: қаттылығы артады, ажыратылғыштығы қиындайды, ажыратылған парақшалар сынғыш келеді. Осы себепті бұл минералдар тобына морт слюдалар деген атау берілген.

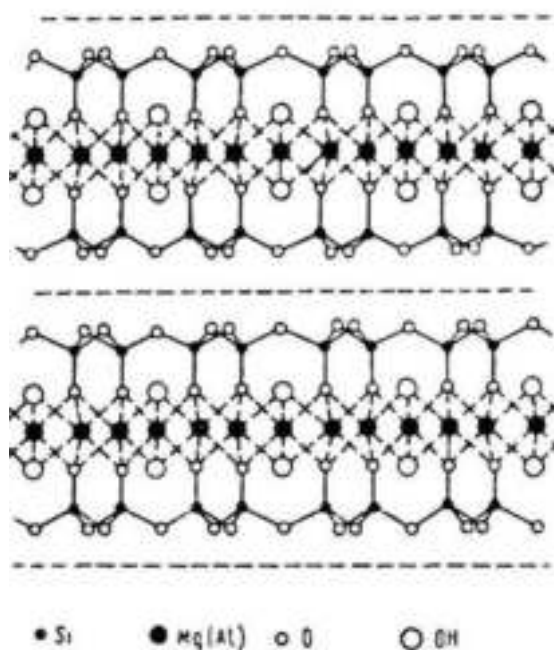
Қарастырылып отырған класша минералдары үшін изоморфтық алмасу туралы мәселе де айырықша қызығушылыққа ие болады. Mg^{2+} иондарының Fe^{2+} , Ni^{2+} және басқалармен, сондай-ақ Al^{3+} иондарының Fe^{3+} , Cr^{3+} және басқалармен кәдімгі изовалентті алмасуларынан басқа, өзгеше валентті иондармен алмасу тәсілі кең таралған, бірақ жалпы заряд бірдей болып қала береді. Мысалы, 3Mg^{2+} алмаса алады 2Al^{3+} -мен. Бірақ, шын мәнінде, мұндай алмасу «секіріс тәрізді» жүруі тиіс ($\text{Mg}_{12}\text{-Mg}_9\text{Al}_2\text{-Mg}_6\text{Al}_4\text{-Mg}_3\text{Al}_6\text{-Al}_8$), дегенмен іс жүзінде химиялық талдаулар бойынша бұл секіріс тәрізді, өзгерулері байқала бермейді. Айта кететіні, иондардың осындай алмасуы пакеттердің брусит-гиббсит қабаттарында орын алып, оларда үш Mg^{2+} ионын екі Al^{3+} ионымен алмастырған кезде бір орын бос қалады. Физикалық қасиеттері, оптикалық қасиеттерін және меншікті салмағын айтпағанда, мұндай жағдайда өзгермейді. Осында жататын минералдардың химиялық құрамындағы мұндай текті өзгеріс *ең маңызды* белгілерінің бірі болып, олардың жіктелімі осыларға негізделеді.

Қабатталған пакеттер аралығындағы нашар қалдық байланысқа ие кейбір слюда сияқты минералдарда, біз көретініміздей, брусит немесе гиббсит пакеттері орналасады (хлориттерде), ал кейде H_2O молекулаларының қабаттары болады (гидрослюдаларда және соларға ұқсас жаралымдарда). Барлық басқа да сулы минералдардағы сияқты, H_2O молекулалары

кристалхимиялық түсінік бойынша осы қабаттарда қатал бағдарланып орналасуы тиіс.

1. Тальк-пирофиллит тобы

Бұл топта физикалық қасиеттері бойынша аса ерекше екі минерал сипатталады. Слюда сияқты минералдар тарауының кіріспесінде айтылып кеткендей, бұл минералдардың кристалдық құрылымы бір-біріне төтенше жақын (328-сурет). Айырмашылығы тек мынада ғана, триоктаэдрлік тальк құрылымында Mg^{2+} катиондары екі гексагондық тор $[Si_4O_{10}]$ қабаттары аралығындағы барлық алтыкоординациялық орынды толтырса, ал диоктаэдрлік пирофиллит құрылымында Al^{3+} катиондары бұл орындардың тек үштен екісін ғана алып жатады. Сирек кездесетін құрамы бойынша аралық түрлестерінде (мысалы, пирофиллитте шамамен 30 % тальк молекулаларынан тұратын) жалпы құрамына байланысты магнийлік немесе алюмототықтық пакеттердің дүркін-дүркін енуі орын алатыны көрінеді, яғни мұндай минералдар аралас қабаттық жаралымдар болып табылады.



328-сурет. Тальктің (немесе пирофиллиттің) кристалдық құрылымы

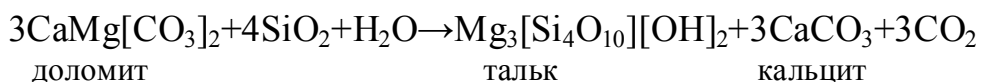
Осы класшадағы көптеген басқа минералдар топтарына керісінше тальк-пирофиллит қатарында Mg^{2+} -нің Fe^{2+} және Ni^{2+} -ге изоморфтық алмасуы әзірше тар ауқымда анықталған. Бұл минералдардың көптеген физикалық қасиеттерінің жақындығы сондай, сыртқы белгілері бойынша пирофиллитті жиі тальк дейді және керісінше.

ТАЛЬК – $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$ немесе $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. Минералдың ежелгі арабша атауы.

Химиялық құрамы, %: MgO – 31,7; SiO_2 – 63,5; H_2O – 4,8. Әдетте MgO -ның бір бөлігі FeO -мен алмасқан болады (2–5 %). Одан басқа, біршама

интрузияларымен генетикалық байланыстағы гидротермалар әрекетіне баайланысты. Осы әрекет нәтижесінде құрамы бойынша сан қилы таужыныстар: тальк-хлоритті көбінесе турмалин кристалдарымен, кейде магнетитпен және эпидот, апатит және басқа минералдар түйірлерімен; пироксен-анартас-эпидотты – ұшпа компоненттермен бірге кремнийтотық әкелінуі салдарынан жаралған; тальк-карбонатты гематитпен және магнетитпен; тальк-хлорит-актинолитті және басқа таужыныстар пайда болады. Ірі парақша тальк құрамында тальк бар таужыныстар арасында созылымына көлденең орналасатын желішіктер мен желілер түрінде кездеседі.

Тальк кенорындары жапсарлық-метасоматоздық процестермен байланысты. Олар гидротермалық сатыда доломит пен интрузиялық таужыныстар шекарасында жаралады. Мұндай жағдайларда тальк линза тәрізді денелер түрінде кездеседі және тазалығымен әрі жоғары сорттылығымен айрықшаланады. Оның жаралуы мынадай сұлба бойынша жүретіні көрінеді:



Карбонат таужыныстармен байланысты ірі кенорындары *Канадада* Мэдок округінде белгілі. Линза тәрізді тальк жатындары қардай аппақ, ақшыл-сұр және қоңырқай түсті карбонаттар (кальцит пен доломит), тремолит және басқа минералдар қоспасымен бірге парақша тальктен тұрады.

Практикалық мәні. Тальк өнеркәсіпте кең қолданылады. Ол негізінен ұсатылған түрде (тальк ұнтағы) және кейде кесек тальк формасында қолданылады.

Майда ұнтақталған тальк қағаз, сондай-ақ резина өнеркәсібінде осы материалдың көлемін үлкейту үшін оның пайдалы қасиеттерін елеулі өзгертпейтін толтырушылар ретінде пайдаланылады. Темірсіз жоғары сорттары парфюмерияда (пудра-ұнтақ, жақпа, сықпа май дайындаған кезде) қолданылады. Бояу өнеркәсібінде оттан қорғайтын және жарықтөзімді бояу, шыны, материал, металл үшін жұмсақ қарындаштар даярлауға тұтынылады. Тоқыма өнеркәсібінде тальк ұнтағының адсорбциялаушы (оптаушы) қасиеттері пайдаланылады – мақтаны ағарту үшін, май дақтарын кетіруге және басқа мақсаттарда. Керамика (қыш) өнеркәсібінде тальк ұнтағы жоғары вольтты электр оқшаулауыш, көк зер, қышқыл-сілтитөзімді ыдыстар, су ағызатын құбырлар және басқалар жасау үшін қолданылады.

Тальк тас, егер оның құрамында басқа минералдар қоспасы (негізінен карбонаттар мен хлориттер) болса кірпіштер, бу машиналарының қазандығын және басқалардың ішін қаптау үшін қолданылады. Және де ұсатылған тальк тастан флотациялап байыту көмегімен таза тальк өнімін алуға болады.

ПИРРОФИЛЛИТ – $Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2$ немесе $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. Грекше *пирос* – от, *филлон* – парақ. Атауы бұл минералдың дәнекерлеуші түтікше алдында жұқа парақшаларға ажырау қабілеті салдарынан берілген. Алғаш минералдық түр ретінде Р. Герман 1829 жылы *Березевск* алтынрудалы кенорнында (Орал) анықтаған.

Химиялық құрамы, %: Al_2O_3 – 28,3; SiO_2 – 66,7; H_2O – 5. Жекелеген компоненттердің мөлшері біршама кең ауқымда ауытқиды. Қоспа түрінде анықталатындар: MgO (9 % және одан да жоғары болуы ықтимал), FeO (5 %-ке дейін), Fe_2O_3 , мардымсыз мөлшерде CaO , сілтілер және титан окисі.

Сингониясы моноклиндік. Кеңістік тобы $C2/c(C^6_{2h})$ немесе $Cc(C^4_s)$. $a_0=5,14$; $b_0=8,90$; $c_0=18,55$; $\beta=99^\circ55'$. Өлшеуге жарамды кристалдары кездеспейді. Әдетте парақша-сәуле агрегаттар немесе жасырын қабыршақты тығыз таужыныс түрінде кездесіп, агальматолит немесе паготит (грекше *агальма* – мүсін, *пагода* – будда құдайы храмы) деп аталады. Осы тастан қытай құдайының мүсіндері жасалған.

Түсі. Пиррофиллит сарғыш реңді ақ немесе солғын-жасыл; көбінесе шала мөлдір. **Жылтырлығы** шыныша, інжуше құлпырымды, парақша агрегаттарда. $N_g=1,600$; $N_m=1,588$; $N_p=1,552$.

Қаттылығы 1. Сипағанда майлы. Жұқа парақшалары майысқақ, серпімділігі жоқ. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік. **Меншікті салмағы** 2,66–2,9.

Диагноздаушы белгілері. Өте төмен қаттылық, ашық түс, інжуше немесе құлпырма жылтырлық тән. Тальктен химиялық талдауларсыз немесе азотқышқылды кобальтпен реакциясыз ажыратылмайды. Көптеген жағдайда оны тальк деп қабылдауы аса ықтимал. Пиррофиллит кенорындары алғашында тальктікі ретінде зерттелген жағдайлар белгілі.

Жұқа парақшаларға ажыратылады да қардай ақ массаға айналады. Жабық түтікшеде қыздырған кезде жоғары температурада су бөлініп шығады да күміс түске ие болады. Қышқылдарда ерімейді. $Ca[NO_3]$ ерітіндісімен қыздырғаннан кейін көк түсті қабылдайды (Al болуынан).

Жаралуы және кенорындары. Кейбір *гидротермалық* желі кенорындарда төмен температуралық минерал ретінде кварцпен, карбонаттармен, гематитпен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Бұл минералдар әдетте қышқылды магмалық таужыныстардың гидротермалық ыдырауы нәтижесінде жаралады.

Сондай-ақ кейбір алюмототыққа бай метаморфтық тақтастарда таралған, кейде айтарлықтай массаларда. Және де андалузит, кианит, мусковит және басқа алюминий силикаттары мен алюмосиликаттар бойынша псевдоморфозалар түрінде белгілі. Олардың гидротермалық әрекет үстіленген процесте жаралатыны көрінеді.

Пиррофиллиттің солғын-жасыл бояуы және інжуше жылтырлығы бойынша әсем жұлдыз тәрізді және парақша-сәуле агрегаттары кварц желілерінде пиррофиллит-карбонат таужыныстарда *Березевск* және *Пышмин* кенорындары аралығы ауданында Оралда (Екатеринбург маңында) кездеседі. Мұнда пиррофиллит ортасы кварцқа толған желілер қабырғасында жиектер

түрінде байқалады. Ұсақ жапырақша және тығыз массада *Миасс* қаласы маңында да (Оңтүстік Орал) кездескен. Агальматолит *Сары-Хая* кенорындарында белгілі (Тыва, Россия).

Агальматолиттің ірі кенорындары *Қытайда* белгілі. Айтарлықтай, массада пиррофиллит тақтасы түрінде Арканзас, Джорджия және Солтүстік Каролина штаттарында (АҚШ) таралған. Бразилияда, *Оуро-Прето* (Минас-Жерайс) маңында парақша агрегаттар формасында топазбен бірлестікте кездескен. Жалпы айта кететіні, пиррофиллит кең таралғандығымен белгілі.

Практикалық мәні. Тұтас өлшемдері бойынша, айтарлықтай масса түрінде шоғырланған жағдайларда өнеркәсіптік мәнге ие болатыны күмәнсіз. Пиррофиллиттің қасиеттері оны қағаз, керамика, құрылыс (өттөзімді тас ретінде), электротехника (оқшаулауыш үшін), резина (толтырғыш ретінде), және басқа өнеркәсіп салаларында кең пайдалануға мүмкіндік береді. Оның қолданылуы туралы кеңірек жоғарыда айтылған (*талькте*). Баяғы замандарда Қытайда оның тығыз түрлестері қытай агальматолиті деген атаумен белгілі болып, әр түрлі бұйымдар, мүсіншелер, қарындаштар және басқалар даярлау үшін қолданылған.

2. Слюдадар тобы

Слюдадар табиғатта кең таралған минералдар қатарына жатады. Көбінесе олар таужынысжасушы минералдар болып табылады. Олардың жер қыртысындағы жалпы мөлшері шамамен 3,8 % болады; мұнда олар негізінен қышқылды магмалық таужыныстарда және кристалды слюдалық тақтатастарда кездеседі.

Құрылымдық жағынан слюдалар тальк пен пиррофиллитке ұқсайды, бірақ брусит немесе гиббсит қабатынан жаралған кремнийоттек тетраэдр торларымен көмкерілген слюда пакеттері, электрлік бейтарап болмайды. Бұл жағдай қабатаралық кеңістікке ірі катиондарды қабылдауға мүмкіндік жасап, олар теріс заряды бар пакеттер аралығындағы байланыстың күшеюіне қызмет жасайды. Слюда пакеттері негізінде брусит те, гиббсит те қабагтары жата алатындықтан, осы белгісі бойынша слюдалар тиісінше три- және диоктаэдрлікке бөлінеді.

Слюдадар тобы минералдарының химиялық құрамы айырықша өзгергіш. Бір катиондарды басқалардың алмастыру құбылысы аса кең таралған. Химиялық көзқарас бойынша бұл минералдар алюмосиликаттар тобы болып табылады. Олардың типтік құрамы мынадай түрде өрнектеледі: $R^+R^{2+}_3[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ немесе $R^+R^{2+}_3[AlSi_3O_{10}][OH]_2$, немесе $R^+R^{3+}_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$, мұнда $R^+=K$; $R^{3+}=Al$, жиі Fe^{3+} , Mn^{3+} , кейде Li^{1+} және басқа. Na^{1+} ионы слюдалар құрамында айтарлықтай мөлшерде сирек болады, ал Ca^{2+} және Ba^{2+} әдетте болмайды. Гидроксилді F алмастыра алады (негізінен магнийлі және литийлі слюдаларда).

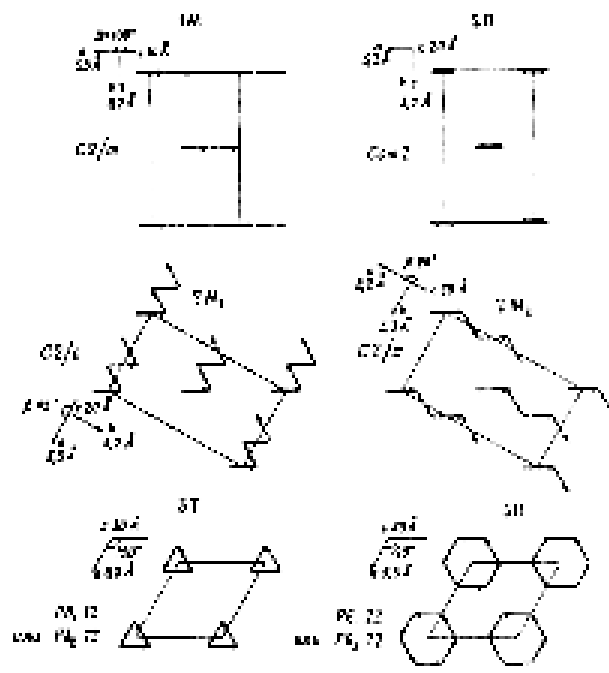
Осылайша, слюдаларда изоморфты қоспалар кең анықталады, оларда бір жағынан әдеттегідей Mg^{2+} алмасады F^{2+} -мен, Al^{3+} алмасады Fe^{3+} -пен, ал

екінші жағынан, әрине, гетеровалентті изоморфты $Mg^{3+}(Fe^{2+}) - Al^{3+}(Fe^{3+})$ және басқа алмасулар болады.

Слюдадар тобы минералдар түрінің көпшілігі моноклиндік сингонияда кристалданады. Мұнда кристалдар пішіні құрылымдардың тетраэдрлік пен октаэдрлік торлы құрылысына байланысты гексагондыққа жақын. Кристалдық құрылымдар нағыз қабаттылығы жатады, бұл жағдай көптеген политиптерінің болуына әкеледі.

Политиптер аралығындағы айырмашылықтар аса нәзік болып келеді. Слюдадардағы политипияның мәнісі мына сәттерге саяды. Гидроксил ионы орналасуының брусит немесе гиббсит октаэдрлік қабаттарының төменгі және жоғарғы жақтары аралығында әрдайым ығысу болады (*326-суретте*, төменгі жағында). Ал осы кезде екі кремнийоттек торымен және қабатаралық катионмен бөлінген көршілес пакеттерден тұратын екі октаэдр қабатының қарсы жақтарындағы дәл осындай гидроксилдер тікелей бірінің үстінде бірі орналасды (*328-суретте*). Симметрияның ығысу нәтижесінде төмендейтіндігі сондай, қабат жазықтығында көлбеу қырлары аралығындағы бұрышы тік болатын ортогексагондық ұяшық деп аталатынды таңдау керек болады, бұл жағдай *326-суреттің* жоғарғы жағында берілген. Жоғарғы буданың бір октаэдрлік қабатынан келесісіне өткен кезде барлық конфигурация көлбеу жазықтықта a ұяшығы векторының үштен бір бөлігіне ығысқан болып шығады, яғни кремнийоттек торы сақиналарының центрлері аралығында ең қысқа қашықтыққа (*326-суретте*). *328-суретте* мұндай ығысу байқалмайды, өйткені ол байқаушы бағытында өтеді. Ығысулар буда ауқымында үш бағыттың бірінде жүреді, ал пакеттердің тік ось төңірегінде ықтимал бұрылуларын ескерсек – алты бағытта 60° бұрыш бойынша еселенеді. Мұндай ығысулардың әр түрлі тұрақты комбинациялары қабаттар саны әр түрлі политиптердің де пайда болуына әкеледі (*329-сурет*). Түрлі политиптер ұяшықтары c осінің еңістігімен және оның бағдарлануымен ажыратылады. Кейбір жағдайларда барлық құрылым симметриясы бір слюда пакетінің моноклиндік симметриясымен салыстырғанда ромбылыққа (политип $2O$), тригондыққа ($3T$) және тіпті гексагондыққа ($6H$) дейін жоғарылайды, бірақ ең көп таралуға моноклиндік $1M$, $2M_1$ және $2M_2$ политиптер ие болады. Мұндай құбылыстар іс жүзінде барлық қабатталған силикаттарға тән.

Кристалдық құрылымдардағы Al айрықша қызығушылық туындатады. Слюдадар құрылымының жалпыға ортақ сипатталуына сай, бізде төменде көретініміздей, бұл элемент алюмоотек тетраэдр топтары түрінде тек жартылай ғана комплексті анион құрамына кіріп, әдетте кремнийоттек тетраэдрлерінің ширекке жуығын ғана (жартысынан аспайды) алмастырады. Оның артығы катиондар қатарында енді алтылық координацияда қатысып, Mg катиондарын алмастырады. Күшті темірлі слюдаларда Fe – те өзін осылай ұстайтынын көреміз.



329-сурет. Слюдадардың мүмкін политиптік модификациялары (Дж. Смит пен Н. Йодер бойынша). Нұсқаулар элементар ұяшық негізінің кейінгі слюда пакеті алдыңғы пакеттің үстіне түскен кездегі ығысуды көрсетеді. Контурмен ұяшықтың көлбеу қырлары көрсетілген.

Слюдадардың физикалық қасиеттері олардың химиялық құрамының үлкен айырмашылығына қарамай, көп жағдайда ұқсас келеді, өйткені кристалдық құрылымдары бір типті.

Табиғатта слюдалардың жаралу жағдайлары кейбір ерекшеліктерімен айрықшаланады. Жоғары температуралық эффузиялық таужыныстарда, бұл минералдар магманың алғашқы бөлінімдері ретінде ешқашан кездеспейді. Негізінен қышқылды және орташа құрамды интрузиялық магмалық таужыныстарда олар соңғы магмалық және постмагмалық минералдар ретінде жеңіл ұшпа агенттер ықпалынан жаралатыны көрінеді (мусковитті гранит, грейзен). Ірі кристалды слюдалар пегматиттер арасында, көбінесе жоғары және орташа температуралық, гидротермалық вольфрам, молибден және басқалар кенорындарында кездеседі. Олар сондай-ақ көптеген метаморфтық таужыныстарда, атап айтқанда гнейстерде, кристалды тақтатастарда кең таралған.

Слюдадар химиялық құрамының ерекшеліктеріне сәйкес мынадай топшаларға бөлінеді:

- 1) биотит (магнийлі-темірлі слюдалар);
- 2) мусковит (алюминийлі слюдалар);
- 3) лепидолит (литийлі слюдалар).

Биотит топшасы

Бұл топшаға триоктаэдрлік магнийлі-темірлі слюдалар жатады: *флогопит* пен *аннит* қатарының шеткі мүшелері; олардың аралығындағы қатты ерітінділер биотит деп аталады.

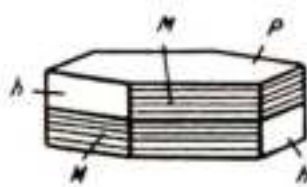
ФЛОГОПИТ – $\text{KMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{F,OH}]_2$ немесе $\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (F-ды OH-қа өткізгенде). Атауы грек сөзі *флогитос* – от тәрізді (минералдың түсіне байланысты) дегеннен шыққан. Синонимі: магнийлі слюда. Өзінің темірлі баламасы *аниттен* үзіліссіз изоморфты қатар жасайды (аннит – $\text{KFe}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{F,OH}]_2$).

Химиялық құрамы, %: K_2O 10,3; MgO 21,4–29,4; Al_2O_3 10,8–17 (формуласы бойынша 12,2 болуы тиіс); SiO_2 38,7–45 (формуласы бойынша 43,2 болуы керек); H_2O 0,3–5,4; F 6-ға дейін. Қоспалардан көбінесе болатыны: FeO (9 % шамасына дейін), BaO 2,5 %-тей (барифлогопит), Na_2O (2 %-тей), сондай-ақ Fe_2O_3 , кейде MnO, CaO, Cr_2O_3 , NiO және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=5,32$; $b_0=9,21$; $c_0=20,48$; $\beta=100^\circ 12'$. Келтірілген кеңістіктік тобы және ұяшығының параметрлері $2M_1$ политипіне сәйкес келеді, бірақ триоктаэдрлік слюдаларда көбірек таралған $1M$ политипі. Слюдалардың кристалдық құрылымы айтылып кеткендей кремнийоттек тетраэдрлері қабаттарында алюмооттек тетраэдрлері болуымен сипатталады (Al:Si=1:3 қатынасында). Осының салдарынан формуласы $\text{Mg}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{F,OH}]_2$ болатын үш қабатты пакеттер аралығында қалдық теріс заряд пайда болады да ол бір валентті K^{1+} катионымен өтемеленеді (төменде *334 а-суретте* көрсетіледі).

Басқа слюдалардан айырмашылығы, флогопитте қабатты пакеттер ішінде екі алюмокремнийоттек қабаты аралығында алтылық координацияның барлық жерінде Mg иондары орналасады. **Кристалдарының келбеті** тақташаланған (жалған гексагондық), қысқа призмалық, кейде қиық-пирамидалық. Кристалдары жиі дөрекі жаралып, бүйірлік жақтарында айқын білінген параллель айғызы болады. Пішіндері бойынша биотит кристалдарынан ажыратылмайды. Қосақтары жиі. Жалпы, слюдалар қосақтары әр түрлі заңдар бойынша жаралуы мүмкін. Көбінесе кездесетіндері мынадай: оларда қосақ осі (001) кірігу жазықтығында жатады және мұнда c осіне және (001):(110) қырына перпендикуляр болады (*330-сурет*); бұдан шығатын қосақ жазықтығы (001) жазықтығына перпендикуляр және $M\{110\}$ жағына параллель орналасады. Бұл слюда заңы деп аталатын қосақтану. Осы заң бойынша ортақ $\{001\}$ пинакоидты үшемдер де жаралады. Осындай үшемдерде дарақтар бір-біріне кірігіп кетеді (*331-сурет*). Оларда қосақ жымдарына қатысты қауырсын құрылыс жиі байқалады, бұл құбылыс (110):(001) қырына перпендикуляр түзу сызықты майда қатпарлар немесе дөрекі білінген айғыздар орналасуына байланысты. Слюдаларға тән емес басқа заң хлорит заңы деп аталады; кірігу жазықтығына сәйкес келетін қосақ жазықтығы болып (001) табылады. **Агрегаттары** парақша-қалақша, қабыршақты.

Түсі. Флогопит ашық сарғыш-қошқыл немесе қызғылтым-қошқыл, кейде түссіз, күмісше, кейде жасылтым ренді; қалың парақта күңгірт-қошқыл. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=N_m=1,565-1,606$ және $N_p=1,535-1,562$.

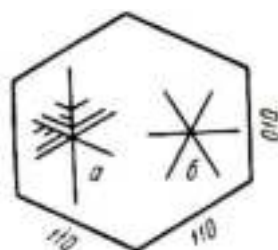


330-сурет. Слюда заңы бойынша қосақ



331-сурет. Слюда заңы бойынша үшем кірікпесі

Қаттылығы 2–3. Жұқа парақшалар серпімділікке ие. **Жіктілігі** аса жетік $\{001\}$ бойынша, жетілмеген жіктілік $\{110\}$ және $\{010\}$ бойынша білінеді, олар сырғанау жазықтықтары болады. Бұл жазықтықтар *соққы мүсіні* деп аталатында айқын байқалады, ол барлық слюдаларда егер бетіне доғал инені қойып оны балғамен қатты соғып қалғанда жіктіліктің (001) жазықтығында пайда болады. Нәтижесінде соққы нүктесінен тарайтын өзара қиылысатын үш сызықта алтысәулелі жұлдызға ұқсас жүйе жаралады (332-сурет). Екі сәуле призманың $\{110\}$ қырларына дәл параллель болса, ал үшіншісі – ең ұзын сызығы симметрия жазықтығына параллель. Егер де жұмсақ бірдеңенің үстіне қойылған қалың қалақты инемен емес, шарикпен немесе цилиндр таяқшаның жұмырланған шетімен басып қалса, онда *сығу мүсіні* жаралады, яғни сәулелерінің бағыты қырларына перпендикуляр алтысәулелі жұлдыз жаралады (323-суретте). Бұл бағыттар соққы мүсінімен салыстырғанда 30° бұрышқа бұрылған. Екі мүсін барлық слюда тәрізді минералдарға тән. **Меншікті салмағы 2,7–2,85.** **Басқа қасиеттері.** Өте жоғары омдық кедергіге және электр оқшаулағыш қасиеттерге ие.



332-сурет. Соққы фигурасы (a) және сығу фигурасы-өрнегі (б) слюданың жіктілік жазықтығы бетінде

Диагноздаушы белгілері. Флогопиттің ашық түрлестері сыртқы белгілері бойынша іс жүзінде мусковиттен ажыратыла қоймайды, бірақ оптикалық константалары әр түрлі: флогопит, басқа да магнийлі-темірлі күңгірт слюдалар сияқты, оптикалық бір осьті, ал мусковит болса айқын екі ості және оптикалық остерінің бұрышы үлкен болады. Биотиттен ашықтау түсі бойынша ажыратылады.

Қышқылдарда ыдырайды, әсіресе H_2SO_4 қышқылында.

Жаралуы және кенорындары. Біршама жиі *жапсарлық-метасоматоздық* жарылымдарда және доломиттенген әктасты немесе кремнийтотық пен темірге жұтаң басқа магнийлі таужыныстарды (мысалы, серпентинит) қиып өтетін пегматит желілерінде кездеседі. Флогопиттің нағыз серіктеріне диопсид, форстерит, шпинель, доломит, кальцит, далашпаттар, скаполиттер және басқалар жатады. Кенорындары карбонатиттерде белгілі (*Ковдор*, Кола түбегі), мұнда темірлігі өзгермелі, ірі зоналанған кристалдары кездеседі (*333-сурет*). Бұл кристалдар кальцитпен, форстеритпен, диопсидпен, магнетитпен және мелилитпен бірлестікте болады.



333-сурет. Флогопиттің зоналанған кристалы. Ковдор

Метаморфтық таужыныстарда да (кристалды тақтатастарда) таралған, әдетте темірге біршама жұтаң минералдармен бірлестікте. Мөлдір шлифтерде оптикалық константаларын өлшемесе, оны мусковит деп оңай қабылдауға болады.

Оның мысалына *Слюдянск* флогопит кенорындары жатады (Байкал көлі Забайкалье темір жолы Слюдянка бекеті маңында). Мұнда гранит интрузияларымен генетикалық байланысты кристалды тақтатастар, гнейс пен мәрмәрдің күрделі комплексі арасында, қиып өтетін көптеген пегматит желілері мен метасоматоздық жарылымдар пайда болған. Флюгопитұстамды минерал денелері әдетте пироксен-амфиболды гнейстерде және көбінесе топтанып кездеседі. Мұндай желілердің құрылысы біршама күрделі. Қапталдас таужыныстарда (олардың құрамына тәуелсіз) диопсид-флогопитті жарылымдар дамиды. Ірі кристалды флогопит әдетте диопсидпен, скаполиттермен, кальцитпен, апатитпен және басқа минералдармен бірлеседі. Кристалдары жиі бөшке тәрізді пішінге ие, көбінесе ұштары үшкір, өлшемдері ұзындығында кейде 1,5 м-ге дейін. Түсіне сай флогопит кристалдарының мынадай сорттары бөлінеді: 1) түссіз немесе сарғыш реңді; 2) күмісше ақ, негізінен әктас арасында; 3) янтарьдай – аплит тәрізді гнейстер арасында; 4) шиі немесе янтарь-қызыл; 5) күңгірт-қоңыр, кейде алтын құлпырымды; 6) күңгірт-жасыл және 7) қара-пироксен-мүйізсалдамышты және биотитті гнейстерде. Темірлі флогопит мұрыған кезде ағарады және көгілдір түске боялады. Флогопит кристалдары арасында кальцит, скаполит пен диопсид кірінділері жиі байқалады, ал микроскоп астында және де өте жіңішке инелер (сагенит) сияқты рутил мен басқа минералдар анықталады. Осындай флогопит кенорындары Шығыс Сібірдің Алдан ауданында таралған.

Шамамен осындай жағдайларда желілер және бұрыс пішінді ұялар түріндегі *Онтарิโอ* провинциясы (Канада) кенорны орналасқан. Флогопит кальцитпен, диопсидпен және апатитпен бірлестікте сан қилы сандық қатынаста кездеседі. Кристалдары диаметрінде 2 м-ге жетеді. Янтарь түстісі – ең кәдімгісі. Осындай типті кенорындар *Мадагаскар*, *Цейлон* аралдарында, Индияда, Кореяда және басқа жерлерде белгілі.

Практикалық мәнге флогопиттің ірі кристалды массалары ие. Қолданылуы туралы *мусковитте* айтылады.

БИОТИТ – $K(Fe,Mg)_3[AlSi_3O_{10}][OH,F]_2$ немесе $K_2O \cdot 6(Mg,Fe)O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$. Аса кең таралған минерал. Биотит деп әдетте флогопит-аннит қатарының ферродоминант мүшесін атайды. Бірақ мұндай жағдайда биотит *аннит* түрі атауын алмастырады. Ал биотит қазіргі кезде тұтас топты белгілеу үшін термин ретінде қабылданғанын ескерсек, оны қатардың кез-келген аралық мүшесіне жатқызуға болады. Бірақ әдетте биотит деп бәрібір қошқыл немесе қара триоктаэдрлік слюданы атайды.

Химиялық құрамы. Биотит деп аталатын минералдарды талдау оның құрамының мынадай шамада ауытқитынын көрсеткен, %: K_2O 6,18–11,43; MgO 0,28–28,34; FeO 2,74–27,6; Fe_2O_3 0,13–20,65; Al_2O_3 9,43–31,69; SiO_2 32,83–44,94; H_2O 0,89–4,61; F 0–4,23. Қоспалары: TiO_2 , Na_2O , сондай-ақ V_2O_5 , Li_2O , MnO , BaO , SrO , Cs_2O және басқа.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C)$. $a_0=5,30$; $b_0=9,21$; $c_0=20,32$; $\beta=99^\circ 18'$. **Кристалдарының келбеті** тақташа, жалған гексагондық, көбінесе бағанаша, пирамида келбетті. Ірі кристалдары кейде зоналанған құрылысқа ие. Қосақтары әдетте слюда заңы бойынша. **Агрегаттары** тұтас парақша және қабыршақ-түйірлі массаларда кездеседі. Кристалдарының друзасы біршама сирек.

Түсі. Биотит қара, қошқыл, кейде жирен, қызғылт, жасылтым және басқа реңді. Беймөлдір немесе жарық өткізеді. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше құлпырымда. $Ng=Nm=1,60–1,66$ және $Np=1,56–1,60$.

Қаттылығы 2–3. Жекелеген жұқа парақшалары серпімділікке ие. **Жіктілігі** аса жетік $\{001\}$ бойынша және жетілмеген $\{110\}$ мен $\{010\}$ бойынша. **Меншікті салмағы** 3,02–3,12.

Диагноздаушы белгілері. Макроскоптық жолмен қара түсі және өзіндік сыртқы белгілері бойынша танылады. Микроскоп астында ол қанық бояуы мен күрт білінген плеохоризмі бойынша оңай анықталады.

HCl қышқылы нашар әсер етеді, бірақ қою H_2SO_4 қышқылында толық ыдырайды да кремний тотықтың ақ қаңқасы тұнады.

Жаралу және кенорындары. Биотит таужынысжасаушы минерал ретінде сеппелер түрінде көптеген магмалық таужыныстарда кездеседі. Ірі кристалдарда биотит *пегматит* желілерінде байқалады. Ол сондай-ақ мусковитпен бірлестікте кездесіп, онымен кейде параллель немесе зоналы кірікпелер жасайды. Мұнда жіктілік жазықтықтағы екі слюда дарақтарында үзіліссіз өтеді. Сеппелік түрінде көбінесе *жапсарлық мүйізтас* деп

аталатындарда анықталды, бұл таужыныстар гранит магманың әдетте бейкарбонат құрамды таужыныстарға ықпал етуінен жаралады.

Рудалы гидротермалық желілерде биотит өте сирек кездеседі, соның өзінде әдетте шала бүлінген күйде.

Аса кең таралуы кейбір *метаморфтық* таужыныстарда: кристалды тақтатастарда, атап айтқанда гнейсте.

Қарқынды химиялық мору процесінде ыдырауға ұшырайды. Мұнда сілтілер шығарылады, екі валентті темір үш валенттілікке өтеді. Бір мезгілде гидратация (гидробиотитке – биотит-вермикулит құрамды аралас қабатты минералға өтуі) орын алатыны көрінеді. Минерал жылтырлығын, серпімділігін жоғалтады, болбырға айналады. Химиялық ыдыраудың ақырғы сатысында темір гидрооксилдері мен саз зат жаралады.

Жылдам эрозия кезінде биотит химиялық біршама төзімді минерал ретінде шашылымға өтеді, парақтары оңай ажыратылады, уатылады және өте майда ұйық материалмен бірге тоқырау суда түзіледі. Ол мұнда уақыт ағымында кейбір өзгерістерге ұшырайды да қарқынды алтынша реңді қабылдайды. Бұл алтынша жылтырақтар шайған кезде оңай байқалады; жеңілдеу минерал ретінде олар шайылған шөгіндінің бетінде түзіледі. Қарапайым халық тілінде олар мысық алтын деген атау алған.

Және бір анықталғаны қазіргі теңіз шөгінділерінде биотит түйірлері гальмиролиз процесіне ұшырайды яғни суасты «моруына», мұнда олар біртіндеп глауконитке – құрамында су бар калий мен үш валентті қабатты темір силикатына өтеді (жасыл түсті).

Биотит слюда минералдары түрлері арасында табиғатта таралғандығы бойынша мусковиттен кейінгі екінші орынды алады. Сансыз кенорындары арасында тек кейбіреулерін ғана атаймыз, олар бізге пегматит кенорындары ішінде біршама белгілі. *Ильмен тауларында* биотит екінші дәрежелі минерал, әрқелкі болса да, бірақ пегматит желілерінің барлық типтерінде ірі парақтар түрінде (диаметрі 0,5 м-ге дейін) кең таралған. Кристалдары мен ұсақ парақша агрегаттары калий-натрий далашпаттарымен, нефелинмен, кейде топазбен, магнетитпен, ильменитпен және басқа минералдармен бірлестікте болады. *Борщовочный* бұйратында биотит Савватеева деревнясы маңында Слюдянка өзені ауданында және басқа жерлердегі пегматиттерде байқалады. Зор парақша кристалдары *Гренландия* мен *Скандинавия* пегматиттерінде байқалған (*Евьё* жерінде табылған биотит парағының өлшемі 7 м².)

Практикалық мәні жоқ. Орал шеберлері әсем тастардан балалар ойыншығын және басқа әшекей бұйымдар жасаған кезде тек жылтырақ материал ретінде ғана пайдаланған.

Мусковит топшасы

Мұнда диоктаэдрлік алюминий слюдалары, негізінен табиғатта кең таралған мусковит пен сирек парагонит жатады. Биотит тобы минералдарымен салыстырғанда $3(\text{Mg,Fe})^{2+}$ мұнда 2Al^{3+} -пен алмасқан, яғни біз көрген тальк-пирофиллит тобындағы сияқты.

Мусковит – $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ немесе $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$. Атауы көне италия тіліндегі Москва атауынан – Муска дегеннен шыққан. Кезінде мусковиттің үлкен парақтары Москва арқылы москва шынысы деген атаумен батысқа тасымалданған.

Химиялық құрамы, %: K_2O – 11,8; Al_2O_3 – 38,5; SiO_2 – 45,2; H_2O – 4,5. Ашық-жасыл хромұстамды слюда (Cr_2O_3 бірнеше процентке дейін) *фуксит* деп аталады.

Сингониясы моноклиндік, симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . Кеңістік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=5,18$; $b_0=9,02$; $c_0=20,04$; $\beta=95^\circ 30'$. Деректер диоктаэдрлік слюдалардың ең көп таралған $2M_1$ политипіне қатысты (кристалдық құрылымы төменде *334 а-суретте*). **Кристалдарының келбеті** әдетте тақташа немесе парақша, жалған гексагондық немесе қимасы ромб тәрізді. Кейде бағанаша-пирамида келбетті дарақтары байқалады. Бүйірлік жақтары әдетте көлбеу бағыттарда күшті айғыздалған. Қосақтары жиі слюда заңы бойынша (*330-суретте*), сирек хлорит заңы бойынша. **Агрегаттары**. Мусковит тұтас парақша-түйірлі немесе қабыршақ массаларда да кездеседі. Кейде бүйрек тәрізді центрлі-қабықша сияқты дербестіктері бар массалары кездеседі. Жасырын қабыршақты жібекше жылтырлықты, кейде микроскоп астында да қиын танылатын массалары *серицит* деп аталады.

Түсі. Жұқа жіктілік парақшаларда түссіз, бірақ көбінесе сарғыш, сұрғылт, жасылтым және сирек қызғылт реңді. Фуксит ашық-жасыл. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше және күмісше. $N_g=1,588-1,615$; $N_m=1,582-1,611$; $N_p=1,552-1,572$.

Қаттылығы 2–3. Мусковит парақшалары слюдалар тобындағы барлық минералдардікі сияқты майысқақ және игенде серпімді. Морт слюдаларға өтетін және керісінше, тальк сияқтыларға жақын түрлестері белгілі. **Жіктілігі** {001} бойынша аса жетік, {110} және {010} бойынша – сырғанау жазықтықтары болып табылатындарда жетілмеген. **Меншікті салмағы** 2,76–3,1. **Басқа қасиеттері**. Мусковит кәдімгі кернеудегі электр тогі үшін жақсы оқшаулаушы болады және тесіп өтуге біршама жоғарғы кедергі қасиетіне ие.

Диагноздаушы белгілері. Мусковитті сыртқы белгілері: ашық түсі, інжуше немесе күмісше жылтырлығы, аса жетік жіктілігі және жұқа мөлдір серпімді парақшаларға жеңіл ажыратылғыштығы бойынша оңай тануға болады. Флогопиттен оптикалық константалары, негізінен оптикалық осьтерінің бұрышы бойынша ажыратылады (флогопитте ол өте аз).

Қышқылдарда ыдырамайды. Жоғары қыздыру температурасында ғана ($850^\circ C$ -тан жоғары) су бөліне бастайды.

Жаралуы және кенорындары. Мусковит слюдалар тобы минералдарының арасында ең кең таралғаны. Таужынысжасаушы минерал ретінде ол кейбір *интрузиялық* таужыныстар құрамына, атап айтқанда граниттің, әсіресе *грейзеннің*, яғни олардың пневматолиттік өзгерген түрлестері құрамына топазбен, литий слюдасымен, кварцпен, кейде вольфрамитпен, касситеритпен, молибденитпен және басқалармен бірлестікте кіреді. Мусковит мұндай жағдайларда негізінен бұрынырақ

бөлініп шыққан калийлі далашпаттар (ортоклаз бен микроклин) бойынша жаралады.

Мусковит біршама жиі гранит *пегматит* желілерінде өнеркәсіптік мәнге ие ірі кристалдар түрінде кездеседі. Мұндай желілерде, әсіресе олардың орталық бөліктерінде көбінесе көлденеңі 1–2 м ұялар түріндегі шоғырлар береді, бірақ әдетте ірі кристалдар түрінде пегматиттің барлық массасы бойынша немесе белгілі бір зоналар бойында ретсіз шашырап орналасады.

Мусковит кристалындағы өте ұсақ кірінділер сияқты, кейде циркон, сагенит торы түрінде рутил, апатит, шпинель, анартастар, турмалин, кварц, магнетит және басқалар анықталады. Түбегейлі зерттеген кезде, бірқатар жағдайларда бұл кірінділердің минералдар құрылымдары ерекшеліктеріне сәйкес белгілі бір заңдылықты бағдарлануын анықтауға болады.

Жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда мусковит сирек кездеседі. Ұсақ түйірлі мусковиттің құмтастарда, олардың гранитпен және басқа қышқылды магмалық таужыныстар жапсарында жаралу жағдайлары белгілі.

Гидротермалық руда кенорындарындағы гидротермалық өзгерген таужыныстарда серициттену, яғни серициттің – слюданың суға байыған жасырын кристалды түрлесінің жаралу процесі төтенше кең дамыған.

Метаморфтық таужыныстарда мусковит мен серицит кең таралғандығымен белгілі. Слюдалы кристалды тақтатастардың, серицитұстамды сазды тақтатастардың (филлиттің) және мусковитті кварциттердің тұтас массалары белгілі. Мұндай таужыныстарда далашпаттар әдетте болмайды.

Мору процестерінде мусковит біршама химиялық төзімділікке ие болатындықтан, көбінесе шашылымдарға өтеді. Ұсақ парақшаларға оңай ыдырау қабілетіне және шағын меншікті салмағына байланысты ол өте ұсақ күмісше жылтырақтар түрінде, әдетте ұйық шөгінділерде және су алаптарында ағудың қозғалысы баяулаған кезде қабатты сазда шоғырланады.

Қарқынды химиялық мору жағдайларында мусковит суға байырақ гидрослюдаға – гидромусковитке, ал сілтілер ерітіндісіне айналғанда – каолинитке өтуге қабілетті.

Мусковиттің көптеген кенорындарынан пегматиттерде таралған тек ең қызықтыларын атаймыз.

Россияның еуропалық бөлігінің солтүстік-батысында көне слюда өнеркәсібі болған. Карелияда кенорындар XV ғасырдың өзінде белгілі еді. Слюдалы пегматит кенорындары гранит, гнейс, слюдалы тақтатаас және басқа метаморфтық таужыныстар арасында орналасады. Мусковит далашпаттармен, кварцпен, аз дәрежеде шерлмен, апатитпен және басқа минералдармен бірлеседі.

Слюда кенорындары Шығыс Сібірдің *Мама* ауданында таралған. Метаморфтық тақтатастың слюдалы кең жолағы солтүстік-батысында және оңтүстік-шығысында гранит массивтерімен шектелген. Мусковит кристалдары (кейде 50 см-ге дейін) қызғылт немесе сары-жасылтым реңді болып қышқылды плагиоклаздармен, микроклинмен, кварцпен, биотитпен,

кейбір жағдайларда кара турмалинмен, апатитпен, анартаспен және басқалармен парагенезисте байқалады. Слюда өте мөлдір, жұқа парақшаларға беттері тегіс жып-жылтыр болып оңай ажырайды.

Пегматиттердегі мусковиттің ең басты кенорындары *Индияда* (Бенгалия мен Мадрас аудандары), мұнда өлшемдері 3–5 м² және одан да асатын кристалдары кездеседі; *АҚШ-тың* бірқатар штаттарында (Солтүстік Каролина, Мэриленд және басқа); *Бразилияда, Канадада* және басқа да елдерде бар.

Практикалық мәні. Мусковиттің флогопиттікі сияқты ең маңызды практикалық қасиеті оның электроқшаулауыш сапасында. Өнеркәсіпте слюда парақша, ұнтақ және әр түрлі фабрикалар түрінде қолданылады.

Ең құнды *парақша слюда* негізінен электрөнеркәсібінде қолданылады: окшаулауыштар, конденсаторлар, реостаттар, телефондар, магнето, электр шамдары, оттық, слюда көзілдірік жасау үшін және басқа мақсаттарда. Парақшалар өлшеміне байланысты, яғни мөлдірлігі мен түсінің біркелкілігіне қарай олардың бірнеше сорты бөлінеді.

Слюда ұнтағы (скрап) слюда парақшаларын кескеннен кейінгі қалдықтарын ұнтақтау жолымен алынып, оттөзімді материалдар (шатыр жапқыштары), тұсқағаз, жазатын қағаз, слюдалы картон, оттөзімді бояу, жылтырақ бояу, әр түрлі керамика (қыш) бұйымдарын, автомобиль шиналарын, жарылғыш заттар (адсорбент ретінде), жаққыш материал және басқалар жасау үшін қолданылады.

Слюда фабрикалары, негізінен *миканит* жауапкершілігі төмендеу қолданыс жағдайларында (кейбір электрсаптарда электроқшаулауыш, нығыздауыш үшін электр шайнектерде, кастрюльдерде, уютгерде және басқаларда) парақша слюдаларды алмастырушы ретінде қолданылады. Миканит ұсақ слюда парақшалары мен кесінділерінен даярланады. Ол үшін парақша слюда сортын пайдаланғаннан қалған ұнтақтары мен сынықтарын шеллакпен желімдейді де содан соң үлкен қысыммен пресс арқылы нығыздайды.

Лепидолит топшасы

Бұл топшадағы слюдалар арасында ең көп таралған мынадай екі минерал түрі қарастырылады: лепидолит және циннвальдит.

ЛЕПИДОЛИТ – $\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{F},\text{OH}]_2$. Мұнда биотит формуласымен салыстырғанда, магний иондары литиймен және алюминиймен мына сұлба бойынша алмасады: $3\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Li}^{1+}_{1,5} + \text{Al}^{3+}_{1,5}$. Грекше *лепидос* – қабыршақ дегенді білдіреді. Синонимі: литионит. Сирек слюдалар қатарына жатады.

Химиялық құрамы тұрақсыз, %: K_2O 4,82–13,85; Li_2O 1,23–5,9; Al_2O_3 11,33–28,8; SiO_2 46,9–60,06; H_2O 0,65–3,15; F 1,36–8,71. Қоспалар түрінде болатындар: MgO (бірнеше процентке дейін), FeO , MnO , CaO , Na_2O , Cs_2O , Rb_2O (кейде 3,73 % шамасына дейін) және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=5,20$; $b_0=8,92$; $c_0=20,12$; $\beta_0=100^\circ 48'$.

Лепидолитке әр түрлі политиптер $1M$, $2M_1$ және $3T$, сондай-ақ олардың қоспалары тән. **Кристалдарының келбеті** парақша, жалған гексагондық. Жақсы жаралған кристалдары байқалмайды. Қосақтары слюда заңы бойынша. **Агрегаттары** парақша-қалақша немесе майда қабыршықты. Кейде кристалдар друзасы түрінде кездеседі.

Түсі ақ, бірақ көбінесе қызғылт, солғын-күлгін, кейде шабдалы-қызыл (марганец болуынан). **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше, күмісше $N_g=N_m=1,55$ және $N_p=1,53$.

Қаттылығы 2–3. Парақшалары майысқақ, игенде серпімділікке ие. **Жіктілігі** (001) бойынша аса жетік және {100} мен {010} бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 2,8–2,9.

Диагноздаушы белгілері. Әдетте қызғылт немесе күлгін реңі бойынша танылады. Мусковиттен біршама төмен сыну көрсеткіштері бойынша және құрамында спектрлік талдау көрсететін литий болуымен ажыратылады.

Қышқылдарда тек балқытқаннан кейін ғана ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Өзгерген гранитте (грейзенде) және кейбір пегматиттерде, кейде жоғары температуралық гидротермалық желілерде кездеседі. Әдетте далашпаттармен, кварцпен, мусковитпен (онымен кейде параллель кірікпеде байқалады), сподуменмен, литийлі турмалинмен, топазбен, касситеритпен, флюоритпен және басқалармен бірлеседі. Морыған кезде дәл мусковит сияқты өзгереді.

Россияда лепидолит кейбір ортаңғы Орал және басқа минералдық кеніштерде пегматиттер арасында күшті өзгерген калий-натрийлі далашпаттармен, әр түрлі түсті турмалинмен, топазбен тау хрусталімен және басқалармен бірлестікте кездеседі. Лепидолит нәзік-күлгін түсті ұсақ қабыршақ массаларда, кейде тамаша күлгін түсті ірі парақша агрегаттарда және сондай-ақ мусковит сияқты парақшаланған күмісше кристалдарда байқалады.

Шетел кенорындарынан ең алдымен көптен бері игеріліп келе жатқан қызғылт түсті лепидолиттің Моравиядағы (Чехия) *Розена* маңын, *Ута* аралындағы (Стокгольмнен қашық емес, Швеция), *Мен* штатындағы (АҚШ) және басқаларды атаймыз.

Практикалық мәні. Циннвальдитпен бірге литий тұздарын алудың басты көздерінің бірі болып табылады. Литий тұздары қолданылатын салалар: сілтілі аккумуляторлар (суасты қайығы үшін) даярлауда, арнайы оптикалық шынылар (флинтглас, опалды және ақ шыны) алуға, пиротехникада (ашық қызыл жарық), медицинада, органикалық қосылыстар синтезінде, жасанды минералды су даярлағанда, конденсациялаған суды тазарту үшін ($LiCl$ түрінде), гелийді тазартуға, фотографияда, рентгенографияда және басқаларда. Соңғы кезде айрықша мәнге металл литийдің кальциймен арнайы қорытпалары ие болуда (қара металлургияда қорытпалардың механикалық қасиеттерін жақсартуға және аққыштық шегін арттыру үшін), мыспен және алюминиймен қорытпасы (оның төзімділігін

арттыру үшін) және басқалар. Қазіргі кезде металл литий термоядролық реакцияларда айрықша мәнге ие.

Циннвальдит – $\text{KLiFe}^{2+}\text{Al}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{F},\text{OH}]$. Табылған жері – Кенді таулардағы (Чехия) Цаннвальд (қазіргі Циновец) бойынша аталған. Құрамы күшті өзгермелі. Құрамындағы FeO кейде 12,5 % шамасына жетеді. **Сингониясы** моноклиндік. Жұқа және қалың тақташа кристалдары сұр, қошқыл, кейде күңгірт-жасыл түсті, өздерінің пішіні бойынша биотитке жақын. Сондай-ақ қабыршақ агрегаттарда кездеседі. Әдетте беймөлдір немесе жарық өткізеді. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,58$; $N_m=1,57$; $N_p=1,55$.

Қаттылығы 2–3. **Жіктілігі** мусковиттегідей. **Мен.салмағы** 2,9–3,2. Қышқылдарда ыдырамайды

Лепидолит кездесетін жағдайларда жаралады. Көбінесе вольфрамитпен, шеелитпен, касситеритпен, флюоритпен, топазбен, кварцпен және басқалармен бірлеседі. Мору процесінде каолин сияқты өнімге айналады да темір гидроксидтерімен сары-қошқыл және қошқыл түске қарқынды боялады. Шетел кенорындарынан гранит арасындағы штокверктегі *Циновецті* (Чехия, Кенді таулар) және *Корнуоллды* (Англия) атаймыз – қалайы кенорындарында темірге аса бай друзалар мен олардың бетіне өскен кристалдар түрінде.

3. Морт слюдалар тобы

МАРГАРИТ – $\text{CaAl}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$ немесе $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$. Атауы грекше *маргаритес* – інжу дегеннен шыққан. Синонимі: інжу слюда.

Химиялық құрамы, % (теориялық): CaO – 14,0; Al_2O_3 – 51,3; SiO_2 – 30,1; H_2O – 4,6. Қоспалар түрінде болатындар: Na_2O , MgO , FeO , Fe_2O_3 , кейде Cr_2O_3 , Li_2O , MnO , F және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік–призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C_{2h}^6)$. $a_0=5,12$; $b_0=8,90$; $c_0=19,46$; $\beta=100^\circ 48'$. **Кристалдық құрылымы** мусковит құрылымына ұқсас, одан айырмашылығы, мұнда қабатты пакеттің жалпы теріс заряды екі есе көп және ол пакеттер аралығында орналасатын екі валентті Ca^{2+} катиондарымен өтемеленеді. **Кристалдарының келбеті** жұқа парақша. Жақсы жаралған кристалдары кездеспейді. Қосақтары слюдалардағы заң бойынша байқалады. **Агрегаттары** парақшаланған, қабыршақты.

Түсі. Маргарит інжу ақ, сұрғылт, қызғылт, сарғыш ренді. **Жылтырлығы** жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,645$; $N_m=1,643$; $N_p=1,632$.

Қаттылығы 3,5–5,5. Морт; парақшалары иілген кезде сынады. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша жетік. Соғу және жаншу фигуралары басқа да барлық морт слюдалардағы сияқты; нағыз слюдалармен салыстырғанда кері жағдайда болады, яғни соғу фигуралары жаншу фигураларына сәйкес келеді. (*флогопитте* айтылғандай). **Мен.салмағы** 2,99–3,08.

Диагноздаушы белгілері. Інжуше ақ түсті, морттығы, жоғары қаттылығы тән. Осы қасиеттері бойынша өзіне ұқсас түсті слюдалардан ажыратылады.

Ыстық HCl қышқылында шала ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Аймақтық метаморфизм процесінде жаралады және кристалды тақтатастарда, мысалы хлоритті тақтатаста таралған. Алғаш Циллерталь (Тироль) тақтатастарында және басқа жерлерде табылған. Оралда слюдалы тақтатастарда, түрпі кенорындарында және басқа метаморфтық таужыныстарда кездеседі.

4. Хлориттер тобы

Осы топқа жататын минералдар көп жағдайларда слюдалар сияқты. Олар моноклиндік сингонияда кристалданып слюда сияқты жіктілікке, төмен қаттылыққа, шамалы меншікті салмаққа ие. Олардың көпшілігіне бөтелке-жасыл бояу тән, сондықтан бұл топ минералдарының жалпы атауы осыған байланысты (грекше *хлорос* – жасыл).

Химиялық көзқарастан хлориттер негізінен Mg, Fe²⁺ және Al, кейде Ni, Fe³⁺, Cr³⁺ алюмосиликаттары болып табылады. Кристаллографиялық жағынан айқын дараланған, магнийге бай минералдар түрі жалпы *ортохлориттер* деп аталады. Олардың химиялық формуласы былайша бейнеленеді: (Mg,Fe)_{6-p}(Al, Fe)_{2p}Si_{4-p}O₁₀[OH]₆. Үш валентті иондардың (*p*) бір жартысы [AlO₄]⁵⁻ түріндегі анион комплексінің құрамына қатысса, ал басқасы – кәдімгі катиондар ретінде болады. Темірге бай, негізінен колломорфтық минералдар түрі жиі өте тұрақсыз құрамымен сипатталады да әдетте жалпы атауы *лептохлориттер* деп жалпылама аталатын алюмоферрисиликаттардың айрықша топшасына бөлінеді. Олардың көпшілігі кремнийтотыққа ең жұтаң минералдар қатарына жатады, тек қана слюда сияқты минералдар емес, жалпы силикаттар арасында сондай. Олардың көпшілігінде Fe²⁺ мөлшері Fe³⁺ мөлшерінен асады, *p* коэффициентінің мәні көбінесе кәдімгі ортохлориттерге қарағанда жоғары, жиі молекулалық су болады. Жалпы формуласы

(Fe, Mg)_{n-p}(Al,Fe)_{2p}Si_{4-p}O₁₀[OH]_{2(n-p)}·xH₂O,
мұндағы *n* әдетте 5-тің маңында.

Қарастырылатын топ минералдары табиғатта кең таралған. Олар негізінен төмен температуралық гидротермалық әрекет жағдайларында, әсіресе құрамында алюмомагнийлі және темірлі силикаттар бар таужыныстар өзгерген кезде жаралады. Лептохлориттер негізінен шөгінді темір рудасы кенорындарда таралып, силикат темір рудаларының айрықша фациясын құрайды. Бұл фация геологиялық деректерге сай оттек жеткіліксіз жағдайларда темірге бай теңіз шөгінділері арасында пайда болады.

Хлорит тобы минералдарының жіктелімімен көптеген зерттеушілер айналысқан (Чермак, Винчелл, Орсель және басқалар). Чермак бойынша ортохлориттер мыналардың изоморфтық қоспасы болып табылады: антигонит (Ant) Mg₆[Si₄O₁₀][OH]₈ және кремнийтотыққа біршама жұтаң,

бірақ алюмототыққа байырақ амезит(Ам) $Mg_4Al_4[Al_2Si_2O_{10}][OH]_8$ минералдарының. Мұнда Mg^{2+} мүмкін алмастырылуы Fe^{2+} және Ni^{2+} , ал Al^{3+} – Fe^{3+} немесе Cr^{3+} элементтерімен. Химиялық құрамына байланысты хлориттердің жекелеген түрлерінің аса көп атаулары болады.

Чермак анықтауларына сәйкес ортохлориттер арасында моноклиндік сингониялы мынадай минералдар түрі бөлінеді (аз алюмототықтыдан R_2O_3 радикалына бай түрлеріне қарай ретпен (18-кесте).

18-кесте. Ортохлориттердің моноклиндік сингониялы түрлері

Минерал	Формуласындағы 0,5R (p) мөлшері	Амезит молекуласының (Am) мөлшері, %
Пеннин $(Mg,Fe)_5Al[AlSi_3O_{10}][OH]_8^*$	0,75–1,00	37,5–50
Клинохлор	1,00–1,25	50–62,5
Прохлаорит (100-n)Ant. Am	1,25–1,50	62,5–75
Корундофиллит	1,50–1,75	75–87,5
Амезит $(Mg,Fe)_4Al_2[Al_2Si_2O_{10}][OH]_8^{**}$	1,75–2,00	87,5–100

Ескертпелер:

*Құрамында 50 % амезит молекуласы бар түрлесінің формуласы.

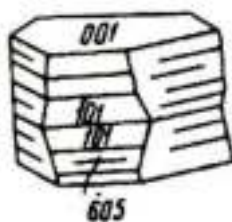
**Таза амезиттің формуласы.

Темірге бай хлориттер өзінің құрамы және рентгенметриялық деректер бойынша жоғарыда келтірілген магнийлі хлориттерге сай келсе, ал бір бөлігі – лептохлориттерге сай келеді. Олардың ішінде біз шамозит пен тюрингитті қарастырамыз.

Кристалды хлориттер физикалық қасиеттерінен ең ерекшесі, олардың оңай ажыратылатын жұқа парақшалары майысқақ болғанымен, бірақ серпімді болмайтындығы (майысқан күйін сақтайды.) Бұл қасиеті олардың кристалдық құрылысы ерекшеліктеріне байланысты. Егер біз слюданың кристалдық құрылымын (334-сурет) хлориттер құрылымымен (335-сурет) салыстырсақ, онда мынаны көреміз. Қарастырылып отырған минералдарға ортақ құрамы $(Mg,Al)_3[Si_3AlO_{10}][OH]_2$ қабатты пакеттер слюдаларда бір валентті сілтілі немесе екі валентті сілтіжер металдардың күшті катиондары парақтарымен қабаттасады. Ал хлориттерде олардың орнын «брусит» қабаттары басады. Оларда $Mg_3[OH]_6$ орнына $Mg_2Al[OH]_6$ құрамы келіп, қалдық оң заряды бірге тең болады (слюдалардағы K^{1+} сияқты). Бұл қабаттар жоғары және төмен жатқан қабатты пакеттермен нашар байланысқан. Бірақ бұл байланыстар, дегенмен, тальк пен каолинит тобы минералдарындағыдан күштірек. Ол туралы осы минералдарды олармен хлоритті салыстырғанда, оның біршама қиындау ыдырағыштығы және жоғарылау қаттылығы бойынша көз жеткізуге болады.

бөшке тәрізді (миаролит қуыстарында). Негізгі пішіндері $\{001\}$, $\{101\}$, $\{132\}$, $\{110\}$ және басқа. Бүйірлік жақтары көбінесе көлбеу бағытта айғыздалған. Қосақтары жиі, әдетте хлорит заңы бойынша, мұнда қосақ жазықтығы және кірігу жазықтығы ретінде (001) болады (336-сурет). Осы заң бойынша көбінесе көп қайтара қосақталу байқалады. Сондай-ақ слюда заңы бойынша да қосақтары кездеседі. **Агрегаттары** қабыршақты, парақшаланған. Қуыстарда кристалдар друзасы кездесіп, олар бөшке тәрізді пішінді болады.

Түсі. Пеннин бөтелке-жасыл әр түрлі реңді болады: жасылтым қарадан, кейде қызғылт немесе күлгіннен (әсіресе хромұстамды түрлестерінде), кейде күмісше аққа дейін. Жұқа парақшаларда мөлдір, шамалы боялған, әсіресе ірі кристалдарда. **Жылтырлығы** жіктілік жазықтықтарында інжуше. $Nm=1,56-1,60$.



336-сурет. Хлорит заңы бойынша қосақталған пеннин кристалы

Қаттылығы 2–2,5. Парақшалары майысқақ, бірақ серпімді емес, яғни майыстырғаннан кейін өзінің жағдайын өзгертпейді. **Жіктілігі** аса жетік $\{001\}$ бойынша. **Мен.салмағы** 2,6–2,85.

Диагноздаушы белгілері. Жасыл, жиі қара-жасыл түсі, аса жетік жіктілігі, төмен қаттылығы және ажыратылған парақшаларының серпімді еместігі бойынша танылады. Хлорит тобы минералдар түрінің жоғарыда келтірілгендерінен сенімді түрде тек химиялық деректер бойынша ғана ажыратыла алады. Көбінесе HCl қышқылында ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. *Метаморфтық* таужыныстарда ең көп таралады, көбінесе хлорит тақтасының (жасылтас таужыныстардың) тұтас қатқабатын құрайды. Мұндай таужыныстардың қуыс жарықшақтарында жақсы таралған кристалдары жиі байқалады. Жақсы кристалдары Назям тауларындағы (Оңтүстік Орал) *Николай-Максимилиан* кенішінде, *Баженов* кенорнының асбест кеніштерінде (Екатеринбургтен шығысқа қарай) және басқа жерлерде байқалады.

Кеммерерит алғаш *Саран* кенорны (Орал) ультранегізді таужыныстар арасындағы хромит жатындары жарықшақтарында кездескен.

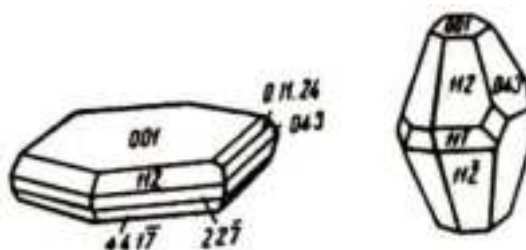
Хлоритті тақтатастар кейде хлорит ұнтағын қағаз өнімдеріне (тұзқағазға) жылтырлық мақсатында өндірілгенде практикалық мәнге ие болады.

КЛИНОХЛОП – $(Mg,Fe)_{4,75}Al_{1,25}[Si_{2,75}Al_{1,25}O_{10}][OH]_8$ ($p=1,25$ болатын түрлесі үшін). Грекше *клино* – еңкейту. Атауын акад. Н.И. Кокшаров мынаған байланысты берген – бұл минералдың кристалдары моноклиндік сингонияда айқын анықталған.

Химиялық құрамы мынадай ауқымда өзгереді, %: MgO 17–34,5; FeO 1,8–12,2; Fe₂O₃ 0–3; Al₂O₃ 13,1–17,6; SiO₂ 28,3–33,9; H₂O 11,7–14,2.

Қоспалары: СаО (9 %-ке дейін), МnО (2,3 %-ке дейін), Cr₂O₃ (8 %-ке дейін). Аз темірлі түрлесі лейхтенбергит, ал хромұстамдысы – клинохлор, сондай-ақ акад. Н.И. Кокшаров анықтаған – кочубеит деп аталады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік–призмалық. **Кристалдарының келбеті** гексагонқалақша немесе тақташа, кейде призма және бөшке тәрізді (337-сурет); жақсы жаралған кристалдары жиі кездеседі. Басты пішіндері: {001}, {010}, {043}, {112}, {111} және басқа, көбінесе өте күрделі символды. Қосақтары хлорит және слюда заңдары бойынша таралған (338-сурет). Агрегаттары ірі қабыршақты-түйірліден жасырын қабыршақтыға дейін. Таужыныстар қуысында әдетте тақташа кристалдарының друзасы жиі.



337-сурет. Клинохлор кристалдары



338-сурет. Клинохлордың (001) бойынша күрделі (қайталану) қосақтары

Түсі. Клинохлор шөп-жасыл түстіден солғын зәйтүн-жасылға, сарыға, кейде сұрғылт, қызғылт, күлгін (хромұстамды түрлестерінде) және басқа реңді аққа дейін (лейхтенбергит) өзгереді. Жұқа парақтарда мөлдір немесе жарық өткізеді. **Жылтырлығы** жіктілік жазықтықтарында інжуше. $Nm=1,57-2,78$.

Қаттылығы 2–2,5. Парақшалары жұмсақ, майысқақ бірақ серпімді емес. **Жіктілігі** {001} бойынша аса жетік. **Мен. салмағы** 2,61–2,78.

Диагноздаушы белгілері. Көп қасиеттері бойынша пеннинге ұқсас. Сенімді түрде клинохлор туралы тек химиялық талдау деректері негізінде ғана айтуға болады.

Қою H₂SO₄ қышқылында ғана толық ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Пеннинмен бірге хлоритті тақтатастарда кең таралған, осы таужыныстарда ол жиі басты таужынысжасаушы минерал болып табылады. Бұл тақтатастардың жаралуы әдетте магмалық таужыныстар метаморфизмімен байланысты, олар магнийлі-темірлі силикаттарға бай (көбінесе порфириттер, серпентиниттер және басқалар).

Клинохлор кристалдары друзасының тамаша мұражайлық кесектері Оңтүстік Оралдың батыс беткейіндегі белгілі *Шишим* және *Назям* таулары минералдық кеніштерінен шыққан. Әсіресе *Ахматовск* кенішінің аты шыққан (Назям тауларында), мұнда сыртқы түрі мен пішіндерінің сан қилылығы бойынша клинохлор мен лейхтенбергиттің тамаша друзалары эпидотпен, диопсидпен, анартаспен, везувианмен, кальцитпен және сфенмен бірлестікте байқалады. Олар әдетте хлоритті тақтатас және эпидот арасындағы жарықшақтарда кездеседі.

Кочубейт (хромұстамды түрлесі) алғаш Уфалей ауданында (Орал), хромды теміртас кенорнында табылғаны көрінеді.

ПРОХЛОРИТ – $(\text{Mg,Fe})_{4,75}\text{Al}_{1,5}[\text{Al}_{1,5}\text{Si}_{2,5}\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$ ($p=1,50$ болатын түрлесі үшін). Қолда бар талдаулар бойынша окиселдердің мөлшері кең ауқымда өзгереді.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/c(C^6_{2h})$. $a_0=5,2-5,3$; $b_0=9,2-9,3$; $c_0=28,3-28,6$; $\beta=96^{\circ}50'$. Қалақша жалған гексагон кристалдарда және жасыл немесе қара-жасыл түсті қабыршақ агрегаттарда кездеседі. $Nm=1,59-1,61$. **Қаттылығы** 1,5–2. **Жіктілігі** $\{001\}$ бойынша аса жетік. **Мен. салмағы** 2,78–2,96.

Хлоритті тақтатастарда (клинохлорға қарағанда сиректеу) және альпілік типті желілерде тау хрусталімен және адулярмен бірлестікте, кейде қуыс жарықшақтар қабырғасында өскен басқа кристалдар бетінде «ұнтақ» түрінде кездеседі. Альпідегі өте көп желілерде, Солтүстік Оралда және басқа жерлерде таралған.

ШАМОЗИТ - $\text{Fe}_4^{2+}\text{Al}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}]_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Формуласы жуықтатылған. Атауы табылған жері Валлис кантонындағы Шамуазон бойынша (Швейцария) аталған.

Химиялық құрамы тұрақсыз, %: FeO 34,3–42,3; Fe₂O₃ 0–6; Al₂O 13–20,1; SiO₂ 22,8–29; H₂O 10–13. Қоспалары, %: MgO 4,4, кейде 7-ге дейін; CaO 1,6-ға дейін; TiO₂ 1,1-ге дейін.

Сингониясы моноклиндік. Әдетте центрлі-зоналы құрылысты оолит жиырылымдары түрінде таралған. Сондай-ақ цемент түрінде құм түйірлері арасында және тұтас жасырын кристалды немесе жер тәрізді массаларда байқалады.

Түсі жасылтым-күңгірт-сұрдан қараға дейін. Беймөлдір. **Сызығы** ашық жасылтым-сұр. **Жылтырлығы** әдетте күңгірт немесе шамалы шыныша. $Nm=1,62-1,66$. **Қаттылығы** 3. **Мен. салмағы** 3,03–3,4.

Диагноздаушы белгілері. Микроскоптық түрде әдетте оолиттік құрылысы, күңгірт-жасыл немесе қара түсі, жасылтым-сұр сызығы бойынша жорамалдауға болады. HCl қышқылында сүзбе тәрізді кремнийоттық бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Жасы әр түрлі кейбір темір рудалы кенорындарда таралған, негізінен юраның. Темір сульфидтерімен, сидеритпен, сондай-ақ темірдің закисыткі формалы парагенезисі бойынша қарағанда, шамозит оттек жеткіліксіз жағдайларда теңіздердің жағалау зонасында жаралады. Қазіргі теңіз шөгінділерінде кездеспеген.

Морыған кезде оңай тотығады да шамозит кенорындарында нағыз темір телпек болып табылатын қышқыл теміртастар түріндегі темір гидроокиселдері жаралады.

Россияда шамозит шоғырлары *Оралдың* шығыс беткейі бойынша палеозой және мезозой шөгінділері арасында (Серов, Алапаев, Аят және басқа аудандарда), *Солтүстік Кавказдың* бірқатар жерлеріндегі юра түзілімдері арасында және басқа жерлерде анықталған.

Практикалық мәні. Шамозит жатындары кейде ірі қабат денелер түрінде кездеседі және мұндай жағдайларда темір рудасы ретінде өнеркәсіптік қызығушылыққа ие болады.

ТЮРИНГИТ – $Fe_{3,5}(Al,Fe)_{1,5}[Si_{2,5}Al_{1,5}O_{10}][OH]_6 \cdot nH_2O$. Формуласы жуық. Атауы табылған жері бойынша берілген.

Химиялық құрамы тұрақсыз, %: FeO 19,8–39,3; Fe₂O₃ 7,2–31,7; Al₂O₃ 15,6–25,1; SiO₂ 19,4–28,8; H₂O 4,6–13,2. Қоспалары, %: MgO 6-ға дейін; CaO 1,9-ға дейін; MnO 2,7-ге дейін; P₂O₅ 1,2-ге дейін және басқа.

Сингониясы моноклиндік. Ұсақ қабыршақтар түрінде өте сирек кездеседі. Әдетте тұтас жасырын кристалды тығыз немесе қопсық массаларда байқалады.

Түсі зәйтүн-жасылдан жасылтым-қараға дейін. **Сызығы** жасылтым-сұр. **Жылтырлығы** айқын қабыршақ түрлестерінде інжуше. $Nm=1,64–1,68$.

Қаттылығы 2–2,5. **Жіктілігі** жетік, {001} бойынша. **Мен. салмағы** 3,15–3,19.

Диагноздаушы белгілері. Оған тәні күңгірт-жасыл түсі, солғын-жасыл сызығы, кейде інжуше жылтырлығы (қабыршық агрегаттары үшін). Сенімді түрде химиялық талдау деректері негізінде ғана анықтауға болады.

HCl қышқылында кремнийтотық сүзбешесін бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Үлкен массаларда кейбір шамалы метаморфталған шөгінді темір кенорындарында кездеседі. Көбінесе магнетиттің ұсақ октаэдрлерімен, кейде кейінірек жаралған сидеритпен бірлестікте байқалады. Және де бұл минералдың темірге бай таужыныстардың гидротермалық өзгеру процесінде эндогендік жаралу жағдайлары белгілі.

Тюрингиттің ең ірі кенорындары *Тюрингияда* (Германия) белгілі: төменгі силур тактатастары арасында қабаттар түрінде *Шмидефельд* және басқа кенорындарда. Тюрингитке өте ұқсас минерал *Қаражал* (Орталық Қазақстан) шөгінді темір рудалы кенорында кездескен.

Практикалық мәні. Шамозит сияқты, егер айтарлықтай массаларда шоғырланған жағдайларда темір рудасы ретінде өнеркәсіптік мәнге ие болады.

5. Серпентин-каолинит тобы

Минералдардың бұл тобы, басқа да бұрын қарастырылған көптеген топтардағы сияқты, магний (никель) және алюминий (темір) гидросиликаттарынан тұрады. Оларды екі топшаға біріктіруге болады: а)

серпентин; б) *каолинит*. Дегенмен, серпентинде (магнийлі гидросиликатта) кейде мардымсыз мөлшерде болса да Al_2O_3 (5,68 % шамасына дейін) анықталады, ал Fe_2O_3 әрдайым дерлік бірнеше процентке жетеді. Өз кезегінде каолинитте Al_2O_3 -пен қатар шамалы мөлшерде MgO болады. Бірақта олардың аралығындағы аралық құрамды өкілдері табиғатта таралмаған. Бұл жағдай осы топқа жататын минералдарды екі топшаға бөлудің дұрыс екендігін көрсетеді.

Осы да, және осыдан кейінгі екі топ минералдарының да жалпы ерекшелігіне оларды сипаттайтын қосылыстар коллоид заттар немесе жасырын қабыршақ агрегаттар жасауға бейім екендігі жатады. Айқын кристалды жаралымдар өте сирек.

Серпентин топшасы

Қазіргі кезде серпентинде топтық атау статусы сақталған. Бірінші кезекте бұл топтың таспа-қабатты құрылымға және тиісті морфологияға ие минералдарын сипаттаймыз. Серпентин тобында айрықша орынды алатындар талшық құрылысты минералдар түрі – хризотилдер, олар бірге сипатталатын үш полиморфтық модификацияға ие. Мұнда серпентин тобы минералдарынан басқа құрамы бойынша күрделі магнийлі-алюмототықты гидросиликаттар тобын қарастырамыз, олар палыгорскит тобы деген атаумен белгілі.

СЕРПЕНТИНДЕР – $Mg_3[Si_2O_5][OH]_4$ немесе $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Латынша *serpentaria* – жылан тәрізді дегеннен (серпентин таужыныстары кейде таңдақ суреті бойынша, әсіресе жылтырланған үлгілерде жылан терісіне кейбір ұқсастыққа ие болады.) Осыдан кейін орысша *змеевик* деген атау шыққан, бірақ та бұл атау серпентинитке, яғни тұтастай дерлік серпентиннен тұратын таужынысқа қатысты. Бұрын *офит* деген атау қолданылған (грекше – жылан). Қазір атау кейде серпофитке өзгертілген түрде опал тәрізді жасырын кристалды, суға бай серпентин түрлесінде сақталған, ол шайырша жылтырлыққа және біркелкі бояуға (солғын-жасыл, сарғыш ақ, кейде қошқыл-жасыл) ие.

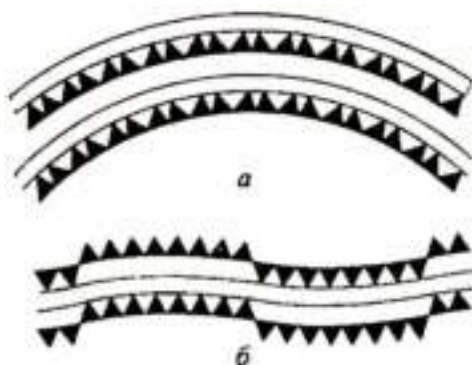
Химиялық құрамы, %: MgO – 43; SiO_2 – 44,1; H_2O – 12,9. Компоненттерінің ара қатынасы біршама ауытқиды, әсіресе нағыз коллоидтарға ұқсас суға байырақ (әдетте 13–17 %) түрлестерінде. Қоспалар түрінде әрдайым дерлік FeO , Fe_2O_3 және NiO болады.

Қабаттардың үстіленуін және пакеттердің енін анықтайтын кристалдық құрылымның нәзік ерекшеліктері бойынша бірнеше минералдық түр бөлінеді. Серпентин тобы минералдық түрлерінің ең көп таралғандарының бірі *антигорит* деген атауға ие, ол моноклиндік сингониялы, сыртқы сипаты бойынша хлоритке біршама ұқсас (Италиядағы Пьемонта маңы Антигорио аңғары бойынша). Басқа полиморфына, ол да қабатты құрылымды, тригондық *лизардит* жатады (Англиядағы Лизард қаласы бойынша).

Бұл минерал түрлерін арнайы зерттеулерсіз ажырату қиын, егер олар көбінесе майда қоспалар жасайтын болса тіпті күрделі. Аралас қабатты минералдар да белгілі, олардың субмикрометрлік масштабта серпентин

құрамды қабаттар және тальк немесе хлорит қабатты құрылымдар кезектесіп келеді.

Кристалдық құрылымы. Барлық серпентиндердің (соның ішінде хризотилдердің де) кристалдық құрылымы белгілі бір дәрежеде каолиниттің қарапайым екі қабатты құрылымына ұқсас (342-суретте). Айырмашылығы ең алдымен мынада: серпентиндерде катиондар триоктаэдрлік қабаттарда шоғырланған, каолинит пакеттеріндегі диоктаэдрлік қабаттардан осысымен ажыратылады. Содан кейін, құрылым жасайтын екі қабатты пакеттер триоктаэдрлік «брусит» қабаттардың кремнийноттек тетраэдрлері гексагондық торларымен салыстырғанда әр өлшемділігімен сипатталады. Осындай әрөлшемділік пакеттердің иілуіне әкеліп, ал тетраэдрлер төбелері бағытында біркелкі полюстілік жағдайында қисықтық бағытын сақтай алады. Бұл жағдай құрылымы түтікшелерге немесе орамдарға ұқсас келетін хризотилдерде де орын алады (339 а-сурет). Қабатты серпентиндерде торлардың полюстілігі мезгіл-мезгіл (кеңістікте) керіге өзгереді. Сондықтан құрылымдарда жолақтар кезектесіп орналасады. Жолақтар тетраэдрлердің әр бағытты төбелерінен тұрып, кезектесіп триоктаэдрлік катион қабатының әр жағына орналасады (339 сурет).



339-сурет. Серпентин тобы минералдары құрылымдарындағы октаэдрлік (ақ жолақ) және тетраэдрлік (қара үшбұрыштар) торлардың бейөлшемділігі: а - хризотил; б - антигорит

Агрегаттары. Әдетте тығыз массаларда таралған, көбінесе олар мыжылған, сырғанау іздері бар, кейде хризотил-асбесттің өте майда желішіктері немесе офит желішіктері болады. Антигорит серпентиниттерде көбінесе көзге қалақша құрлысы байқалады. Лизаритке көбінесе жасырын кристалды түрлесі (офит) тән, бірақ серпентин агрегаттарының көпшілігінде екі минералда әр түрлі қатынаста болады.

Түсі күңгірт-жасыл, кейде қошқылдау-жасыл да болады. Офит жиі солғын зәйтүн-жасыл сарғыш реңді бояуға ие. Антигорит солғын жасыл, көбінесе сұр, кейде шамалы көкшіл реңді. Бастит деп аталатын, ортопироксен (бронзит) бойынша псевдоморфозалары жаралатын түрлесіне қола түсті болуы тән. **Жылтырлығы** шыныша, майлы, офитте – шайырша.

Қаттылығы әдетте лизаритте 2,5–3; антигоритте 3,5-ға дейін, офитте 2. **Жіктілігі** тек ірілеу қалақшалы антигорит түрлестерінде ғана байқалады: {001} бойынша жетік және {010} бойынша жетіктігі төмендеу. Ажыратылатын парақшалары сынғыш. **Мен.салмағы** 2,5–2,7.

Диагноздаушы белгілері. Макроскоптық түрде серпентин массалары өзіндік күңгірт-жасыл реңі, төмен қаттылығы, сырғанау айнасы, омырылымында майша жылтырлығы және басқалары бойынша біршама оңай танылады. Антигорит серпентин өзіндік сұр реңге, үлгіні балғамен өндеген кезде сезілетін айрықша тұтқырлыққа, кәдімгі серпентиндермен салыстырғанда жоғарылау қаттылыққа ие.

HCl және H_2SO_4 қышқылдарында ыдырайды. Жабық түтікшеде көп су бөледі.

Жаралуы және кенорындары. Серпентиндер маңызды таужынысжасаушы рөл атқарып, іс жүзінде мономинералды масса – серпентинит жасайды. Серпентиниттер ультранегізді, негізінен оливинұстамды таужыныстардың (дунит, перидотит және басқа) *гидротермалық* өзгеру процесінде жаралады. Серпентинмен алмасуға ең алдымен оливин мен энстатит, содан кейін диопсид, мүйіз алдамыш және басқалар ұшырайды.

Кенорындарын санап тұруға тоқталмаймыз. Тек қана серпентинит массивтері Оралдың ұзына бойында, Солтүстік Кавказда, Корякияда және Армения мен Қазақстанның бірқатар жерлерінде кең таралғанын айтамыз.

Мору процесінде серпентинденген таужыныстар біртіндеп карбонаттанады да ыдырайды, әсіресе ол субтропик және тропик климат жағдайларында күшті жүреді. Ол кейде қалдық өнімдер түрінде жер бетінде темір гидроокиселдердің жер тәрізді массалары жиналады. Магnezий ауадағы көмірқышқылымен байланысады да бикарбонаттар түрінде тотығу белдемінің төменгі горизонттарына кетеді. Кремнийтотық коллоид ерітіндіге өтеді де опал түрінде бөлініп, көбінесе түбірлік таужыныстарды алмастырады. Дәл солай никельде гидросликаттар түрінде кейбір тасымалдануға ұшырайды да төменгі горизонттарда түзіледі.

Практикалық мәні. Тығыз, әсем боялған серпентинит түрлестері кейде қаптама әсем тас ретінде қолданылады, әр түрлі бұйымдар жасауға да жарамды (қобдишалар, күлсалғыштар, жазу құралдары және басқалар), Кремнийтотыққа жұтаңдау түрлестері (серпентинденген дунит) біршама магnezит қоспасымен бірге қара металлургия үшін жоғары сортты оттөзімді форстерит кірпіштерін жасау үшін пайдаланылады. Сондай-ақ химиялық өнеркәсіп үшін магний қосылыстарын алуға қажет шикізат бола алады.

НЕПУИТ – $(Ni,Mg)_3[Si_2O_5][OH]$ немесе $3(Ni,Mg)O \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Атауы табылған жері – Непуи қаласы бойынша (Жаңа Каледонияда) берілген. Синонимдері: никельді серпентин және ревдинскит, бастапқыда тек қоспаларға бай жасырын кристалды түрлесіне қатысты ғана қолданылған (сол табылған жері бойынша: Орта Оралдағы Ревдинск ауданында (1867).

Кейін 1908 жылы құрамы осындай айқын кристалды түрлесі ашылған.

Химиялық құрамы лизардит құрамына ұқсас, одан айырмашылығы, непуитте әлдеқайда елеулі мөлшерде NiO болады, оның мөлшері MgO-дан басым келеді. Лизардитке дейінгі үзіліссіз изоморфты қатар жасайды. Непуит талық сияқты қабаттар қатысатын аралас қабатты жаралымдар жасауға қабілетті. Агрегаттарының дәл осы типіне ревдинскит пен гарниерит сияқты

өтпелі түрлеріні жатқызу керек. Гарниеритке галлуазитпен майда дисперсиялық қоспалар жасау тән, бұл оның құрамында Al_2O_3 мөлшерінің артуына әкеледі.

Сингониясы моноклиндік. **Кристалдық құрылымы** лизардит құрылымына ұқсас. **Кристалдарының келбеті.** Непуит ұсақ құрт сияқты кристалдарда (каолинит сияқты) кездеседі. Көбінесе қабыршақ агрегаттар түрінде таралған. Ревдинскит жасырын кристалды тығыз ұнтақ және жер тәрізді массаларда байқалады. Гарниерит колломорфтық шытынайтын бөлінімдер, қабықша тәрізді қабыршақтар, конкрециялар, тассүңгі (сталактит) және жер тәрізді агрегаттар жасайды. Конкрециялары әдетте ұсақ сынықтарға қирайды.

Түсі көгілдір реңді солғын-жасылдан (бирюзаның түсі) сарғыш реңі қанық-жасылға немесе сұрғылт-жасылға дейін. Аралас қабатты және жасырын кристалды түрлері өздерінің сан қилы бояуларымен таңдандырады. Көбінесе түсі біртіндеп өзгереді, тіпті үлгінің өзінде.

Жылтырлығы кристалл түрлерінде інжуше (жіктілік жазықтықтарында), ал коллоид түрлерінде майша, шайырша, күңгірт. Қатынасы $Ni:Mg=3:7$ болатын түрлесіндегі сыну көрсеткіштері: $N_g=N_m=1,56$; $N_p=1,53$.

Қаттылығы 2–2,5. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,5–3,2 (никель мөлшеріне байланысты).

Диагноздаушы белгілері. Непуит микроскоптық түрде қабыршақ және ұсақ қалақша хлорит сияқты агрегаттары бойынша танылады, олар әдетте солғын көгілдір жасыл түсті болады. Ревдинскит пен гарниеритке фарфор тәрізді, жер сияқты және колломорфтық ала-құла бояулы әр түрлі реңді жасыл түсті бөлінімдері тән. Гарниерит, галлуазит сияқты тырнақпен жалтырланады, бірақ тырналмайды.

Ыстық HCl қышқылында желім тәрізді кремнийоттек бөліп ыдырайды. Никельге диметалглиоксиммен реакциясы, сондай-ақ бура перлі аса тән болады.

Жаралуы және кенорындары. Непуит тек қана құрамында мардымсыз никельді магний силикаттары бар (оливин, энстатит, серпентин және басқа) ультранегізді магмалық таужыныстар массивтерінің мору қыртысында кездеседі. Непуиттің серпентинит сынықтары бойынша оның бітімдік ерекшеліктерін сақтаған псевдоморфозалану жағдайлары байқалған. Бұл жағдай непуиттің кристалдық тордан магнийді никельдің метасоматоздық жолмен ығыстыруынан жаралатынын көрсетеді. Никель көзіне құрамында бұл элемент қандай да бір қосылыстар түрінде болатын сіңбелік су жатады. Никель қосылыстары мору қыртысының жоғарғы бөліктерінде ультранегізді таужыныстар бастапқы минералдарының ыдырау процесінде жаралады. Гарниерит серпентиниттердің мору қыртысында никельге жұтаң магнийлі гидросиликаттарға қарағанда жоғарылау горизонттарда кездеседі. Шамалы сілтілі немесе бейтарап орталарда бөлінетіні көрінеді. Онымен бірлестікте ұдайы дерлік экзогендік жаралымды кварц кездеседі, ол кебірсу жарықшақтарында желішіктер түрінде бөлінеді.

Құрғақ ауа жағдайларында суының бір бөлігін жоғалтуға, шытынауға және жер тәрізді массаларға өтуге қабілетті.

Непуит (ревдинскит) гарниеритпен бірге біршама елеулі мөлшерде *Ревдинск* және *Уфалей* аудандарында (Орта Орал) *Петров*, *Тюленов*, *Ново-Черамшан*, *Галендухин* және басқа кенорындарда гипергендік силикат-никель рудаларда кездеседі. Мұнда бұл қатар минералдары жапсар маңы ойпаңдарында кең дамыған. Олар мәрмәр немесе галлуазит сазындағы конкрециялар бетінде ежелгі кезде моруға ұшыраған серпентинит массивтерімен көршілес жабын түрінде орналасады. Непуиттің кристалл түрлестері негізінен серпентиниттер делювийінде анықталған. Делювий ультраанегізді таужыныс массивтері шекарасында әктас арасындағы ойпаңдарды толтырды. (*Тюленев* кенорны). Сондай-ақ *Халилов* және *Аккерман* кенорындарында да анықталған, солардың ішінде жасырын кристалды гарниерит бөлінімдері құрамында (Оңтүстік Орал). Гарниерит алғаш рет *Жаңа Каледонияда* Нумеа маңында анықталған. Силикат никель рудасы Оралдағы сияқты, мұнда серпентинит массивтерінің темірлі қалдық мору өнімдері астында жатады.

Практикалық мәні. Непуит таза күйінде де, никельдің араласқабатты гидросиликаттары құрамында да өнеркәсіптік жағынан маңызды никель рудасы құрамында болады.

Хризотилдер – $Mg_3[Si_2O_5][OH]_4$. Грекше *хризос* – алтын, *тилос* – талшық. Минерал кейде шынында да алтынша құлпырымды болады. Әдетте оны асбест немесе амфибол асбесттен ажырату үшін хризотил-асбест деп атайды. Мынадай минерал түрлері бөлінеді: *клинохризотил*, *ортохризотил* және *парахризотил*, олар геометриялық құрылымдық ерекшеліктері бойынша ғана ажыратылады.

Химиялық құрамы серпентиннің құрамындай, %: MgO – 43; SiO₂ – 44,2; H₂O – 12,9.

Сингониясы ең көп таралған полиморфтық модификациясында – *клинохризотилде* – моноклиндік; симметрия түрі призмалық. Кеңістіктік тобы $C2/m(C_2^3n)$. $a_0=14,46$; $b_0=18,5$; $c_0=5,33$; $\beta=93^{\circ}16'$. **Агрегаттары.** Серпентиннің тұтас массасы аясында асбест желішіктер түрінде (*340-сурет*) айқын бөлінеді. Мұнда асбест талшықтары әдетте қабырғаға перпендикуляр бағдарланады. Талшықтардың ұзындығы миллиметрдің ондық бөліктерінен 20–25 мм-ге, кейде 50 мм-ге дейін болып, тіпті 160 мм-ге жететіні де болады.



340-сурет. Хризотил-асбест антигорит жарықшақтары бойынша параллель-талшық агрегаттарда

Түсі. Хризотил-асбест жасылтым-сары алтын құлпырымды, кейде ақ, сирек қышқыл, түтілген түрде қардай аппақ. **Жылтырлығы** жібекше.

Қаттылығы 2–3. Өте жіңішке майысқақ, өте берік, қалыңдығы 0,0001 мм және одан да аз талшықтарға ыдырайды (яғни талшықтардың көлденең өлшемдері коллоидтардағы дисперсиялық фазалар шамасына жетеді). **Басқа қасиеттері.** Оттөзімділікке және сілттөзімділікке ие. Жылуды, электрді және дыбысты нашар өткізеді.

Диагноздаушы белгілері. Параллель-талшық құрылысы және жекелеген талшықтарының майысқақтығы бойынша оңай танылады. Амфибол асбесттен оптикалық қасиеттері бойынша (қосыну) және қышқылдарға қатынасымен ажыратылады.

НСІ қышқылында, амфибол асбесттен айырмашылығы, ериді де кремнийтотықтың талшықты қаңқасын қалдырады. Теңіз суы да ыдырататын әсер етеді.

Жаралуы және кенорындары. Жаралуының жалпы жағдайлары серпентиндегідей, яғни негізінен магнийге бай ультранегізді таужыныстардың гидротермалық өзгеруіне байланысты. Бірақ хризотил-асбест кәдімгі серпентин массаларына қарағанда салыстыруға келмейтін сирек жаралады, бұл оның біршама айрықша жағдайларда жаралатынын көрсетеді.

Хризотил-асбест тұтас серпентиннің желі сияқты жолақтары немесе бұрыс пішінді бөлікшелері арасында байқалады, ол сыйыстырушы серпентинденген таужыныстардан сыртқы түрі бойынша ажыратылады. Хризотил-асбесттің жаралу механизмі әлі толық анықталмаған. Жорамалдап айтқанда, серпентиннің тұтас массалары жаралуы кезінде гель болған сияқты. Мұнда кебірсу процесінде массаның кішіреюі салдарынан айырылу жарықшақтары пайда болған. Осы жарықшақтарда олардың қабырғаларының ажырауы барысында жіңішке талшықты массалардың жаралуы мүмкін. Талшықтар керілу бағыттары бойынша қатал параллель бағдарланады және ол бір ғана түзу жарықшақ жаралды ма немесе бір мезгілде ұсақтау жарықшақтардың тұтас легі жаралды ма, оған байланысты болмайды. Талшықтардың қатал параллельдігін мынадай құбылыспен салыстыруға болады. Егер жаңадан желімденген қалақтарды біршама ажыратып қарасақ, кеппеген желім талшықтарға созылады (желім молекулалары айқын бағдарланған бағытқа және өзіндік жібекше жылтырлыққа ие болады). Мұндай жағдайда өсетін хризотил-асбест талшықтарын қоректендіретін орта болып табылатыны – сыйыстырушы серпентиннің жасырын кристалды массасының өзі.

Россиядағы *Баженов* хризотил-асбест кенорынында (Екатеринбургтің солтүстік-шығысындағы Асбест қаласы) асбестті серпентинит перидотиттер арасында өрілген торлар жолағы түрінде орналасып, меридиан бағытында бірнеше километрге созылады. Осы бағытта диорит-аплит және кварцты порфир желілері де орналасып, олардың жапсарында серпетинит күшті мыжылған, тальктенген және хлориттенген. Хризотил-асбест желілерімен және желішіктерімен парагенезисте тұтас серпентин, офит, кейде

карбонаттар, тальк, брусит және басқалар орналасады. Осындай типті кенорындар Оралдың *Алапаев, Режев, Красноуральск* және басқа аудандарында, сондай-ақ Шығыс және Батыс Саян серпентинит белдеуінде белгілі. Ірі *Ақ-Довурақ* кенорны Тывада орналасып, ол да Баженов кенорнының баламасы болып табылады.

Шетелдерде мынадай ірі хризотил-асбест кенорындарын атау керек: Квебек провинциясындағы *Асбестос* (Канада), содан кейін Плутарх заманынан белгілі Жерорта теңізіндегі *Кунр* аралы кенорны және Зимбабведегі *Шабани* кенорны.

Практикалық мәні. Асбест өзінің айрықша қасиеттерімен адам назарын өзіне өте ерте замандардың өзінде аударған. Асбест талшықтарынан өте ертеде жіп иіріп, мата тоқылғаны көрінеді.

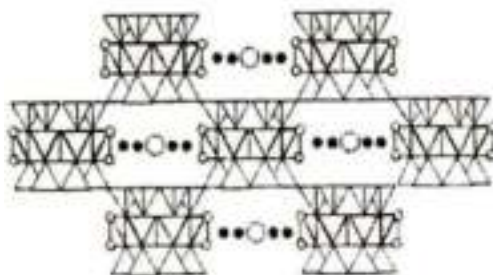
Асбест өнеркәсіптің сан түрлі салаларында пайдаланылады. Ұзындығы 8 мм-ден асатын асбест талшықтарын тоқыма өнеркәсібінде машинамен жіп иіріп, оттөзімді костюмдер, театр перделерін, әр түрлі сүзгілер және түрлі асборезина бұйымдарын жасайтын мата тоқылады. Қысқа талшық (2–8 мм) цементке қоспа түрінде (15 % шамасына дейін) жеңіл және берік оттөзімді шатыр жабыны материалдарын (шифер), асбоцемент құбырларын даярлауға жұмсалады. Ұсақ талшық жылуоқшаулауыш нығыздағыш (асбестат және басқа), оттөзімді болу, бу қазандарының тысы және т.б. пайдаланылады. Байыту фабрикаларының қалдығы химиялық өнеркәсіпте де, ауыл шаруашылығында да кейбір өсімдіктер үшін (мысалы, қызылша еккенде) тыңайтқыш ретінде пайдаланылуы мүмкін.

ПАЛЫГОРСКИТ – $(Mg_{5-3x-n}Al_{2x})_{5-n-x}[Si_8O_{10}](H_2O)_4(OH)_2Ca_n(H_2O)_4$. Атауы табылған жері – Пермь округіндегі Палыгорск кенорны бойынша.

Палыгорскит кірінділер қосылысы болып табылады, сондықтан оның құрамы өзгермелі: құрылымының қуыстарында цеолит суынан басқа кальцийдің біршама мөлшері болады (CaO 8 % шамасына дейін). Магний катиондар позициясында әдетте белгілі дәрежеде алюминиймен алмасуы (формуладағы айнымалы коэффициент x 0,5-ке дейін жетеді), сондықтан палыгорскитке елеулі мөлшерде Al_2O_3 болуы тән. Алюмототыққа жұтаң үлгілері құрамы бойынша басқа құрылысы бойынша оған жақын минерал түріне – *ситолитке* $Mg_4 [Si_6O_{15}](OH)_2 \cdot 6H_2O$ жақындайды да осы екі минерал қоспасы болып табылуы ықтимал, одан басқа Fe^{3+} -пен алмасады.

Сингониясы. Екі политиптен тұрады: ең таралған моноклиндіден (кеңістіктік тобы $P2/m(C^1_{2h})$) және ромбылықтан. Кристалдық құрылымы ерекше өзінше – блокты-қабатты, бос каналдары болады. Құрылымның негізгі детальдарына тальк сияқты үш қабатты пакеттерінің болуы жатады. Одан айырмашылығы, үзіліссіз тетраэдр торларының белсенді оттек төбелерінің полюстілігі мезгіл-мезгіл былайша өзгереді: октаэдрлік катион қабаты әрдәйім «айырылымға» ұшырайды да тетраэдрлердің белсенді төбелерінің артынша тетраэдр торының басқа жағына «секіріп кетеді». Октаэдрлік координацияланған катионды бөлікшелері осылайша, таспалар (қатарлар) түрінде тетраэдрлер торының әр түрлі жұптары аралығында кезектесе қысылып, осыған байланысты созылған блоктар жаралады: Брусит

кабатынан «кесіп алынған» қатарлар шеттерінде оттегі рөлі кристалдық су молекулаларымен атқарылады (341-сурет).



341-сурет. Палыгорскиттің кристалдық құрылымы. Каналдарда кірінді катиондары (ірі шарлар) және цеолит суы (қара шариктер), кристалдық су ақ шариктермен белгіленген

Қатарлық (блоктық) құрылыс SiO_4 тетраэдрлерінен тұратын анион торының үзіліссіздігімен бірлестікте құрылымының беріктігін тальктегі сияқты нашар байланысқан шексіз қатарлар болуын жойып арттырады және құрылымға жалпы таспа-түтікше сипат береді. Блоктардың брусит октаэдр қабатына кейбір октаэдрлердің түсіп қалуына байланысты қабылданатын шағын теріс заряд, құрылымының каналдарында орналасатын кальций иондарымен өтемеленеді.

Агрегаттары. Барлық минералдар үшін микроскоп астында анықталатын шатасқан талшықты құрылыс және айрықша физикалық қасиеттер тән. Бұл қасиеттер минералдың тау терісі, тау тығыны, тау ағашы (кеуіп ыдыраған ағаштың сынықтарына ұқсас), тау еті және басқа көне атауларында өзінің көрінісін тапқан. Бұл заттар өздерінің жоғары кеуектілігі салдарынан өте жеңіл көлемдік салмаққа ие болады да суда оңай қалқиды.

Түсі ақ, кейде сарғыш реңді немесе сұр сарғыш немесе қошқыл реңді. $n_m=1,55$ шамасында. **Қаттылығы** 2–2,5. Ыдыратылған жұқа жалпақ кесектері деформацияланған кезде оңай майысады. **Мен. салмағы** 2,1–2,3. Құрғақ күйде суды көп сіңіреді.

Ыстық H_2SO_4 қышқылында SiO_2 қанқасын бөліп ыдырайды. 220°C -қа дейін қыздырған кезде H_2O біртіндеп жоғалады (15 % шамасына дейін), содан кейін су беру тоқтатылады да $370\text{--}410^\circ\text{C}$ аралығында қайта жоғалтады (5–6 %).

Біршама сирек кездеседі. Көбінесе магнийге біршама бай таужыныстар мұрағанды кезде жаралады, көбінесе жарықшақтарда картонның тығыз парақтарына ұқсас. Ұялар және бұрыс пішінді қабат сияқты жатындар түрінде шөгінді таужыныстарда да жаралады.

Егер айтарлықтай массаларда анықталса, онда ол жылу және дыбыс оқшаулауыш материал ретінде құрылыста қалқалар үшін және басқа мақсаттарда қолданылуы мүмкін.

Россияда біршама көп мөлшерде Ортаңғы Волга өлкесіндегі бірқатар өзендер жағасында Нижегородск облысында, Татар Республикасында (Тетюшинск ауданы), Солтүстік Кавказда Малка өзені салалары бойында, Батыс Сібірде (Кузнец Алатауында) және басқа жерлерде. Украинада

(Корестень, Бердичев және басқа аудандарында), Қырымда (Симферополь ауданындағы Курцы деревнясында) белгілі.

Каолинит топшасы

Мұнда бір заттың үш полиморфтық моноклиндік модификациясы жатады, оларды химиялық көзқарастан негізгі алюминий силикаты ретінде қарастыруға болады. Осы шын мәнінде үш политип аралығындағы фазалық өзара қатынас әлі соңына дейін анықталмаған. Сондықтан оларды әдетте жасалынатындай минерал түрлері деп қарастыру керек пе немесе түрлестері деп қарастырыла ма, ол жағы анық емес. Қалай болғанда да, бұл минералдарға көбінесе жалпылама термин – *кандит* атауы қолданылады, ол минералдар атының бастапқы әріптерінен тұрады. Сонымен қатар, мұнда құрылысы бойынша өте жақын галлуазит те қарастырылады, ол шын мәнінде гидратталған каолинит болып табылады.

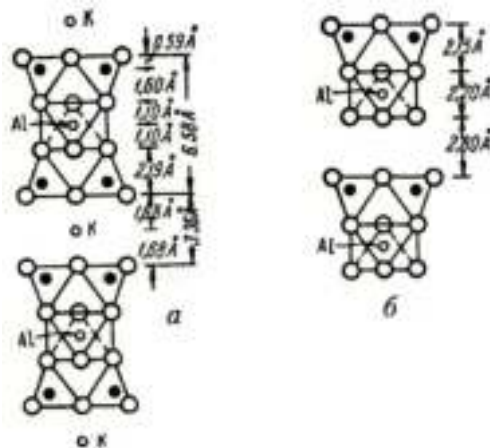
КАОЛИНИТ – $Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8$ немесе $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Бұл минералдың көне атауы қытайдан келген, ол *кау-линг* – биік тау дегенді білдіреді (каолин өндірілген жер осылай аталған). Осы топша минералдары ішінде ең көп таралғандығымен ерекшеленеді. Саздардың көпшілігінің басты құрамдас бөлігі болып табылады.

Химиялық құрамы, %: Al_2O_3 – 39,5; SiO_2 – 46,5; H_2O – 14. Жекелеген компоненттер мөлшері біршама ауытқиды. Қоспалардан шамалы мөлшерде анықталатындар: Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , BaO , SiO және басқалар.

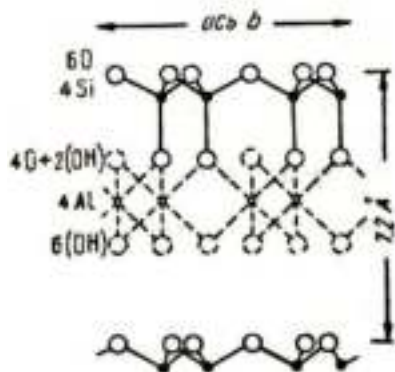
Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық *C*. Кеңістіктік тобы $P1(C_i^2)$. $a_0=5,14$; $b_0=8,90$; $c_0=14,45$; $\beta=100^{\circ}12'$. **Кристалдық құрылымы.** Басқа да слюда сияқты минералдардағыдай, кремнийоттек тетраэдрлері (оларға алюминий қатыспайды) үш төбесімен кәдімгі алты бұрышты тор қабатына байланысқан. Оттектен тұратын әр төртінші төбешік катиондық, «гиббсит», яғни диоктаэдрлік қабат жақтарының бірінің құрылысына қатысады (342 б-суретте). Мұндай екі қабатты пакеттерде комплексті анионның және гидроксил аниондарының жалпы теріс заряды толықтай дерлік Al катиондарының оң зарядымен өтемеленеді. 343-суретте көрсетілгендей, әр қабатты пакеттің келесісімен жапсарында, бір жағынан, гидроксил топтары орналасады, ал екінші жағынан – келесі тетраэдр қабаттың оттек иондары. Каолинит кристалдарының осындай құрылысымен осы топ минералдарының аса жетік базалық жіктілігі және жұқа парақшаларға оңай ыдыратылатыны өте қарапайым түсіндіріледі.

Кристалдарының келбеті. Біршама жақсы жаралған қалақша кристалдары өте сирек және өлшемдері бойынша кішкентай (1 мм-ге дейін). Электрондық микроскопта микрометрлік өлшемді парақшаларының гексагондық келбеті анықталады. Кейде майысқан бағанаша кристалл жаралымдарының сынықтары байқалады, олар түрі бойынша жауын құртын еске салады. Жекелеген қабыршақтары мен парақшалары гексагондық, кейде ромбылық немесе тригондық келбетке ие болады. Агрегаттары қопсық, қабыршақ немесе тығыз майда түйірлі, кейде ақпа пішіндер түрінде кездеседі.

Түсі. Жекелеген қабыршақтары мен парақшалары түссіз. Тұтас массалары ақ түсті, көбінесе сарғыш, қошқылтым, қызғылтым, кейде жасылтым немесе көкшіл реңді болады. **Жылтырлығы** жекелеген қабыршақтарында және парақшаларында інжуше, тұтас массаларда күңгірт. $N_g=1,566$; $N_m=1,565$ және $N_p=1,560$.



342-сурет. Коалинит кристалдық құрылымының сұлбасы (б) мусковит құрылымымен салыстырғанда (а)



343-сурет. Коалинит құрылымының жекелеген қабаттарындағы иондардың орналасуы және саны

Қаттылығы 1 шамасында. Жекелеген парақшалары майысқақ, бірақ серпімділігі жоқ. Құрғақ күйде жер тәрізді массасы сипалағанда қолға майлы білінеді. **Жіктілігі** {001} бойынша аса жетік. Алты сәулелі соққы фигураларына параллель жіктілік бағыттары да анықталады. **Мен. салмағы** 2,58–2,6.

Диагноздаушы белгілері. Коалинит тұтас жер тәрізді массаларда саусақтармен оңай езіледі, құрғақ түрде суды қарқынды жұтады, суланған күйде ерекше жайылғыш камыр береді. Майда кристалды түрлестері тиісті препараттарда микроскоп астында қабыршақтарының пішіні және оптикалық константалары бойынша танылады. Жасырын кристалды массалары шамалап сыну көрсеткіштері бойынша анықтала алады, ал дәл анықтау рентгенметриялық деректер, қыздыру қисықтары және басқа әдістер бойынша мүмкін.

HCl және HNO₃ қышқылдары әсер етпейді десе де болады. H₂SO₄ қышқылында әсіресе қыздырған кезде біршама оңай ыдырайды. 500⁰C-қа дейін қыздырғанда HCl қышқылында толық ыдырайды. Ақ түрлестері, темір гидрооксилдерінен бос болып, қыздырғаннан кейін азотқышқыл кобальтпен көк түске өтеді (Al болуынан).

Жаралуы және кенорындары. Негізгі массасы алюмосиликаттарға (далашпаттар, слюдалар, цеолиттер) бай магмалық және метаморфтық таужыныстардың: граниттің, гнейстің, кварцті порфирдің және басқалардың мору жағдайларында жаралады. Каолиниттің мұндай жаралу процесі H₂O және CO₂ ықпалынан жүреді. Сілтілер мұнда бір SiO₂ бөлігімен бірге және сілті жерлермен карбонаттар түрінде шығарылады, ал кварц және басқа химиялық төзімді минералдар кірінділер түрінде саз массасында қалып, *каолин* немесе каолин сазы деген атқа ие болады. Көбінесе осындай жолмен жинақталатын каолин массасы шайылуға ұшырайды да өзінің жаралған орнынан алыста тоқырау алаптарда бөтен минералдардың ірі кірінділерінен арылған майда дисперсиялық ұйық шөгінді қабаттары түрінде қайта түзіледі.

Каолиндену құбылысы да төмен температуралық *гидротермалық* процестер жағдайында қышқылды су әрекетінен жүреді. Мұндай су құрамында негізінен CO₂ болып, құрамында сілтілер жоқ сол алюмосиликаттар мен алюминий силикаттарына ықпал етеді. Бұл процесс шын мәнінде каолинит псевдоморфозаларының белгілі бір минералдар бойынша олардың сыртқы пішіндері мен кейіптерін сақтай отырып жаралуына әкеледі. Мысалы, каолиниттің далашпаттар, мусковит, топаз, скополит, лейцит, андалузит, пирофиллит және басқалар бойынша псевдоморфозалары осындай.

Аймақтық метармофизм кезінде жоғары температура жағдайларында саз тығыз сазды тақтатасқа өтеді (аргиллит, филлит). 300⁰C-тан жоғары температурада каолинит толық қирайды да сілтілер болған кезде серицитке, слюдаларға, далашпаттарға және басқаларға айналады, ал олар болмаған кезде – алюминий силикаттарына: андалузитке, силлиманитке, кианитке, анартастарға және кристалды тақтатастарды құрайтын басқа минералдарға өтеді.

Өте көп кенорындары ішінде тек кейбіреулерін ғана атаймыз. Оралда бастапқы және туынды кенорындары ішінде негізінен оттөзімді каолин кенорындарынан басым таралғандары шығыс беткейінде Екатеринбург және Челябинск облыстарындағы: *Курьинское, Троицк-Байновское, Еленовское* және басқалар. Көл және батпақ көмірлі шөгінділерімен байланысты оттөзімді саз *Подмосковье* көмір алабында да таралған.

Каолиннің көптеген кенорындары Украина аумағында, оңтүстік Орыс қалқанының шомбал-кристалды таужыныстар (гранит, гнейс, сиенит және басқа) жер бетіне шыққан жерлердегі мору зоналарында таралған. Олардың ең бастылары: *Глуховецкое, Турбовское және Райковское* (Винницк облысы), *Белая Балка* және *Часов-Яр* (Донецк облысы) және басқалар.

Шетел кенорындарынан бастапқы каолиннің ең ірілері *Корнуолл* мен *Девоншир* мекендерінде (Англия); *Карлова Вары* маңында (Чехия); *Бавария*

және *Саксония* аудандарының бірқатар жерінде (саксон және бавар фарфоры – Германия); Францияда *Лиможа* маңында (свер және лиможа фарфоры); айрықша жоғары сапалы каолин *Қытайда* белгілі – *Кау-линг* тауында, Цзянси провинциясындағы *Яучау-фу* маңында және басқа жерлерде.

Практикалық мәні. Каолин өнеркәсіптің көптеген салаларында қолданылады. Бөтен қоспалардың мөлшеріне байланысты ол шикі күйде, яғни алдын ала байытпай-ақ, немесе арнайы қондырғыларда тұндырғаннан кейін.

1. Ең басты және көне тұтынушысына қыш (керамика) өнеркәсібі жатады. Темір окиселдерінің қоспасынан ада каолин негізінен нәзік керамикада фарфор мен фаянс өндірісінде қолданылады. Бұл мақсатта пластикалық қасиеттері, сумен орнықты суспензия беру қабілеті, ал ең бастысы – күйдіру нәтижесінде қатты берік тас сияқты материалға айналу қасиеті пайдаланылады. Мұндай материал суда жібімейді және жоғары да, төмен де температурада төзімді болады. Жоғары температурада балқу қасиетіне ие (1580°C -тан төмен емес) оттөзімді саз құрамында жиі еркін алюмототық гидраттары бар оттөзімді саздың негізгі қолданылуы металлургияда шамот кірпіш, тығын, түтікше, воронка және басқалар түрінде. Саз құмырлар, жапқыштар, құбырлар және басқалар даярлау үшін төмен сортты балқитын каолин сазы қолданылады да олар терракота жапқышы, кірпіші және басқалар деп аталады.

2. *Құрылыста* саз сүеткізбейтін материал түрінде жертөлелердің еденінде қорғаушы қабат ретінде, сушалар бөгенін салған кезде, сабанды кірпіш өндірісінде, глинитцемент даярлауға және басқаларда қолданылады.

3. *Қағаз* өнеркәсібінде толтырғыш және аппретура (қатандық беретін материал) ретінде қағазға жылтырлау бет, жоғарылау тығыздық және басқа қасиеттер беру мақсатында қолданылады. Қағаздың кейбір сорттарында каолин мөлшері 40 % шамасына жетеді.

4. Басқа өндірістерде каолинит массасы клеенка, линолеум, олифамен және басқа заттар қоспасы, қарындаш, бояу, атап айтқанда ультрамарин (кремнийтотықпен, содамен, күкіртпен және органикалық заттармен қоспада) даярлау үшін, алюминий тотығын алу үшін және басқаларда пайдаланылады. Және бір айта кететіні, майда дисперсиялық саз сазды ерітінді деп аталатын түрде (орнықты суспензия) барлау ұңғымаларын мұнайға, тұзға және бірқатар қопсық пайдалы қазбаларды бұрғылаған кезде оқпан қабырғасын ұйықпен нығыздау мақсатында (жарықшақты таужыныстардағы ұсақ кеуектерді толтыратын) пайдаланылады. Бұл жағдай ұңғыма қабырғаларының опырылып түсуін сақтайды және де бұрғылау сұйығымен бірге руда мен таужыныстың уатылған сынықтарын шығаруды оңайлатады (саз толтырғышқа байланысты сұйықтың меншікті салмағы жоғарылайды).

ДИККИТ – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$. **Сингониясы** моноклиндік. Рентгенметриялық зерттеулерге дейін каолинитке жатқызылған. Дик фамилиясы бойынша аталған, ол бұл минералдың алғашқы табылымын «каолинит» деген атаумен 1888 жылы берген.

Кристалдық құрылымы бойынша каолинитке ұқсас. Дәл сондай гексагондық–сақиналық құрылымның үзіліссіз қабаттары болады, бірақ каолиниттен айырмашылығы әр бір жоғары жатқан қабатта гексагондар басқа бағдарлануға ие болады, тек біреуден кейінгі қабатта сәйкес келіп, c осі бойынша периодын арттырады. Кеңістіктік тобы $Cc(C_s^4)$. $a_0=5,14$; $b_0=8,94$; $c_0=14,42$; $\beta=96^{\circ}50'$. Дикит көбінесе біршама жақсы жаралған мөлдір қалақша гексагондық келбетті, диаметрінде миллиметрдің ондық бөліктеріндей кристалшаларда кездеседі. Дикиттің өте жақсы кристалдану қабілеті оның құрылымындағы ОН иондарының О иондарына қатысты, каолинит құрылымындағыға қарағанда симметриялылау орналасуымен түсіндіріледі.

Түсі. Түссіз, ұнтақ тәрізді массаларда ақ, кейде қошқылтым, сарғыш немесе жасылтым реңді. **Жылтырлығы** інжуше. $Ng=1,566$; $Nm=1,562$; $Np=1,560$. **Қаттылығы** 1 шамасында. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,589 (теориялық). 540°C температура шамасында сусызданады.

Көбінесе төмен температуралық гидротермалық минерал ретінде кездеседі. Жиі сульфидтермен, доломитпен, флюоритпен және басқалармен бірлестікте друзалы қуыстарда кристалл қабыршақтары түрінде. Халцедон жеодаларында да байқалған.

Россияда Приморьеде, Дальнегорск скарн-полиметалл кенорнында гидротермалық желілердің ең соңғы минералдарының бірі ретінде. Елеулі массаларда Орталық Қазақстанда, атап айтқанда *Қара-Шоқыда* (Қарқаралыдан оңтүстікке қарай 150 км) гидротермалық өзгерген лава-туфбрекчия порфирлерінде табылған. Мұнда таза дикитті (слюдалы) тұтқыр таужыныс кездескен. Бір қызығы, дикиттің жаралуы далашпаттар серицитизациясының артынша жаралғандығы. Дикит қабыршақтарының өлшемі 0,1 мм-ге, ал тұтас таужыныста 0,5 мм-ге жетеді.

НАКРИТ – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$. **Сингониясы** моноклиндік. Кристалдық құрылымы каолинит құрылымынан қабатты пакеттерінің бір-бірімен салыстырғанда аз ығысқандығымен айрықшалаынады. Кеңістік тобы $Cc(C_s^4)$. $a_0=5,16$; $b_0=8,93$; $c_0=28,66$; $\beta=91^{\circ}43'$. Гексагондық келбетті ірілеу қалақша кристалдарда кездеседі (диаметрі 5 мм-ге дейін). Радиал–қалақша агрегаттарда және тығыз немесе майда қабыршақ массаларда да байқалады.

Түсі. Түссіз немесе сарғыш реңді ақ. **Жылтырлығы** інжуше. $Ng=1,563$; $Nm=1,562$; $Np=1,557$. **Қаттылығы** 2 шамасында. **Жіктілігі** {001} бойынша аса жетік. **Мен. салмағы** 2,627.

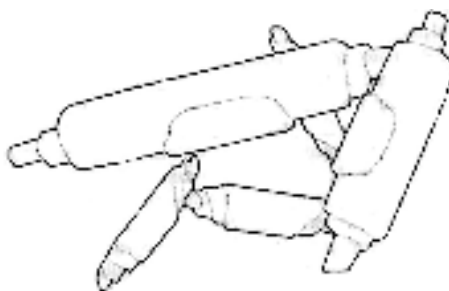
Накрит экзогендік те, эндогендік де жағдайларда жаралады, қышқылды ортада болатыны көрінеді. *Кенді таулардың* (Саксания, Германия) бірқатар жерлерінде, атап айтқанда *Бранде* мекенінде галениттің төңірегінде радиал орналасқан қалақша кристалдар тобы түрінде; Колорадо штатындағы (АҚШ) *Сан-Питерс Дом* мекенінде слюдамен және криолитпен бірге кездеседі.

ГАЛЛУАЗИТ – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (формула біршама ықшамдалған) немесе $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Химиялық құрамы, %: Al_2O_3 – 34,7; SiO_2 – 40,8; H_2O –24,5. Минералдағы су мөлшерінің жартысы гидроксил түрінде, ал қалғаны H_2O молекулалары түрінде болады. Молекулалық судың мөлшері тұрақсыз ($4\text{H}_2\text{O}$

шамасынан аз); осыған байланысты басқа компоненттерінің де мөлшері ауытқиды. Қоспалар түрінде мардымсыз мөлшерде кездесетіндер: Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO , FeO , кейде NiO , CuO , ZnO .

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі диэдрлік осьсіз P . Кеңістіктік тобы $Cm(C_s^3)$. $a_0=5,20$; $b_0=8,92$; $c_0=10,25$; $\beta=100^\circ$. Гель сияқты, омырылымы жазық ұлуша шалакүңгірт массаларда кездеседі. Оған тәні, галлуазиттің майда дисперсияланған бөлшектері электрондық микроскоп көмегімен өте үлкен үлкейту арқылы алынған фотосуреттерде орам тәрізді пішінге ие екені көрінеді (344-сурет), каолиниттің қалақша бөлшектерінен осысымен айрықшалаанады.



344-сурет. Галлуазиттің орам тәрізді кристалдары (электрондық микроскоптағы фотографиясы бойынша)

Түсі. Галлуазит ақ түсі, жиі әр түрлі реңді: сарғыш, қошқыл, қызғылт, көгілдір, жасылтым. Сыртқы қабықшасы көбінесе темірлі. **Жылтырлығы** өзгермеген фарфор тәрізді түрлестерінде шайырша, кеуек және қопсық түрлестері күңгірт. Сынудың орташа көрсеткіші 1,547–1,550 аралығында өзгереді (H_2O азайған сайын артады).

Қаттылығы 1–2. Морт. Тырнақпен үйкегенде оңай жалтырланады. Қопсық түрлестері сипалағанда көбінесе тальк сияқты. Тығыз түрлестері ауада кепкенде шытынайды да ұсақ үшкір жазық ұлуша омырылымды сынақтарға бөлшектенеді (бұл құбылыс галлуазит тобы минералдарының барлығына аса тән). **Мен. салмағы** H_2O мөлшеріне байланысты 2–2,2 аралығында ауытқиды.

Диагноздаушы белгілері. Галлуазиттің қопсық түрлестері сыртқы белгілері бойынша каолиниттің дәл осындай түрлестерінен ажыратылмайды. Іс жүзінде олардың қыздыру қисықтары да ұқсас. Бірақ олар каолиниттен суының мөлшері, оптикалық константалары, сондай-ақ сусыздану қисықтарының өзгеруі бойынша, әсіресе бастапқы сатыларында, айтарлықтай айрықшалаанады. Сондай-ақ төмен қаттылығы, тырнақпен жалтырлану қабілеті және төмен меншікті салмағы тән. Бір қызығы, сусыздандырғаннан кейін (тіпті жартылай болса да) *суды қайта жұту* болмайды, бұл жағдай галлуазитті гидрослюда тобының басқа минералдарынан елеулі айрықшалайды. Кептірілген массалары біршама жоғары қаттылыққа және жазық ұлуша омырылымға ие. Және бір тәні, сусыздандырған кезде бұл массалар көптеген ұсақ үшкір сынықтарға бөлінеді.

Қышқылдар мен сілтілерде жартылай ыдырайды, ісінбейді. Құрғақ күйде тілге жабысады.

Жаралуы және кенорындары. Галлуазит нағыз *экзогендік* минерал болып табылады да негізінен таужыныстардың (габбро, диабаз, порфирит және басқа) және кейбір никель, мыс пен мырыш руда кенорындарының мору қыртысында кездеседі. Әдетте ол шағын линза тәрізді массалар мен жиырылымдар жасайды; көбінесе бұл топтың басқа минералдарымен, сондай-ақ алунитпен, кейде диаспормен, монтмориллонитпен және басқалармен бірлеседі.

Және де әктас арасындағы карст ойпаңдарында, тіпті органикалық қышқылдарға бай қышқылды топырақта да кездеседі.

Галлуазит Оңтүстік Оралдағы көптеген никельді гидросиликаттар кенорындарының мору қыртысында біршама кең таралған: *Айдарлы, Халилов* және басқа. Әдетте ол әр түрлі химиялық және механикалық қоспалармен ластанған болады. *Журавлинское* кенорнында Чусовая өзенінде (Орал) карст ойпаңында алунитпен және гиббситпен бірге әктастың қошқыл сазбен шекарасында, *Хакасияның* Минусинск ауданында және басқа жерлерінде анықталған. Шетелдерде алғаш Бельгияда, көне темір және мырыш кеніштері ауданындағы Льеж маңы Англер әктасында анықталған.

Дербес түрде практикалық мәнге ие.

6. Аллофон тобы

Алдында айтылған топтан кейін шын мәнінде аморфты шыны тәрізді немесе шайыр сияқты, көбінесе өзгермелі химиялық құрамды *минералоидтарды* (минералдар сияқты жаралымдар, минералогия нысандары арасында тек салтқа сай қалатын «минерал» анықтамасына керісінше). Олардың құрамына негізінен Al_2O_3 , SiO_2 және H_2O кіреді. Олардың жүйеленуі әлі әзірше әзірлене алмайды. Сондықтан біз мұнда бұл минералдар қасиеттерінің тек жалпы сипатталуын «аллофан» деген жинақ атаумен береміз.

АЛЛОФАН – $mAl_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot pH_2O$. Грекше *аллофанес* – басқаша болатын дегеннен (минерал көгілдір немесе жасылтым реңі бойынша жиі мыс рудасы деп қате қабылданған).

Химиялық құрамы. Бұл топ минералдары химиялық қосылыстар болып табылмайды, олар нағыз жалған ерітінділер болады. Толық қолда бар талдауға сай, Al_2O_3 мөлшері 23,5–41,6 %; SiO_2 21,4–39,1 %; H_2O 39–43,9 % ауқымында ауытқиды. Олардан басқа мына компоненттер жиі анықталады, %: Fe_2O_3 (0,8-ге дейін, одан да көп темірге бай түрлестері де кездеседі), MgO (0,3-ке дейін), CaO (2 және одан да көп), K_2O+Na_2O (0,3-ке дейін), CuO (1,6 және одан да көп), ZnO (4-ке дейін), CO (1,2-ге дейін), P_2O_5 (1,3-ке дейін), SO_3 (0,2-ге дейін).

Сыртқы түрі. Нағыз шыны тәрізді массалары қисық немес ұлуша бетті омырылымды. Сондай-ақ тегіс бүйрек тәрізді бетті қабыршақтар түрінде,

кейде ұнтақ тәрізді ақ массаларда кездеседі. Рентгенметриялық зерттеулер заттың кристалдық құрылымын көрсетпейді.

Түсі көбінесе солғын-көгілдір, жасылтым-сары, кейде қанық-жасыл, қошқыл, жай түссіз. Мөлдір немесе жарық өткізеді. **Жылтырлығы** шыныша, майша. $N=1,47-1,51$.

Қаттылығы 3 шамасында. Өте морт. **Мен. салмағы** 1,85–1,89.

Диагноздаушы белгілері. Өзіндік қасиеттеріне шыны тәрізділігі, мөлдірлігі немесе шала мөлдірлігі және төмен қаттылығы (опалдың мөлдір түрлестерінен айырмашылығы) жатады. Осыған байланысты олар аморфты, оптикалық изотроп және сыну көрсеткіштері бойынша ажыратылмайды. Дәл диагноздау тек химиялық талдау көмегімен ғана жүргізіле алады. Қыздыру қисығы да біршама тән, бірақ шала кристалданған аллофанда кристалл фазасын тек рентгенметриялық жолмен ғана анықтауға болады (көбінесе галлузит кристалл фазасының белгілері анықталады).

Азотқышқылды кобальт ерітінділі ұнтағы әсем көк түсті қабылдайды (Al). HCl қышқылында кремнийоттек тұнбасын жасап ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Аллофандар тек қана экзогендік жаралымдар ретінде кездеседі. Көбінесе олар руда кенорындарының және таужыныстардың тотығу зоналарындағы жарықшақтар мен қуыстарда байқалады. Мысалы, мергель арасындағы қуыстарда, саз, көмір, қошқыл теміртас, қорғасын-мырыш, мыс және басқа руда кенорнындағы табылымдары белгілі. Көбінесе галлуазитпен, кейде хризоклламен, кварцпен, карбонаттармен және басқалармен бірлеседі. Құрамында CO_2 бар судың ықпалымен карбонаттарға ұшырайды. Сондай-ақ галлуазитке өтіп ыдырайтын жағдайлары да белгілі.

Россиядағы өте көп санды табылымдарынан мыналарды атаймыз: *Журавлинск* алуנית кенорнындағы (Орал); Минусинск ауданындағы *Потехино* селосы маңында (Хакасия) метасоматоздық жолмен аллофан бойынша дамидын алюмогидрокальцитпен бірлестікте; Иваново облысындағы *Барановка* деревнясы маңында; Тула облысындағы *Малеевка* деревнясы маңында; Россияның еуропалық бөлігінде орталық облыстардағы *Хоперск*, *Липецк* және басқа темір рудалы кенорындарда; Нальчик төңірегіндегі ағартқыш саз шөгінді кенорындарында және басқалар.

Қарамазар тауларында да белгілі болған (Тәжікстан).

7. Гидрослюдадар және соларға ұқсас минералдар

Слюда және хлорит сияқты болатын минералдар мыналарымен айрықшаланады: олардың құрамында байланыстыратын қабатарлық катиондардың аз мөлшері бар, бірақ елеулі мөлшерде байланысқан H_2O молекулалары болады да олар қыздырған кезде біршама жеңіл аластатылады.

Бұл минералдар сыртқы ұқсастық белгілеріне және генезисінің ортақтығына қарамай, каолинит тобы өкілдерімен бірге саз құрамында болғанымен, олардан кристалдық құрылымы және кейбір өте айрықша физикалық қасиеттері бойынша айтарлықтай ерекшеленеді. Каолинит тобы

минералдарымен салыстырғанда айрықшаланатын ерешелігіне мұнда мыналар жатады: гиббсит немесе брусит қабаты екі кремнийоттек тетраэдрі қабатының аралығында орналасады. Бұл жағынан алғанда гидрослюдалар тальк, слюдалар тобы минералдары құрылысы ерекшеліктеріне жақын келеді.

Гидрослюдалар қабатарлық кеңістікті катиондармен толтыру дәрежесі бойынша слюдалар мен тальк аралығында аралық жағдайда болады. Слюдаларда қабатарлық катиондардың барлығы көріністе және теріс зарядталған пакеттер аралығындағы позициялар толған болса, ал талькте қабатаралық кеңістік пакеттердің бейтарап болуына байланысты бос болады. Гидрослюдалардың көпшілігі қабатарлық кеңістігінде катиондарды алмастыратын судың нақты мөлшері болады. Сондықтан қабатаралық кеңістік саңылауының шамасы бойынша мардымсыз өзгереді. Мұндай гидрослюдалардың суқанығуы шектеулі. Бірақ негізінен бұл процестің бастапқы өнімдерінің ары қарай гидролизденуіне әкелетін үдемелі морудан біртіндеп күмпіюге (ісінуге) жоғары қабілетті минералдар пайда болуына әкеледі.

Смектиттер деп аталатындарда (грекше *смекто* – жағыламын) қабатаралық катиондар айтарлықтай шаймаланған және олардың көлемін су молекулалары алып, олар қалған катиондарды қоршайды да пакеттер аралығындағы көлемді артығымен толтыратын гидратталған комплекстер жасайды. Слюда пакетінің заряды катиондардың бір бөлігінің шаймалануына байланысты және октаэдрлерден де шығарылуынан кішірейетіндіктен, қабатаралықта болатын заряд сияқты пакеттер аралығындағы байланыс нашарлайды да пакеттер ажырайды.

Одан басқа, су молекулалары реттеле орналасуы ықтимал, олар оттеппен бірге тетраэдр торларында сутек байланысын жасайды. Осылайша орналасу энергетикалық тиімді және қабатаралық кеңістікте суды қабылдау өз еркінше жүреді.

Осындай текті реакциямен байланысты смектиттердің практикалық жағынан тамаша және төтенше маңызды ерекшелігіне олардың құрамында су болған кезде ісіну қасиеті жатады, ал қыздырған кезде оптаған суын біртіндеп қайтарады. Осыған байланысты кристалдық тордың *c* параметрінің шамасы елеулі ауқымда ауытқи алады – 9,6-дан 28,4 Å-ге дейін, минерал кристалдық құрылымына қатысатын H₂O молекулаларының мөлшеріне байланысты. Негізінен монтмориллонит тобы минералдарынан және сұйықтардан әр түрлі ластаушы жүзгін қоспаларды (ал құрғақ күйде тіпті мұнай газдарын да) айырып алуға қабілетті минералдардан тұратын саздың жоғары оптау қабілеті өнеркәсіптің түрлі салаларында кең пайдаланылады. Күйдіргіш және көмірқышқыл сілтілерін жақсы оптайтын саз да кездеседі, олар сондықтан «сабындайтын» заттар ретінде пайдаланылып, сабын қайнату өнеркәсібінде қолданылады. Осы саздардың барлығы ағартқыш саз деп аталады. Оларға және де әр түрлі арнайы атаулар берілген: бентонит немесе бентонин саз, фуллер жері, гумбрин, нальчикит және басқа.

Әдетте майда дисперсиялық массалардан тұратын осы топ минералдарының басқа өте маңызды қасиетіне катиондар алмасуында күшті

білінген қабілеттілігі жатады. Бұл жағдай цеолиттерге және пермутиттер деп аталатын арнайы заттарда анықталғандарға ұқсас. Негізінен монтмориллониттен тұратын саздың 100 г затында 60–100 мг-экв алмасушы катиондар, негізінен Ca^{2+} , K^+ , Na^{1+} болады, ал каолиндерде бұл катиондар небәрі 3–15 мг-экв шамасында анықталады. Майда ұнтақтағаннан кейін катиондар алмасуы үш есеге дейін артатын болғандықтан, бұл алмасу катиондары тек қана бөлшектердің бетінде емес, сондай-ақ кристалл фазалардың ішінде де (кристалл құрылымдағы қабатты пакеттер аралығындағы кеңістікте екені көрінеді) орналасады деп есептейді.

Гидрослюдадардың жаралуын кейбір жағдайларда гидротермалық процестердің төмен температуралық сатыларымен байланыстырады, бірақ бұл минералдар негізінен магмалық таужыныстар мен пегматиттердің мору процестері кезінде олардың құрамындағы слюдалар немесе слюда сияқты минералдар есебінен пайда болады. Олардың кейбіреулері шөгінділердің ыдырау өнімдері түрінде теңіз алаптарында анықталады. Барлық жағдайларда олардың жаралуына қажет жағдайларға суға бай ортаның болуы жатады.

Мұндай минералдардың химиялық құрамы тұрақсыз: пакеттерді байланыстыратын катиондар мөлшері және H_2O өзгермелі.

Бұл жерде біздің қарастыратынымыз: иллит, вермикулит, глауконит, бейделлит, монморлинит және нонтронит. Соңғы үш минералды жиі смектит тобына жатқызады.

ИЛЛИТ – $\text{K}_{-1}\text{Al}_{-2}[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Атауы табылған жері Иллинойс бойынша (АҚШ) берілген. Синонимдері: гидромусковит, монотермит. Көпшілік жағдайларда иллит мусковиттің шала гидролизденген өнімі болып табылады. Бір қатар жағдайларда мұнда аралас қабатты иллит-мусковит жаралымдары пайда болып, оларға көбінесе гидромусковит деген атау да қолданылады.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Мусковитпен салыстырғанда K_2O мөлшері 6-ға тіпті 2–3 % шамасына дейін төмендейді, ал H_2O болса керісінше 8–9 % шамасына дейін артады. Гидромусковитте SiO_2 мөлшері жиі 50–55 %, Al_2O_3 25–33 %. Қоспалары: Fe_2O_3 , MgO (бірнеше процентке дейін), CaO және басқалар.

Кристалдық құрылымы мусковит құрылымынан шамалы ғана айрықшаланады да слюда пакеттерінің катиондары қабатаралық кеңістігінде де, гиббсит октаэдрлік қабатында да жеткіліксіз біршама қопсық жайласымды болып табылады. Катиондардан жартылай босаған қабатаралық кеңістікті су молекулалары, кейде мүмкін гидроксоний H_3O^+ иондары алады.

Иллит қабыршақ және жұқа қалақша ақ массаларда, сипалағанда майша, әдетте каолинитпен және басқа минералдармен қоспа түрінде байқалады. **Қаттылығы** 1–2, **мен. салмағы** мусковиттен төмен. Жекелеген қабыршақтары майысқақ, бірақ мусковитпен салыстырғанда серпімділігі төмендеу. Сыну көрсеткіштері мусковитпен салыстырғанда төмен; олар құрамына байланысты әдетте 1,55–1,58 ауқымында өзгереді (H_2O мөлшері артқан сайын төмендейді).

Көбінесе саз арасында кездеседі, әсіресе слюдалы (мусковитті) тақтатастардың, гнейстің, кварц-серицитті таужыныстардың мору өнімдері болып табылатындардың. Ал кейбір жағдайларда далашпаттардың каолинитке айналу кезіндегі өзгеру өнімі ретінде болатыны көрінеді. Жиі қышқылды, және орташа құрамды магмалық таужыныстардан жаралған топырақта анықталады, монтмориллонитпен және басқа минералдармен бірлестікте.

ВЕРМИКУЛИТ – $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_{<3}[\text{Al}_{<1}\text{Si}_{<3}\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Атауы латынша *vermiculus* – құрт дегеннен шыққан. Бұл атау минералдың қыздырған кезде өте ерекше күйге түсетініне байланысты берілген: оның парақшаларынан ұзын құрт сияқты бағанашалар мен жіптер жаралады.

Химиялық құрамы молекулалық су мөлшеріне байланысты тұрақсыз. Құрамы, %: MgO 14,23; Fe₂O₃ 5–17, FeO 1–3; SiO₂ 37–42; Al₂O₃ 10–13, H₂O 8–18. Олардан басқа K₂O 5 %, кейбір түрлерінде NiO 11 % шамасына дейін болады.

Сингониясы моноклиндік болуы ықтимал. Вермикулит әдетте биотит немесе темірлі флогопит бойынша псевдоморфозалар түрінде жаралады.

Түсі қошқыл, сарғыш-қошқыл, жасылтым-қоңыр, зәйтүн-жасыл, алтын-сары, қола-сары. **Жылтырлығы** биотитпен салыстырғанда нашарлау, көбінесе майша. $N_g = N_m = 1,54–1,58$; $N_p = 1,52–1,56$.

Қаттылығы 1–1,5. Жұқа парақшаларының серпімділігі нашар немесе жоқ. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,4–2,7. **Басқа қасиеттері.** Вермикулиттің ең керемет қасиетіне оның қыздырған кезде (900–1000⁰С температура аралығында) өзінің көлемін ерекше күрт арттыруға қабілеттілігі (15–25 есе) жатады. Бұл құбылыстың мәнісі мынада болады. Молекула суының буға айналуынан туындаған қысымнан жекелеген дарақтар *c* осі бойынша ыдырайды да жылдам күмпиеді. Күмпиюдің жылдам жүретіні сондай, нәтижесінде құрт тәрізді бағаналар мен жіптер жаралады (жіктілік жазықтығындағы түйірлер өлшеміне байланысты), алтын немесе күміс түсті, өте майда қабыршақтарға көлденеңінен бөлінеді. Жекелеген дарақтарда аса ұсақ ауа қабықшаларының орасан зор мөлшерде жаралуы өте төмен көлемдік салмағын қалыптастырады (0,6–0,9). Вермикулиттің күйдірілген массалары суда еркін, қалқып жүреді. Күйдірілген вермикулиттің жоғары жылуоқшаулауыш қасиеттері осыған байланысты. Жылу өткізгіштік коэффициенті $\lambda = 0,04–0,05$ ккал/м сағ⁰С (асбестте 0,15–0,4).

Диагноздаушы белгілері. Сыртқы белгілері бойынша мұрыған биотитке немесе хлоритке ұқсас. Ең көрнекі белгісіне отқа күйдірген кезде күшті білінетін күмпиюі және құрт тәрізді ұзын қисық жіп немесе бағанаша жаралуы жатады.

Жаралуы және кенорындары. Әдетте шағын мөлшерде биотит мұрыған кезде жаралады. Айтарлықтай шоғырлары метасоматоздық жолмен ультраанегізді таужыныстар есебінен жаралған гидротермалық өзгерген (төмен температурада екені көрінеді) биотит немесе флогопит желілерінде, линзаларында немесе денелерінде анықталады.

Россияда *Ковдор* кенорнында кездеседі, мұнда ол карбонатитте форстеритпен, диопсидпен, монтичеллитпен $\text{CaMg}[\text{SiO}_4]$ және магнетитпен бірге орналасады. Қазақстанда Үлкен Қаратау жотасындағы *Құлан* кенорны (Оңтүстік Қазақстан) белгілі. Шетел кенорындарынан ірі өнеркәсіптік *Либби* (Монтана штаты, АҚШ) және Батыс Австралияда белгілі.

Практикалық мәні. Күйдірілген вермикулит массалары жылуоқшаулауыш материал ретінде бу құбырларын, қазандықтары, пештерді және басқаларды қаптауға қолданылады. Дыбыс жұтқыш материал ретінде ол ұшақ кабиналарын, кейбір арнайы лабораторияларды және басқаларды жабдықтаған кезде пайдаланылады. Күйдіргеннен кейін қабылдайтын алтын немесе күміс түсті реңіне байланысты, тұсқағаз өндірісінде қолданылады. Сондай-ақ жағар материал ретінде де жарамды. Ақыр соңында, вермикулит мынадай тамаша қасиетке ие – өте жоғары катиондық алмасуға қабілетті, бұл қасиеті монтмориллонит тобымен салыстырғанда әлдеқайда күшті білінеді.

ГЛАУКОНИТ – $\text{K}_{<1}[\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}]_{<2,5}[(\text{Si}, \text{Al})\text{Si}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Грекше *глаукос* – көкшіл-жасыл дегеннен.

Химиялық құрамы. Негізіннен ол темір мен магнийдің сулы алюмосиликаты. Басты компоненттерінің нағыз глаукониттегі мөлшері мынадай ауқымда ауытқиды, %; K_2O 4–9,5; Na_2O 0–3; Al_2O_3 5,5–22,6; Fe_2O_3 6,1–2,79; FeO 0,8–8,6; MgO 2,4–4,5; SiO_2 47,6–52,9; H_2O 4,9–13,5. Магний басым болған кездегі түрлесі *селадонит* деп аталады.

Сингониясы моноклиндік. $a_0=5,24$; $b_0=9,07$; $c_0=20,03$; $\beta=95^{\circ}00'$. Гексагондық пішінді ұсақ кристалдарда өте сирек байқалады. Әдетте сеппе жұмырланған түйірлер немесе диаметрі бірнеше миллиметрге дейін жететін шариктер түрінде қопсық кремнийлі немесе саз-карбонатты таужыныстарда таралған. Кейде шеттері бейтегіс және қисайған бағанашалар түріндегі парақшалары кездеседі.

Түсі күңгірт-жасылдан жасылтым-қараға дейін, жұқа шлифте жасыл. **Сызығы** жасыл. Селадонит солғын сұр-жасылдан салат түстіге дейін. **Жылтырлығы** әдетте күңгірт, тығыз түрлестерінде шыныша, майша. $N_g=1,610-1,644$; $N_p=1,590-1,612$.

Қаттылығы 2–2,5. Морт. **Жіктілігі** өте сирек анықталады (тек ірі дарақтарында ғана) $\{001\}$ бойынша. **Мен. салмағы** 2,2–2,8.

Диагноздаушы белгілері. Күңгірт-жасыл, кейде көк реңді түсі, төмен қаттылығы және шөгінді таужыныстар құрамына кіретін минералдар парагенезисі бойынша танылады. Лептохлориттерден төмен сыну көрсеткіштерімен және химиялық құрамы бойынша (калий айтарлықтай мөлшерде болады) ажыратылады.

Қою HCl қышқылында ыдырайды. Еріген кезде түйірлер орнында кремнийтотықтың өте жұқа ақ қаңқасы қалады, түйірдің жалпы пішіні сақталады.

Жаралуы және кенорындары. Глауконит теңіздік жаралымды шөгінді таужыныстарда (құмтас, опока, саз, карбонат таужыныстар, фосфорит қабаттары) таралған. Бұл таужыныстар біршама шағын тереңдікте, негізінен теңіздер мен мұхиттардың жағалау бөлікшелерінде, сондай-ақ

казіргі теңіз шөгінділерінде (жасыл ұйық пен құмда) жаралады. Кейде топырақта және интрузиялық таужыныстар үстіндегі элювий қиыршығында (батпақталған бөлікшелерде) кездеседі. Селадонит кейде негізді таужыныстар мұрыған кезде бастапқы сатыларында, мүмкін термалық судың қатысуымен пайда болады.

Мору процесінде глауконит төзімсіз және теміргидроокиселдері мен кремнийтотық жарала ыдырайды. Осы процеспен көбінесе қошқыл теміртастың, әсіресе батпақтағы кейбір кенорындары жиі байланысты.

Глауконит кенорындары аса көп және олар жасы әр түрлі саяз сулық шөгінділерде орналасады. Олар тек кейбір ең бастыларын ғана көрсетеміз.

Жасы жоғарғы бор глауконитті құмның орасан үлкен кенорны фосфорит қабаттарының астында төселіп, *Оңтүстік Орыс* ойпаңы деп аталатынның (Украина) ауқымында орналасады. Глауконитті құмда фосфорит жалбырлары жиі анықталады. Глауконитті құм жасы палеоген-неоген түзілімдерінде Оралдың шығыс беткейі бойындағы кремнийлі саз бен опока арасында, Поволжьеде, Батыс Қазақстанда және көптеген басқа жерлерде таралған.

Практикалық мәні. Глауконит калийұстамды минерал ретінде шикі түрінде немесе дұрысы тиісті термикалық өңдеуден кейін топырақты тыңайту үшін қолданылады.

Глауконит концентраты жасыл түсті арзан қорғаушы бояу ретінде пайдаланылады, ол басқа жасыл бояулармен салыстырғанда бірқатар артықшылыққа ие (қышқылдарға, сілтілерге қатысты төзімді, ұусыз және басқа).

Глауконит неопермутит деген атаумен сондай-ақ қант, сыра, шарап, тоқыма және басқа өнеркәсіп салаларында кермек суды жұмсартқыш ретінде қолданылады. Мұндай қолданылуы оның катиондық алмасу реакцияларына қабілеттілігіне негізделген. Осы мақсатта глауконит концентраты алдымен астүз ерітіндісімен өңделеді, осының нәтижесінде натрий иондары концентратта жұтылады. Кермек суды осындай концентрат арқылы сүзген кезде катиондар алмасуы жүреді: судың сілтіжер катиондары жұтылады, ал ерітіндіге натрий катиондары өтеді де бұл жағдай су кермектілігінің жоғалуына әкеледі.

БЕЙДЕЛЛИТ – $Al_2[Si_{4-x}Al_xO_{10}][OH]_2 \cdot (Na_2Ca)_{x/2} \cdot 4H_2O$. Колорадодағы (АҚШ) Бейделл мекені бойынша аталған.

Химиялық құрамы тұрақсыз, судың мөлшеріне байланысты біржарымдық окиселдер мен кремнийтотықтың өзгермелі санын көрсетеді. Al_2O_3 мөлшері 20–27,6 %, SiO_2 – 45–50 % ауқымында ауытқиды. Әрдәйім дерлік шамалы мөлшерде Fe_2O_3 , CaO , сілтілер: Na_2O мен K_2O , кейде MgO , NiO , MnO және басқалар болады.

Сингониясы моноклиндік. Сирек жұқа ромб тәрізді парақшаларда кездеседі. Әдетте жер тәрізді массалар түрінде монтмориллонитпен бірге бентонит сазда таралған. **Кристалдық құрылымы** монтмориллонит құрылымына ұқсас.

Түсі сарғыш, қошқылтым реңді ақ. **Жылтырлығы** тығыз массаларында нашар, балауызша. Сыну көрсеткіштері тұрақсыз, судың мөлшеріне тәуелді.

Қаттылығы парақшаларда 1,5. **Жіктілігі** {001} бойынша. **Мен. салмағы** 2,6 (парақтарының). Бейделлит қарастырылатын топтың басқа да минералдары сияқты, қатал эквивалентті қатынастарда катиондық алмасуға айқын білінген қабілетке, суда ісінуге және басқа ортақ қасиеттерге ие.

Практикалық мәні туралы монтмориллонитте айтылады.

Жаралуы және кенорындары. Бейделлит негізді және ультракегізді таужыныстардың мору қыртысында Оңтүстік Оралдың *Халилов, Аккерман* және басқа аудандарында байқалған. Оның осы жағдайларымен, мысалы, құрамындағы никель мен хром мөлшері байланысты. Кейбір руда (сүрме, марганец және басқа) кенорындарының тотығу белдемінде де кездескен. Аса елеулі мөлшерде лёсс таужыныстарда анықталған. Мысалы, Миссури штатының (АҚШ) оңтүстік-шығыс бөлігінде лёссстен жаралған топырақта немесе магмалық таужыныстардағы сұр топырақта жанартау күлінің өзгерген өнімі ретінде, бентонит сазда монтмориллонитпен бірге және басқаларда.

МОНТМОРИЛЛОНИТ – $(Mg_{0,33}Al_{1,67})[Si_4O_{10}][OH]_2[Na_{0,33}(H_2O_4)]$. Атауы табылған жері Монтмориллоне бойынша (Франция). Кең таралған минерал болып табылады, негізінен саздың кейбір түрлерінде.

Химиялық құрамы тұрақсыз, судың өзгермелі мөлшеріне өте күшті тәуелді болады. Таза түрлерін қолда бар талдау деректері бойынша мынадай ауытқулар анықталады, %: SiO_2 48–56; Al_2O_3 11–22; $Fe_2O_3 \geq 5$; MgO 4–9; CaO 0,8–3,5; H_2O 12,24. Олардан басқа кейде K_2O , Na_2O және басқалар анықталады. Құрамы бойынша түрлерінен өзіне назар аударатыны Сг-монтмориллонит, ол волконскоит деп аталады да бояу ретінде пайдаланылады.

Синогиясы моноклиндік. $a_0=5,10$; $b_0=8,83$; $c_0=15,2$ (400^0C -қа дейін қыздырған кезде 9,6-ға дейін азаяды).

Түсі сұрғылт, кейде көкшіл реңді ақ, қызғылт, қызыл, кейде жасыл. **Жылтырлығы** құрғақ күйде күңгірт. $Nm=1,516-1,526$.

Қаттылығы жекелеген қабыршақтарында белгісіз. Өте жұмсақ. Майша. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік. **Мен. салмағы** тұрақсыз.

Диагноздаушы белгілері. Саздар құрамында монтмориллонит бар екеніне су тигенде олардың күшті ісіну құбылысына қарап жорамалдауға болады және осыған байланысты майлы қасиеті білінеді. Бірақ дәл диагноздау оптикалық константаларын дәл өлшемей, рентгенметрлік зерттеулерсіз және химиялық талдауларсыз мүмкін емес.

Монтмориллонит пен бейделлитке бай бентонит саздың жер бетіне шыққанына тән кейбір сыртқы белгілері қызық. Жаңбыр жауып өткен соң жер бетіне шыққан саз сырғанақ қоймалжыңның қою массасына айналады. Кепген кезде бұл саз шытынайды және де тереңдеу бөлікшелерінде күшті ісіну құбылысы жалғасуына байланысты күмпие береді. Нәтижесінде олар жиырылған, күшті жарықшақтанған түрге еніп, маржанды еске түсіреді. Құрғақ ауа райы қалыптасқанда саздың беті төтенше қопсық болады.

Жаралуы және кенорындары. Монтмориллонит тек қана дерлік *экзогендік* жағдайларда, негізінен негізді магмалық таужыныстардың сілтілі орта мору жағдайында жаралады.

Монтмориллониттен тұратын көптеген бентонит саз негізінен теңіз алаптарына отыратын жанартау күлінің ыдырау өнімі ретінде жаралған.

Монтмориллонит және де негізді магмалық таужыныстардың: диабаз, базальт, габбро, перидотит және басқалардың мору қыртысында кең дамыған. Моруған гранит пен диорит есебінен қалыптасқан топырақта да жаралады. Оның магмалық таужыныстар үстінде жаралатын шаймаланған және орташа гумусты қара топырақ пен қоңыр (каштан-талшын) топырақтағы шоғырлары да белгілі.

Жер беті жағдайларында жаралған монтмориллонит біршама төзімді минерал болып табылады. Шөл жерлерде оның жатындары беткі жағында майда тозаң тәрізді материалға айналады да желдің көмегімен көтеріліп, ауада оңай тасымалданады. Осы желмен лёсс түзілімдері пайда болып, олардың құрамында елеулі мөлшерде бейделлит пен монтмориллонит болады.

Нальчик маңында (Кабардин-Балкария, Солтүстік Кавказ) неоген шөгінді таужыныстарында монтмориллонит ұстамды жоғары сапалы саз белгілі.

Жоғары сапалы ағартқыш саз кенорны *Гумбри* селосы төңірегінде, Кутаиси маңында (Батыс Грузия) таза ақтан ашық-сарғыш, сарғыш-жасыл, сұрға дейінгі әр түрлі реңді қабаттар түрінде белгілі. Бұл саздың жаралу материалына теңізге соңғы бор заманында келіп түскен жанартау күлі жатады. Оптаушы және сабындаушы қасиеттерге ие бентонит саз *Аскания* селосы төңірегінде (Батыс Грузия, Махарадзе қаласынан оңтүстік-шығысқа қарай) қабат тәрізді жатындар түріндегі кенорындар тобынан тұрады. *Қырымдағы* кил кенорнында атаған жөн. Қарасубазардан Севастопольге дейінгі аудандарда бұл саз ежелден тиіп-қашып өндіріліп келген. Ағартқыш саз кенорындары (фуллер жері) АҚШ штаттарында кең таралған: Флоридада, Джорджияда, Алабамада, Калифорнияда, сондай-ақ Францияда (Виеннадағы Монтмориллон), Германияда, Жапонияда және басқа елдерде кең таралған.

Практикалық мәні. Монтмориллонитті саз жоғары оптау қабілетіне байланысты өнеркәсіпте әр түрлі мақсаттарда тікелей кептірілген түрде, немесе алдын ала химиялық өңдеуден кейін (белсенділендіру) кең пайдаланылады.

Мұндай саздың негізгі тұтынушысына мұнай өнеркәсібі жатады. Мұнда сазды мұнайдың жіктелген айдалу өнімдерін бөтен жүзгін қоспалардан (шайыр, көмірлі зат және тағы басқа) тазарту үшін пайдаланылады. Тоқыма өнеркәсібінде саз шұға материалды өңдеген кезде май дақтары мен майды бояйтын матадан аластау үшін (жібек, мақта және басқалардан) қолданылады. Мұнда саздың сумен және маймен орнықты қою суспензия беру қабілеті пайдаланылады. Резина өндірісінде бұл саз каолинмен бірге белсенді толтырғыш ретінде қатаңдық беру үшін және езілуге қарсыласуын, қышқылтөзімділігін арттыруға және басқа мақсаттарда

қолданылады. Сабын қайнату және косметика өнеркәсібінде саз сабынның арзан түрлерін өндіру, опа, грим, далап, тіс тазалайтын ұнтақ пен сықпа май және басқалар үшін тұтынылады. Мұндай құрамды саз сондай-ақ суды және тамақ өнімдерін (шарап, өсімдік майы және басқа) тазарту үшін, қағаз өндірісінде, керамикада, дәрі даярлағанда (таблеткалар-түйіршіктер мен ұнтақтарды байланыстырғыш ретінде), асқазан ауруларында бациллалар мен зиянды заттар оптаушы ретінде, жарақаттарда, алкалоидтармен уланғанда және басқаларда қолданылады.

НОТРОНИТ – $(\text{Fe,Al})_2[\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot \text{Na}_{2x}(\text{H}_2\text{O})$. Атауы табылған жері Нонтронэ (Франция) бойынша берілген. Синонимі: хлоропал (сирек кездесетін тығыз массаларда опалмен қоспады).

Химиялық құрамы өзгермелі. Ол сирек жағдайларда таза дерлік темірлі минерал түрінде мына химиялық формулаға сай келеді: $\text{Fe}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, яғни изоморфтық қатардың $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (бейделлит) ақырғы мүшесі. Әдетте айтарлықтай мөлшерде Al_2O_3 (14 % шамасына дейін) және MgO (8 %-ке дейін) болады. Сондай-ақ CaO (2 %-ке дейін), шамалы мөлшерде K_2O , Na_2O , кейде NiO , Cr_2O_3 болады.

Әдетте жер сияқты жасырын кристалды агрегаттарда, кейде тығыз опал түріндегі массаларда кездеседі.

Түсі жасылтым-сары, жасыл, қошқылтым-жасыл (темір гидроокиселдерімен боялған). **Жылтырлығы** қопсық түрлестерінде күңгірт, тығыздарында – балауызша. $Nm=1,585-1,600$.

Қаттылығы 2–2,5. Тығыз түрлестерінің омырылымы ұлуша. Морт, қопсық, саусаққа сипағанда майлы білінеді. **Жіктілігі** қабыршақ түрлестерінде микроскопта ғана анықталады. **Мен. салмағы** 1,727–1,87.

Диагноздаушы белгілері. Мору өнімдері арасында, әсіресе ультранегізді магнийлі-темірлі таужыныстарда (серпентинит, перидотит, дунит) нонтрониттің бар екендігін жер тәрізді агрегаттар, жасылтым-сары немесе жасыл түсі бойынша жорамалдауға болады.

Дәл диагноздау оптикалық константалары, химиялық немесе спектрлік талдау мен рентгенметрлік деректер негізінде ғана мүмкін болады.

НСІ қышқылында біршама қиын ыдырайды да кремнийтотық тұнбасын жасайды.

Жаралуы және кенорындары. Айтылып кеткендей, экзогендік процестерде жаралады – темір мен магнийге бай таужыныстар, негізінен магмалық таужыныстар, сондай-ақ бірқатар металл, атап айтқанда темір руда кенорындары моруған кезде. Әдетте мору қыртысының төмендеу горизонттарында анықталады.

Мору процесінде жер бетінде біртіндеп ыдырайды да темір гидроокиселдері, агрегаттық күйін сақтайтын нонтронит және халцедон мен кварцқа өтетін опал жаралады.

Серпентинит массивтерінің көне мору қыртысында кең таралған: *Халилов* (Оңтүстік Орал), *Кемпірсай* (Ақтөбе облысы, Қазақстан) және басқа аудандарда. Сондай-ақ *Магнитная* тауында (Оңтүстік Орал), *Кривой Рогта* және *Приазовьеде* (Украина) және басқа жерлерде анықталған.

Практикалық мәнге никельге бай ультраһегізді магмалық таужыныстар (дунит пен серпентинит) мору қыртысында кездесетін нонтронит массалары ие болуы мүмкін.

Никель-силикат руда кенорындарының көпшілігінде олар магний мен никель гидросиликаттарымен бірге непуит, кейде Ni-хлориттер және басқалармен қатар рудажасаушы минералдар ретінде басты мәнге ие болады.

8. Пренит тобы

Мұнда шартты түрде құрылымдық ерекшеліктері бойынша минералдар курсында қарастырылатындардың кейбіреулері жатқызылады. Олардың құрылымы қабатты болады, бірақ жоғарыдағы тараулар атына келмейді, өйткені олардың құрылымындағы тетраэдрлік тор гетерогендік болып табылады.

ПРЕНИТ – $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}_2)$. Атауы бұл минералды Мейірімді Үміт мүйісінен әкелген капитан Прен фамилиясы бойынша берілген.

Химиялық құрамы, %: CaO–27,1; Al_2O_3 –24,8; SiO_2 –43,7; H_2O –4,4. Сондай-ақ шамалы мөлшерде Fe_2O_3 болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі ромб-пирамидалық L^22P . Кеңістіктік тобы $P2cm(C_{2v}^4)$. $a_0=4,65$; $b_0=5,52$; $c_0=18,53$. **Кристалдық құрылымы**. Прениттің жеткілікті күрделі құрылысы тарамдалған күрделі анион радикалында көрініс табады, ол құрылысы бойынша әдеттегі қабатты силикаттардың $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]^{5-}$ радикалынан айрықшаланды. Прениттің тетраэдрлік қабаты бірігудің айрықша тәсілімен сипатталады: әр тетраэдр басқа тетраэдрлермен тек екі төбесімен ғана байланысқан. Сондықтан Al-тетраэдрлердің ортақ қырына жататын оттеқ аниондарының жұптары белсенді болып табылады да олар қабат жазықтығынан екі жаққа қарайды. Тетраэдрлердің орналасуы биіктіктің үш жақын деңгейінде іске асады: пироксендер құрылымынан «алынған» Si-тетраэдрлерінің параллель тізбектері; белсенді төбелері жоқтары (барлық оттеқ басқа тетраэдрлермен ортақ) ортаңғы деңгейде орналасқан және біреуі жоғары, екіншісі төмен қараған белсенді тетраэдрлерді «тігеді».

Осылайша белсенді оттеқ төбелерімен жоғары және төмен «тіктейген» жиырылған үш қабатты анион будасы жаралады. Мұндай будалар аралығында координациялық саны 8 болатын (әр тетраэдр қабаттары жағынан оттектен) Ca катиондары орналасады. **Кристалдарының келбеті**. Айқын жаралған кристалдары өте сирек. Әдетте қысқа бағанаша немесе кесте тәрізді пішінді. Негізінен сферолиттер түрінде және өзгерген магмалық негізді таужыныстар аралығындағы қуыстарда радиал-талшық құрылысты бүйрек тәрізді агрегаттардың тұтас массаларында таралған.

Түсі ақ, сұр, жасылтым-сұр, жасыл және жасыл-сары, шала мөлдір. **Жылтырлығы** шыныша, бүйректер бетінде – күңгірт, балауызша. $N_g=1,642$; $N_m=1,618$; $N_p=1,612$.

Қаттылығы 6.5. **Жіктілігі** {001} бойынша орташа. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** 2,8–3.

Диагноздаушы белгілері. Тұтас массаларына әдетте жасылтым реңді солғын бояу тән. Пренитті сыртқы түрі бойынша цеолиттермен шатастыруға болады, бірақ олардан жоғарылау қаттылығы, оптикалық қасиеттері бойынша, ал халцедоннан дәнекерлеу түтікшесі алдында өзін-өзі ұстауы бойынша ажыратылады.

НСІ қышқылында баяу ыдырағанымен, SiO_2 тұнбасын жасамайды.

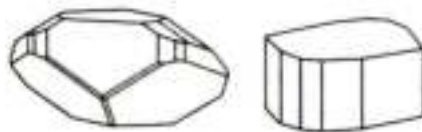
Жаралуы және кенорындары. Пренит гидротермалық өзгерген негізді таужыныстарда (габбро, диабоз) біршама жиі анықталып, көпшілігінде негізді плагиоклаздар бойынша жаралады. Сондай-ақ осы таужыныстар арасындағы бадамшалар мен жарықшақтарда бүйрек тәрізді және радиал-талшық агрегаттар түрінде, жиі цеолиттермен, кальцитпен эпидотпен бірлестікте байқалады. Көбінесе онымен парганезисте *Жоғарғы* көл ауданындағы (АҚШ) белгілі кенорындардағы сияқты сомтума мыс кездеседі.

Россияда ол Оралдың, Кавказдың, Закавказьенің және басқалардың көптеген жерлерінде сипатталған. Жақталған бетті пренит сферокристалдары кальцитпен, анальциммен және цеолиттермен Төменгі Тунгуска алабындағы *Озерное* кенорны және Вилюйдің жоғарғы жағындағы (Ортаңғы Сібір) *Воеволи-Хан* өзені кенорындары негізді таужыныстарының гидротермалық жаралымдарға толған қуыстарында болады. Пренит апофиллитпен, кальцитпен, цеолиттермен және ангидритпен бірге Норильскіде (Ортаңғы Сібірдің Солтүстігі) *Талнах* кенорнының гидротермалық өзгерген габброиды қуыстарында байқалған. Прениттің тарамдалған кристалдарының сферолиттері мен қабыршақтары натролитпен, кальцитпен және хлоритпен бірге Лоухск ауданында (Солтүстік Карелия) *Чкалов* керамика шикізаты кенорнының *Климов* бөлікшесінде скаполиттенген плагиамфиболиттегі кейін жаралған жарықшақтарды толтырады.

Жақсы үлгілері тарамдалған кристалл қабыршақтары түрінде эпидотпен, кальцитпен, цеолиттермен, халькопиритпен, пиритпен және гематитпен бірге Қоржынкөл (Солтүстік Қазақстан) скарн-темір руда кенорнында анартас-пироксен-магнетит скарнында белгілі.

ДАТОЛИТ – $\text{Ca} [\text{BSiO}_4(\text{OH})]$. **Химиялық құрамы**, %: CaO –35, B_2O_3 –21,8; SiO_2 –37,6; H_2O –5,6. **Сингониясы** моноклиндік; симметрия түрі призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $P2_1/a(C^5_{2h})$. $a_0=9,66$; $b_0=7,64$; $c_0=4,83$; $\beta=90^{\circ}09'$. Кристалдық құрылымы төбелерімен байланысқан кремнийоттек және бороттек-гидроксил тетраэдрлерінің оқшауланған қабаттары болуымен сипатталады. Мұнда біріншілерінің де, басқаларының да төбесі белсенді болып табылады (бор тетраэдрлерінде $[\text{BO}_3(\text{OH})]^{4-}$ гидроксил төбелері белсенді). Кремнийбороттек торы төрттік және сегіздік сақиналардан құрылған. Қабатаралық кеңістікте Ca^{2+} катиондары орналасып, олар алты оттек анионы мен екі гидроксилдің бұралған кубтары бойынша координацияланады. Осылайша, датолит кальцийдің қабатты борсиликаты болып табылады. Бірақ оның құрылысы координациялық құрылымның елеулі сипатына ие, бұл туралы нашар жіктілік сияқты қасиетінен көруге болады. **Кристалдарының келбеті.** Сан қилы келбетті кристалдары

кездеседі (345-сурет), кейде олардың жақтары ерекше мол: басым болатындары $\{110\}$, $\{011\}$, $\{201\}$ және басқалар. Түйірлі агрегаттарда кең таралған.



345-сурет. Датолит кристалдары: *a* – Монте-Лоренто, Италия (Девизо ди Шарвенсод бойынша); *b* – Арендаль, Норвегия (Гольдшмидт бойынша)

Түсі ақ, кейде сұрғылт реңді, жиі солғын-жасыл, сирек сары, қызыл, күлгін және зәйтүн-жасыл. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,670$; $N_m=1,653$ және $N_p=1,625$.

Қаттылығы 5–5,5. **Жіктілігі** (001) бойынша айқын емес. Омырылымы ұлуша. **Мен. салмағы** 2,9–3.

Диагноздаушы белгілері. Өзіндік шыныша жылтырлығы, ұлуша омырылымы бойынша танылады. Микроскоп астында оптикалық константалары бойынша оңай анықталады.

НСІ қышқылында кремнийтотық тұнбасын бөліп ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Руда желілерінде, жиі бадамшатасты магмалық таужыныстар қуыстарында кальцитпен, пренитпен, цеолиттермен бірлестікте, скарн жаралымдары бөлікшелерінде және басқаларда кездеседі.

Россияда *Дальнегорск* кенорны (Приморье) бор скарнынан өндіріледі, Солтүстік Оралда да байқалған. Алдан аймақтық-метасоматоздық таужыныстарында *Эмельджак* кенорнында табылған. Мұнда ал диопсидпен, флогопитпен, апатитпен, шпинельмен және әкті-карбонатты қатқабаттардың алюмосиликат таужыныстармен жапсарында жаралған кальцифирдегі амфиболитпен бірлеседі. Гидротермалық желілерде апофиллитпен, ксонотлитпен, пренитпен және Норильск кенорны (Красноярск өлкесі) негізді таужыныстарының гидротермалық минералданған қуыстарында байқалған.

Шетел кенорындарынан атайтындарымыз: Гарцтағы (Германия) *Андреасберг* кальцитті және сульфидті желілері, *Кивио* ауданында (Мичиган штаты, АҚШ) сомтума мыс кенорындарында цеолиттермен бірге, *Арендаль* (Норвегия) магнетит жатындарында және басқаларда.

Практикалық мәні. Ірі тұтас шоғырлары болған жағдайда бор көзі ретінде күдіксіз өнеркәсіптік қызығушылыққа ие болады. Көптеген борсиликаттардан айырмашылығы қышқылдарда оңай ыдырайды. Бордың қолданылуы *ссайбелиитте* айтылған.

Д КЛАСШАСЫ. Кристалдық құрылымы үзіліссіз үшөлшемді қаңқалы $(\text{Si,Al})\text{O}_4$ тетраэдрлерінен тұратын силикаттар

Анион $(\text{Si,Al})\text{O}_4$ тетраэдрлері үшөлшемді бірігуімен сипатталатын силикаттардың көпшілігі аса кең таралған және маңызды таужынысжасаушы минералдар қатарына жатады.

Айтылып өткендей, бұл класша қосылыстары химиялық көзқарастан тек қана дерлік алюмосиликаттар болып табылады. Яғни олар кристалл құрылымында тек SiO_4 тетраэдрлерінен ғана емес, сондай-ақ AlO_4 тетраэдрлерінен де тұратын анион комплекстері қатысатын қосылыстар. Мұнда Al^{3+} иондарымен алмасқан Si^{4+} иондарының саны жартысынан аспайды. Әдетте, Si:Al стехиометриялық қатынасы 3:1 немесе 1:1 болатыны анықталады, яғни комплексті аниондары мынадай формулалармен бейнелене алады: AlSi_3O_8 немесе AlSiO_4 ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

Анион радикалдарда (Si+Al):O қатынасы әрдайым 1:2 болады. Сондықтан бұл класша минералдары басқа силикаттарға қарағанда SiO_2 тобы минералдарына (кварцқа, тридимитке, кристобалитке) әлдеқайда жақын. Осыған сәйкес олардың кристалл құрылымдары да өзара жақын болады. SiO_2 мен AlO_4 тетраэдрлері өзара үшөлшемді қаңқаларға (негізге, байламға) дәл кварц тобы минералдарындағы SiO_2 тетраэдрлері сияқты біріккен, яғни кез-келген тетраэдрдің әр төбесі басқа, көршілес тетраэдрге ортақ болады. Бірақ осы жергілікті жағдай сақталған кезде кеңістіктік қаңқалардың пішіні мен құрылысы түрлі қосылыстар үшін әр түрлі.

Аса тәні, алюмосиликаттар қаңқаларындағы қуыстарда орналасқан катиондар қатарында тек қана үлкен иондық радиусқа және тиісінше үлкен координациялық санға ие болатын иондар қатысады: Na^{1+} , Ca^{2+} , K^{1+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , кейде Cs^{1+} , Rb^{1+} және $(\text{NH}_4)^{1+}$. Біз жоғарыдағы класшаларда көруге әдеттенген, өздеріне тән алтылық координациялы шағын өлшемді катиондар: Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} және басқалар, қарастырылып отырған класша қосылыстарында *тіпті жоқ*. Валенттілік балансы ережесі көз қарасынан бұл жағдай өте қарапайым түсіндіріледі.

Шын мәнінде, осы класшаның ең негізгі кең таралған өкілдері – далашпаттар, фельдшпатоидтар мен цеолиттер арасында анион радикалдардың мынадай типтері анықталады: $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^{1-}$, $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]^{2-}$, $[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]^{2-}$ және басқалар. Осылайша, әр O^{2-} ионына бірінші жағдайда 1/8, екіншісінде – 1/4, үшіншісінде – 1/5 өтемеленбеген теріс валенттілік келеді. Ал, Mg^{2+} сияқты катиондарға келсек, олар алтыдан артық оттегі иондарымен қоршала алмайды да оны қоршаған әр оттегі ионынан 1/3-тен теріс валенттілікті қажет етеді, яғни оларға алюмокремнийоттегі тетраэдрлері қаңқаларында болатын теріс зарядтар жетпейді. Бұл зарядтар ірілеу бір валентті Na^{1+} , K^{1+} немесе екі валентті Ca^{2+} , Ba^{2+} катиондары көмегімен ғана бейтараптандырыла алады. Олар өтемелену үшін қажеттілігіне қарай зарядтың аз порцияларын талап етеді, өйткені бұл катиондар оттектің алты немесе одан да көп иондары қоршауында орналаса алады. Сондықтан балқымада немесе ерітіндіде болатын Mg^{2+} , Fe^{2+} және басқа катиондар далашпаттармен парагенезисте жаралатын басқа минералдар (пироксендер, мүйіз алдамьш, слюдалар және басқалар) құрамына кіреді.

Айрықша қызығушылыққа кірігу құрылымды деп аталатын минералдар ие. Оларда қаңқалық құрылысты үш өлшемді аниондардан басқа мынадай: F^{1-} , Cl^{1-} , $[\text{OH}]^{1-}$, $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{CO}_3]^{2-}$ және басқалар сияқты қосымша аниондар қатысады. Бұл аниондар тетраэдрлер құрамына кіретін Si^{4+} -мен немесе Al^{3+} -

мен тікелей байланыста болмайды. Олар сілтілі және сілтіжер Na^{1+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} және басқа катиондармен өз бетінше байланысты. Ал осы минералдардағы бұл катиондардың жалпы саны, қарапайымдау қосылыстардағыға қарағанда әрине жоғары. Қосымша аниондар өлшемі біршама үлкен болғандықтан, олар кристалл құрымдардағы үлкен қуыстар арасында ғана орналаса алады.

Цеолиттер деп аталатындар құрамының тамаша ерекшелігіне олардың құрамында нашар ұсталып тұратын H_2O молекулаларының болуы жатады. Сусызданғанда да, суланғанда да немесе олар басқа заттар (мысалы, спирт) молекуласымен алмасқанда да қарастырылатын топ минералдарының кристалдық құрылымы бүлінбейді. Цеолиттердің бұл өзіндік қасиеттері оларда «каналдар» болуымен анықталады, ал бұл каналдар су молекулаларының да, басқа заттардың да еркін жылыстауына жеткілікті болады. Цеолит тобы минералдарының басқа маңызды химиялық сипатына олардың катиондармен алмасу қабілеті жатады: Na^{1+} басқа иондармен – Ag^{1+} , Li^{1+} , $[\text{NH}_4]^{1+}$ және ерітіндінің құрамында басқалармен алмаса алады. Мұнда, рентгенметриялық зерттеулер көрсететіндей, кристалл құрылымдары өзгермейді.

Кристалл құрылымында үшөлшемді дамыған анион радикалдары бар минералдардың физикалық қасиеттері кейбір ерекшеліктерімен сипатталады. Ең алдымен көзге олардың ашық түсі түседі (алтылық координациялы металл-хромофорлар катиондары, айтылып кеткендей, бұл минералдар құрамына қатыспайды). Содан соң қарастырылып отырған класша минералдары жалпы алғанда басқа класшалар силикаттарымен салыстырғанда ең төмен сыну көрсеткіштеріне ие болады, бұл жағдай бір O^{2-} ионына кристалл тордағы үлкен молекулалық көлемдермен толық сәйкестік табады. Осы жағдаймен аз көлемдік салмақтары да байланысты. Оларға тәні, кристалл құрылымдарының кішіреюіне және O^{2-} иондарының айтарлықтай деформациялануына әкелетін бір валентті катиондарды (Na^{1+} , K^{1+}) екі валенттілікке (Ca^{2+} , Ba^{2+}) алмастырғанда сыну көрсеткіштерінің де, қосынудың да біршама артуы орын алады.

Бұл класша минералдарының қаттылығы негізінен 5-пен 6 аралығында ауытқиды, яғни SiO_4 тетраэдрлері оқшауланған силикаттарға ғана орын береді. Жіктілікті айтсақ, ол кварц тобы минералдарына керісінше болады. Кварцта негізгі валенттілік күші Si-O-Si барлық негізгі үш бағытта бірдей болса, қарастырылатын минералдарда айқын және тіпті жетік жіктілікті бірнеше бағытта біз жиі байқаймыз. Бұл құбылыс мынамен түсіндіріледі – көптеген кристалдық құрылымдарда үш өлшемді байланысқа қарамай, кейбір басым бағыттарда қалай болғанда да анион тетраэдрлерінің тығыздау жайласуы орын алады. Мәселен, далашпаттардың, натролиттің және басқалардың жалған тетрагондық тұрғызылған кристалл құрылымында жіктілік те тиісінше «жалған тетрагондық» призма бойынша, нефелин мен канкриниттің гексагондық құрылымында – гексагон призма бойынша, қабатты құрылым типіне жақындайтын құрылымды гейландитте – слюда сияқты минералдардағыдай бір бағыт бойынша білінеді. Ақыр соңында, мынаны айта кету керек, далашпаттар және көптеген цеолиттер құрылымдық

жағынан жоғары симметриялы кристалл құрылыстарға жақындайды. Олардың қосақталуға айқын білінген бейімдігі осыған байланысты болады. Қосақтар жекелеген дарақтарға қарағанда кірікпелердің жоғары симметриясын жасайды.

Бұл класс минералдарын қарастыруды ең маңызды таужыныс жасаушы минералдар тобынан – *далашпаттардан* бастаймыз. Содан кейін фельдшпатоидтарға өтеміз, оларға іс жүзінде барлық басқа ашық түсті сілтілі және сілтіжер металдардың негізінен сусыз қаңқалы алюмосиликаттары кіреді. Фельдшпатоидтар (фоидтер) далашпаттарға көптеген қасиеттерімен ғана жақын емес, сондай-ақ оларды кварцсыз таужыныстарда алмастыруға да қабілетті және олардың рөлін басқа күңгірт түсті таужынысжасаушы минералдар арасында атқарады. Фельдшпатоидтармен бірге оларға құрылымдық баламалар – гельвин тобының қаңқалы бериллсиликаттары қарастырылған. Ақыр соңында, ең көп таралған минералдар тобының өкілдері болатын *цеолиттер* қарастырылады, олардың құрамында құрылымының ірі қуыстарында судың нашар байланысқан молекулаларының болуы тән.

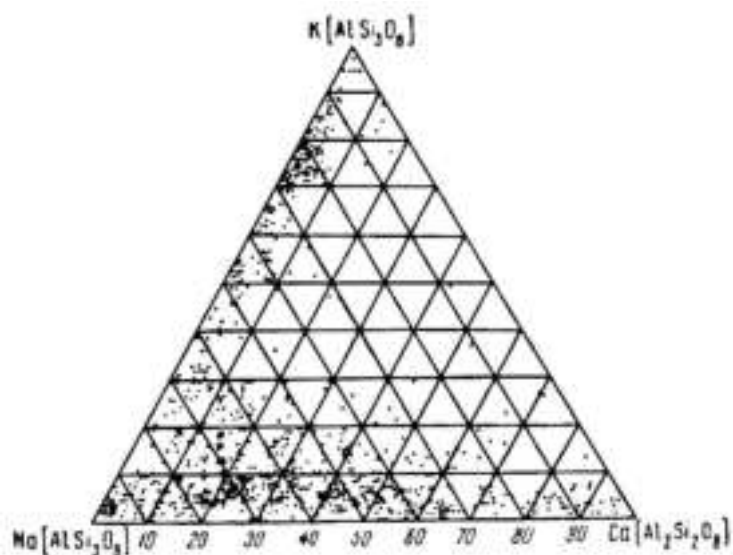
1. Далашпаттар тобы

Далашпаттар¹ барлық силикаттар ішінде жер қыртысының ең көп таралғаны, олар қыртыстың жалпы алғанда салмағы бойынша 50 % шамасын құрайды. Олардың 60 % шамасы магмалық таужыныстарда болса, 30 % шамасына жуығы метаморфтық таужыныстар үлесіне тиеді, атап айтқанда негізінен гнейстер мен кристалды тақтатастардың; қалған 10–11 % шамасы негізінен құмтас пен конгломерат үлесіне тиеді, мұнда далашпаттар жұмырланған түйірлер түрінде кездеседі немесе тасмалталар құрамына кіреді.

Өздерінің химиялық құрамы бойынша, далашпаттар Na, K және Ca алюмосиликаттары болады $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, сирек Ba-дың – $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. Кейде мардымсыз мөлшерде Li, Rb, Cs кездесіп, сілтілерге және Ca-ды алмастыратын Sr-ге изоморфты қоспа түрінде болады.

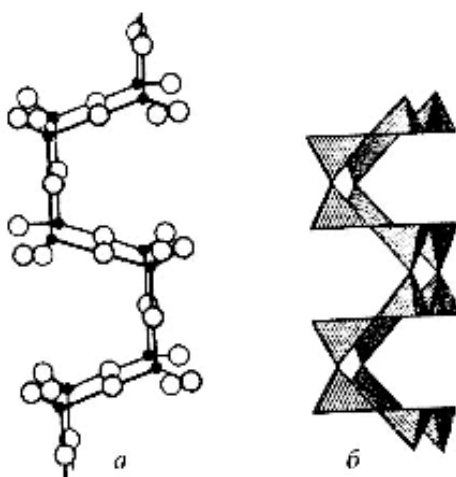
Бұл топ минералдарының басқа өзіндік ерекшелігіне олардың негізінен бинарлық изоморфты қатарлар жасауға қабілеттілігі жатады. Мысалы, ондай қатарлар: $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ және $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. Алғашқы екі жұпқа таралғандық дәрежесі және изоморфизм құбылысының жетілгендігі туралы көрнекі түсінікті далашпаттар құрамының диаграммасы береді (*346-сурет*).

¹ «Далашпаттар» атауының шығу тегі дәл белгісіз. Бұл шпаттар (яғни бейметалл жылтырлықты, екі бағытта жетік жіктілікке ие минералдар) мүмкін, көбінесе далада кездесетін болғандықтан осылай аталуы.



346-сурет. Далашпаттар химиялық құрамы ауытқуларының диаграммасы

Бұл минералдар моноклиндік немесе триклиндік сингонияда кристалданды; мұнда олардың екеуі де морфологиялық белгілері бойынша бір-бірінен шамалы ажыратылады. Рентгенқұрылымдық зерттеулер барлық далашпаттар кристалдық құрылымында үлкен ұқсастық бар екенін көрсетеді (347-сурет).



347-сурет. Далашпаттар құрылымының негізгі мотиві шарик моделінде (а) және полиэдрлерде (б) қаңқадан кесіп алынған төрттік сақиналардан тұратын ирек таспа. Н.В. Белов бойынша

Көптеген жақындықты біз бұл минералдардың физикалық қасиеттерінен де көреміз. Олардың барлығы негізінен ашық түсті болады, сыну көрсеткіштері біршама төмен, қаттылығы жоғары (6–6,5); жіктілігі екі бағытта жетік және бұл бағыттар 90° -қа жақын бұрышпен қиылысады, меншікті салмағы біршама төмен (2,5–2,7). Осы белгілері бойынша олар өздеріне ұқсас минералдардан біршама оңай ажыратылады.

Ірі кристалл массаларды олар гранит пегматиттерде кварцпен, жиі ірі кристалды слюдамен және құрамында ұшпа компоненттер бар сирек минералдармен (топаз, берилл, турмалин және басқалар) бірлестікте

байқалады. Миаролит қуыстарда кейде жақсы жаралған ірі кристалды далашпаттар друзасы кездеседі.

Химиялық құрамының ерекшеліктеріне сәйкес далашпаттар мынадай үш топшаға жіктеледі.

А. *Натрий-кальций далашпаттары* топшасы, олар плагиоклаздар деп аталады да жоғары температурада үзіліссіз $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ изоморфты қатарын жасайды; кейде шамалы мөлшерде олардың құрамында изоморфты қоспа түрінде $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ де болады.

Б. *Калий-натрий далашпаттары* топшасы, олар да жоғары температурада үзіліссіз $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ қатты ерітінділерін беруге қабілетті, ал баяу суытқанда айтарлықтай калийлі және айтарлықтай натрийлі екі компонентке ыдырайды (галит–сильвин сияқты). Әдетте $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ түріндегі изоморфты қоспаның мөлшері өте мардымсыз.

В. Сирек кездесетін калий-барий далашпаттарының топшасы, олар *гуалофандар* деп аталады да $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ изоморфты қоспасы болып табылады.

Плагиоклаздар топшасы

Айтылып кеткендей, бұл топшаға жататын минералдар жақсы зерделенген изоморфты қоспалардың бинарлық қатары болады, оның шеткі мүшелері *альбит* – $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ және *анортит* – $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ деп аталады. Табиғи және жасанды қосылыстар деректеріне сай, құрамы таза альбиттан (Ав) анортитке (Ан) дейін үзіліссіз өзгеретін барлық түрлестері кездеседі.

Бұл изоморфты қатар минерал түрлерінің жіктелімі шартты түрде 19-кестеде беріледі.

19-кесте. Плагиоклаздар топшасының жіктелімі

Минерал	Анортит молекуласының (An) мөлшері, %	Сингониясы
Альбит (Ab) - $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	0-10	Триклиндік
Изоморфты қоспалары Ав+Ан:		
Олигоклаз	10-30	Триклиндік
Андезин	30-50	»
Лабрадор	50-70	»
Битовнит	70-90	»
Анортит (An) - $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	90-100	

ПЛАГИОКЛАЗДАР – $(100-n)\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]n\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, мұнда n 0-мен 100 аралығында. *Плагиоклаз* грекшеден аударғанда қиғаш сынатын дегенді білдіреді. Жіктілік жазықтықтары (001) және (010) аралығындағы бұрыш 90° болатын немесе осыған өте жақын келетін басқа далашпаттармен салыстырғанда, плагиоклаздарда ол $86^\circ 24' - 86^\circ 50'$ мәндеріне дейін.

«Альбит» атауы латынша *albus* – ақ; анортит грекше *анортос* – қиғаш (мұнда оның триклиндік сингонияда кристалданатыны ескеріледі) дегеннен шығады.

Плагиоклаздар құрамының магмалық таужыныстар жіктелімінде айрықша мәнге не болатынын басшылыққа алған Е.С. Федоров өте ыңғайлы және ең ұтылды жіктелім ұсынған. Бұл жіктелімде әр плагиоклаз құрамындағы анортит молекуласының проценттік мөлшеріне сәйкес белгілі бір номермен белгіленеді мысалы, № 72 плагиоклаз құрамында 72 % анортит және 28 % альбит болатын изоморфтық қоспа болып шығады. Мұнда әдетте мардымсыз $K[AlSi_3O_8]$ изоморфты қоспасын қаперге алмайды.

Кейде жалпы ұғым үшін магмалық таужыныстарды жүйелеген кезде плагиоклаздарды олардың құрамы бойынша ірілеу бөлімдеу ыңғайлы, атап айтқанда:

- қышқылды плагиоклаздар № 0–30;
- орташа плагиоклаздар № 30–60;
- негізді плагиоклаздар № 60–100.

Мұндағы «қышқылды», «орташа», «негізді» атаулары әдеттегі мағынада қолданылмайды: олар құрамындағы SiO_2 (кремнийқышқыл) мөлшері альбиттен анортитке қарай біртіндеп төмендейтініне байланысты. Мұны осы изоморфты қатардың шеткі мүшелерінің химиялық формулаларын салыстырудан көруге болады.

Химиялық құрамы (теориялық) 20-кестеде келтірілген, мұнда плагиоклаздың бес номері үшін NaO , CaO , Al_2O_3 және SiO_2 мөлшері көрсетілген.

20-кесте. Плагиоклаздардың химиялық құрамы және меншікті салмағы

Құрамы	Плагиоклаз				
	№ 0	№ 25	№ 50	№ 75	№ 100
Na_2O	10,76	8,84	5,89	2,92	-
CaO	-	5,03	10,05	15,08	20,10
Al_2O_3	19,40	23,70	28,01	32,33	36,62
SiO_2	68,81	62,43	56,05	49,67	43,28
Мен. салмағы	2,624	2,643	2,669	2,705	2,758

Әрдәйім дерлік K_2O қоспасы болады, кейде ол бірнеше процентке дейін жетеді. Сондай-ақ BaO (0,2 %-ке дейін), SiO (0,2 %-ке дейін), FeO , Fe_2O_3 және басқалардың мардымсыз қоспалары да жиі кездеседі.

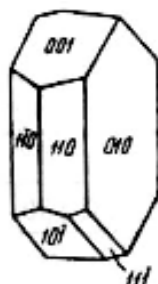
Плагиоклаздардың жоғары температурада гомогендік қатты ерітінділері эндогендік жағдайларда баяу суынуудан бірқатар құрылымдық айналуларға ұшырайды. Температура төмендеген кезде Al мен Si таза альбит қаңқасында позициялар бойынша реттелуі энергетикалық аса тиімді процесс болады, сондықтан бастапқыда гомогендік фазада аз номерлі плагиоклаздардың оқшаулануына әкеледі. Осылайша спиндік ыдырау бірнеше интервалда біртіндеп жүреді де бөліну масштабтары 500-ден 5000 Å-ге дейінгі екі фазалы парақша құрылымдар жаралады. Ыдыраған кезде жаралатын фазалар жұбы құрамы бойынша 0–33, 45–60 және 65–90 номерлеріне сай келеді.

Бұл интервалдардан тыс құрамды плагиоклаздар электрондық микроскопия көрсеткендей, олар да гомогендік қатты ерітінділер болып

қалмайды, бірақ модульденген майда құрылымды қабылдайды. Құрылымда натрий мен кальций плагиоклаздың номеріне байланысты әр түрлі бағдарланған жазық параллель домендер аралығында жартылай қайта бөлінеді. Жартысы альбит сияқты құрылымға ие, ал жартысы – анортит сияқты домендер плагиоклаздың бастапқы құрамына байланысты 25-тен 180 Å-ге дейінгі көлденең масштабқа ие болады. Төмен температуралы (субсолидусты) ортада баяу салқындаған, төмен плагиоклаздар деп аталатындардың күйінде әлі даулы және соңына дейін түсіндірілмегендер жеткілікті.

Жылдам суынған плагиоклаздардың вулканогендік қатты ерітінділері метастабильді түрде өзінің гомогендік күйін шынығу салдарына байланысты мыңдаған жылдар ағымында сақтайды. Мұндай плагиоклаздарды жоғарылар деп атайды.

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық. Кеңістіктік тобы $P1(C_i^1)$. Альбит: $a_o=8,23$; $b_o=13,03$; $c_o=7,25$; $\alpha=94^{\circ}03'$; $\beta=116^{\circ}29'$; $\gamma=88^{\circ}9'$. Анортит: $a_o=8,18$; $b_o=12,89$, $c_o=2 \times 7,09$; $\alpha=93^{\circ}13'$; $\beta=115^{\circ}56'$; $\gamma=91^{\circ}12'$ (анортит өзгеше құрылымға ие болады, ол альбиттікінен Al пен Si реттелуінің басқа сұлбасына байланысты ұяшығының бір параметрінің екі еселенуімен ғана ажыратылады). **Кристалдарының келбеті.** Жақсы жаралған қарапайым кристалдары біршама сирек. Олар тақташа және тақташа-призма келбетке ие. Олардың ең кәдімгі түрі *348-суретте* көрсетілген.



348-сурет. Альбит кристалы (001) және (010) аралығындағы бұрыш $86^{\circ}24'$ болады

Қарапайым қосақтары сирек, ал бірақ күрделі полисинтетикалық қосақтары төтенше кең таралған (*349-сурет*). Олар көбінесе жай көзбен қарағанда (001) бойынша жіктілік жазықтықтарындағы өзіндік жиі айғыздары түрінде байқалады. Жұқа мөлдір шлифтерде полисинтетикалық қосақтар айқасқан никольдерде бірден анықталады және өзіндік болатындығы сондай, олар плагиоклаздарды басқа минералдардан жылдам ажыратуға мүмкіндік береді. Плагиоклаз кристалдарына құрамының зоналық таралуы тән, көпшілік жағдайларда магматогендік плагиоклаз кристалдарының ішкі алқабы (ядросы) негізділеу құрамға ие болып, ол альбитпен салыстырғанда анортиттің балку температурасы жоғарылау екендігіне сай келеді. Кристалл шеттері қышқылдау құрамымен сипатталады.

Агрегаттары. Альбит пегматиттер арасындағы миаролит қуыстарда кейде клевеландит деп аталатын қалақша кристалдар друзасы немесе агрегаттары түрінде біршама жиі байқалады. Түйірлі-кристаллды

таужыныстарда жиі кездеседі, олар толықтай дерлік плагиоклаздан тұрады. Мысалы, көбінесе метасоматоздық жолмен пегматиттерде жаралатын қант тәрізді альбит таужыныстары, қаптама тас ретінде пайдаланылатын Украина анортозиті немесе лабрадорит және басқалар сондай.



349-сурет. Плагиоклаздың жіктілік жазықтығындағы айғыздалу полисинтетикалық қосақталу белгісі ретінде

Түсі ақ, сұрғылт ақ, кейде жасылтым, көкшіл, сирек қызғылт ренді. Лабрадорит титаномагнетиттің мол кірінділеріне байланысты күңгірт-сұрдан қараға дейін бояуда көрінеді. **Жылтырлығы** шыныша. Сыну көрсеткіштері заңдылықпен альбиттен ($N_g=1,536$; $N_m=1,529$; $N_p=1,525$) анортитке дейін ($N_g=1,588$; $N_m=1,583$; $N_p=1,575$) артады. Бірақ плагиоклаздардың нәзіктеу кристалоптикалық ерекшеліктері олардың құрылымдық күйіне тәуелді, сондықтан жоғары және төмен плагиоклаздар үшін анықтамалық деректердің түрлі жиынтығын пайдалану керек.

Түрлестері кейбір оптикалық қасиеттеріне байланысты айрықша атауларға ие болады да толық сипаттауды қажет етеді:

1) *айтас* – кең бұрыштық интервалда шашырауға ие болады, ол кейде плагиоклаз, ал көбінесе калий-натрийлі далашпат. Түсі өзіндік нәзік көкшіл құлпырымды немесе ай жарығын еске түсіретін көлемде жарқыл шығарады. Көбінесе ай тасты және онымен білінетін салдарды құлпырыммен жөнсіз шатастырады (төменде айтылады). Бірақ *адуляресценция* (айтасқа тән салдар осылай атылады) ақ жарықтың субмикроскоптық нүктелік, микропертит кірінділері типті қысқа ақауларында таралуына, құрамының кеңістіктік флуктуацияларына және басқаларға байланысты. Рэлей теориясы бойынша, қысқа толқынды сәуле күштірек таралады, сондықтан шағылысқан және таралған жарық бастапқыға қарағанда көгілдірлеу болады;

2) *беломорит*, *перистерит* және басқа құлпырымды плагиоклазда, мысалы көптеген *лабрадор* сияқты, шамамен z осі бойынша тар бағытталған ($15-20^\circ$) түсті кемпіркосақ құлпырымды түске ие болады, әдетте әсем көгілдір және көкшіл, кейде жасыл, сары және қызғылт ренді. *Иризация* (грекше *ирига* – кемпіркосақ) псевдохроизмнің айрықша түрі болып табылады. Оны құрылымның спиндік ыдырау толқын жағының бірөлшемді ұзындығындағы интерференциясы туындатады. Сондай-ақ ол кейде кейбір калийлі далашпаттарға, антофиллитке және жиі энстатитке (бронзитке) тән болады;

3) *кунтас* немесе *авантюрин* – қышқылды плагиоклаз, сондай-ақ калий-натрийлі далашпат, ол өте майда темір жылтырағы (гематит) немесе биотит қабыршақтары кірінділеріне байланысты әсем ұшқын-алтын құлпырымға ие.

Қаттылығы 6–6,5. **Жіктілігі** {001} бойынша жетік және {010} бойынша біршама нашарлау. **Мен. салмағы** 2,61-ден (альбит) 2,76-ға дейін (анортит) үзіліссіз артады.

Диагноздаушы белгілері. Плагиоклаздарды біршама ірілеу кристалдар мен түйірлерде өздеріне ұқсас калийлі-натрийлі далашпаттардан жіктілігінің қиғаш бұрышы бойынша ажыратуға болады. Байқалатын полисинтетикалық қосақталудың параллель айғыздары плагиоклаздарды калишпаттан ажыратудың сенімді критерийі болады. Бірақ плагиоклаздар қатары ішінде әр түрлі минерал түрлерін бір-бірінен микроскоптық зерттеулерсіз көз мөлшерлеп ажырату мүмкін болмайды.

Қышқылдарда ерімейді.

Жаралуы және өзгеруі. Далашпаттар тобындағы ең көп таралғандар болып табылатын плагиоклаздар басым көпшілігіне *магмалық* және *метаморфтық* таужыныстарда болады. Оларға тәні, плагиоклаздардың құрамы таужыныстардың негізділік дәрежесіне сай келеді: негізді, яғни кремнийтотыққа біршама жұтаң таужыныстарда (габбро, базальт және басқа) кальцийге бай негізді плагиоклаздар әдетте магнийлі-темірлі силикаттармен бірлестікте таралған; қышқылдылау магмалық таужыныстарда (диорит, гранит, кварцты порфир және басқа) таужынысжасаушы минералдар ретінде орташа және қышқылды плагиоклаздар көбінесе калийлі-натрийлі далашпаттармен, кварцпен және басқалармен бірге таралған.

Пегматиттерде, гранитпен және сілтілі интрузиялық таужыныстармен генетикалық байланысты таужыныстарда плагиоклаздардан негізінен альбит кездеседі. Ол көпшілігінде кейінірек, метасоматоздық жолмен ұсақ түйірлі массалар түрінде негізінен калийлі-натрийлі далашпаттар есебінен дамиды. Негізді плагиоклаздар тек сирек кездесетін негізді интрузиялық таужыныстар (габбро) пегматиттерде белгілі. Негізді таужыныстар (габбро, амфиболит) арасында жататын гранит пегматиттері айтарлықтай плагиоклазды (олигоклазды), калийлі-натрийлі далашпатсыз болуы мүмкін.

Аймақтық метаморфизм процесінде кристалды тақтатастар және альпілік типті деп аталатын желілер жаралған кезде басым көпшілігінде альбит дамиды (кальцийге бай плагиоклаздар төзімсіздеу болады).

Гидротермалық өзгерген кезде плагиоклаздар канкринитпен, кальцитпен және цеолиттермен алмасады. Моряған кезде қышқылды плагиоклаздар – галлуазитпен, орташа және негізділер – монтмориллонитпен және кейде гибсситпен алмасады. Таужыныстар моряған кезде плагиоклаздар уақыт ағымында құрамында CO_2 , O_2 гумин қышқылдары және басқалар бар топырақ суының әрекетінен толық ыдырайды. Сілтілер мен сілтіжерлер мұнда шығарылады және боксит жаралу мүмкіндігі де жоққа айналмайды.

Практикалық мәні және кенорындары. Плагиоклаздардың тұтас шоғырлары олардың құрамында сілтілер мөлшері төмен болуы салдарынан өнеркәсіптік мәнге сирек ие болады. Қышқылды плагиоклаздар керамиканың кейбір айрықша түрлері мен шыны өндірісінде, атап айтқанда теледидар түтікшелерін даярлағанда қолданылады.

Ал құлпырымды плагиоклаздар *Шайтанка* мен *Липовка* (Ортаңғы Орал) пегматит желілерінің кейбіреулерінде, сондай-ақ Улан-Удэ маңындағы (Бурятия) *Үйрек құламасында* белгілі.

Иризацияланатын плагиоклаздар (альбит-олигоклаз) елеулі мөлшерде слюдалы-керамикалық гранит пегматиттерінде (Солтүстік Гарслияда) болады. Мысал ретінде Беломорск ауданындағы *Слюдяноборское* кенорнын және Лоухск ауданындағы *Хетоламбинское* кенорнын атауға болады.

Көк түске әсем құлпыратын күңгірт-сұр немесе қара түсті дерлік лабрадорит қаптама жалтыр тас ретінде пайдаланылады. Оны Житомир облысының (Украина) *Головинское* кенорнында өндіреді. Бұл кенорын 1835 жылы жол салу жұмысы кезінде кездейсоқ ашылған болатын. Ол кезде лабрадор тасы өте жоғары бағаланған. Россияда амфиболданған габбро ашық боялған, оның украиналық лабрадордан айырмашылығы – шала мөлдір түрінде *Кемск* ауданында (Солтүстік Карелия) белгілі.

Айтас және күнтас – иризацияланатын далашпаттар әдетте зергерлік бұйымдарда жүзік, білезік көздеріне салынатын тастар түрінде қолданылады.

Қышқылды плагиоклаздың тамаша жаралған кристалдарын Чупа маңындағы (Солтүстік Карелия) *Медведка Южная* пегматит желісінде далашпат пен кварц зоналары шекарасында өндіруге болады. Битовниттің қалақшадан линза тәріздіге дейінгі кристалдары және олардың кірігулері *Большой Толбачик* (Камчатка) жанартауы лапиллиі (ұсақ жанартау атындылары) құрамында байқалады.

Ортоклаз (калийлі-натрийлі далашпаттар) топшасы

Мұнда жататын калийлі-натрийлі далашпаттар температураға байланысты түрлі модификацияларда кристалдана алады (моноклиндік және триклиндік). K^{1+} және Na^{1+} бір-бірінен иондық радиустары бойынша айтарлықтай айрықшалануы салдарынан (тиісінше 1,33 және 0,98Å) жоғары температурада жаралатын қатты ерітінділері температура біртіндеп төмендегенде ыдырайды да *пертиттер* деп аталатындарды жасайды. Пертиттер әдетте қатты ерітінділер ыдырауы өнімдерінің заңдылық бойынша кірігу өнімі болып табылады.

Осының бәрі, әрине, мұндағы минерал түрлерінің құрамы мен құрылымының елеулі күрделенуіне әкеледі. Олардың жалпы жүйеленуін қолда бар деректерге сәйкес мынадай түрде көрсетуге болады.

Моноклиндік жоғары температуралық қатар:

- санидин – $K[AlSi_3O_8]$;
- натросанидин – $(K,Na)[AlSi_3O_8]$.

Моноклиндік төмен температуралық қатар:

- ортоклаз – $K[AlSi_3O_8]$;

- натронортоклаз – $(\text{Na}, \text{K})[\text{Al}, \text{Si}_3\text{O}_8]$.

Триклиндік қатар:

- микроклин – $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$;
- анортоклаз – $(\text{Na}, \text{K})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

Осылайша $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ қосылысы үшін ең алдымен екі моноклиндік модификация (900°C -тан жоғарғы температура кезінде төзімді санидин және төмендеу температура кезінде орнықты болатын ортоклаз) және бір триклиндік, ол микроклин деп аталады да моноклиндікке өте жақын болады. Моноклиндік модификациялардың триклиндікке өтуі біртіндеп және төтенше баяу жүреді.

САНИДИН – $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. Қоспалардан көп бөлігінде Na_2O , кейде BaO (5 %) болады.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық, L_2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. $a_0=8,42$; $b_0=12,92$; $c_0=7,14$; $\beta=116^\circ 06'$. Кристалдары түссіз, мөлдір. *Жоғары температуралық* минерал ретінде қазіргі лавада және кейбір эффузиялық магмалық таужыныстарда (атап айтқанда, трахитте) порфир бөлінімдер түрінде кездеседі.

Жылтырлығы нағыз шыныша. Сыну көрсеткіштері, жіктілігі, қаттылығы, меншікті салмағы – ортоклаздікіндей (төменде берілген). Ортоклаздан кейбір оптикалық константалары бойынша, негізінен оптикалық осьтері бұрышының аздығымен ажыратылады: санидинде 30° -тан аспайды, ал ортоклазда болса – $60-80^\circ$.

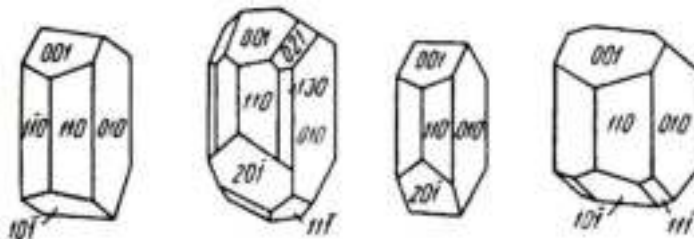
Алғаш Пантеллерия аралындағы (Италия) трахитте кездескен. Сондай-ақ Кавказда трахитте және басқа эффузиялық таужыныстарда, Монте-Сомма жанартауы лақтырындыларында және басқаларда байқалған.

ОРТОКЛАЗ – $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ немесе $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$. Грекше *ортоклаз* – тік бұрышпен жарылатын дегенді білдіреді. Шынында, жіктіліктер аралығындағы бұрыш 90° болады. Ортоклаздың түссіз мөлдір түрлесі көбінесе жалған ромбоэдрлік келбетті болады да, адуляр деп аталады. Қыздыру процесінде 900°C шамасындағы температурада санидинге – кейбір оптикалық константалары бойынша ажыратылатын модификацияға өтеді.

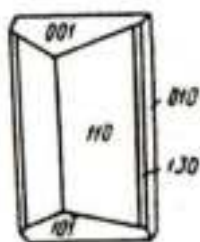
Химиялық құрамы. Таза калийлі түрлесі үшін, %: K_2O –16,9; Al_2O_3 –18,4; SiO_2 –64,7. Көбінесе Na_2O бірнеше процент мөлшерінде болып, кейде K_2O мөлшерінен асады (натронортоклаз) Қоспалары: BaO , FeO , Fe_2O_3 және басқалар.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. $a_0=8,60$; $b_0=13,06$; $c_0=7,19$. Кристалдарының келбеті көбінесе призмалық (*350-сурет*). Призманың басым жақтары $\{110\}$ әдетте пинакоидтардың $\{010\}$, $\{001\}$, кейде $\{101\}$, $\{201\}$ және басқа жақтарымен бірлеседі. Адулярдың мөлдір немесе шаламөлдір кристалдары *351-суретте* бейнеленген өзіндік пішіндерге ие. Қарапайым қосақтары біршама жиі. Кірігу жазықтығын көбінесе (010) атқарады, ал қосақ осі $\pm(010)$ болып табылады – карлсбад заңы бойынша қосақталуында (*352-сурет*). Мұнда бір дарактың (001) жағы кейде келесі дарактың жағымен бір жазықтыққа бірігіп кетеді (*352-сурет*, оң жағында). Олардың аралығындағы

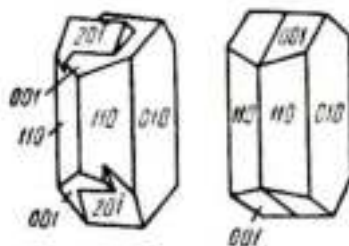
айырмашылық тек жылтырлығы және жіктілік бағыттары бойынша ғана анықталады. Кейде бавен қосағы байқалады – (021) қосақ жазықтығымен (353-сурет) және басқа қосақталу заңдары да (354-сурет) .



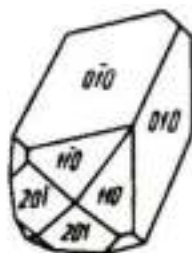
350-сурет. Калийлі далашпат кристалдары



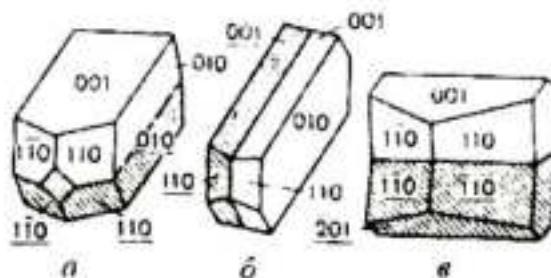
351-сурет. Адуляр кристалы



352-сурет. Карлсбад заңы бойынша қосақтар



353-сурет. Бавен заңы бойынша қосақтар



354-сурет. Калийлі далашпат қосақтары: а - манебах заңы бойынша; б - альбит және в - периклин заңдары бойынша

Түсі. Әдетте беймөлдір ортоклаз қызғылт, дененің түсіндей, ашық-қызғылт, сарғыш-сұр, қошқыл-сары, қызғылт-ақшыл, кейде ет қызыл түсті болады. **Жылтырлығы** шыныша, әсіресе адуляр осындай.

Қаттылығы 6. Жіктілігі {001} және {010} бойынша 90° бұрышпен жетік.

Диагноздаушы белгілері. Ортоклаз микроскоптық түрде сарғыш және қызғылт ашық түсі, жоғары қаттылығы және жіктіліктері аралығындағы бұрышы бойынша біршама оңай танылады. Әрине, оны түсі бойынша ұқсас сиректеу таралған микроклиннен жай көзбен (микроскоптық зерделеусіз) ажырату мүмкін емес.

Жаралуы. Ортоклаз басқа да калийлі-натрийлі далашпаттар сияқты, негізінен қышқылды, кейде қышқылдығы бойынша *орташа* магмалық таужыныстарда кездеседі.

Гранит пегматиттерде ортоклаз микроклинмен салыстырғанда біршама сирек. Ол микроклин сияқты пегматит процесінің кейінгілеу сатыларында альбиттенуге, яғни альбитпен алмасуға ұшырайды. Мору процестерінде ортоклаз, микроклин және басқа далашпаттар жер беті агенттері (O_2 , CO_2 , H_2O және басқалар) ықпалынан каолинденуге ұшырайды. Морудың қалдық өнімдері каолин сазы түрінде мору қыртысында шоғырланады немесе ағын сумен шайылып кетеді. Тропик немесе субтропик жағдайларындағы моруда, айтылып кеткендей, боксит және латериттік морудың басқа өнімдері пайда бола алады.

Ортоклазды таужыныстардың практикалық мәні туралы төменде микроклинді сипаттағанда айтылады.

МИКРОКЛИН – $K[AlSi_3O_8]$. Грекше *микроклин* – шамалы ауытқыған дегенді білдіреді: өйткені (010):(001) жіктілік жазықтықтары аралығындағы бұрыш тік бұрыштан небәрі $20'$ қана айрықшаланды.

Химиялық құрамы ортоклаз құрамына ұқсас. Құрамында әрдәйім дерлік елеулі мөлшерде Na_2O болады. Одан басқа, микроклиннің жасыл түрлестерінде кәдімгі микроклин мен ортоклазға қарағанда Rb_2O (кейде 1,4 % шамасында) және Cs_2O (0,2 %-ке дейін) қоспалары болады.

Сингониясы триклиндік; симметрия түрі пинакоидтық. Кеңістіктік тобы $P1(C^1)$. Қосақтарының түрі ортоклаз қосақтарындай. Жекелеген түйірлерінде микроскоп астында айқастырылған никельдерде байқалатын майда полисинтетикалық және торлама қосақтары аса тән. **Агрегаттары.** Пегматит желілерінде орасан ірі кристалл агрегаттары түрінде жиі байқалады, олар соққан кезде жіктілік жазықтықтары бойынша жарылады. Жіктілік бойынша анықталатын дарақтарының өлшемі көбінесе ондаған сантиметрмен, кейде тіпті метрмен өлшенеді. Жақсы жаралған кристалл друзалары түрінде де жиі кездеседі.

Түсі. Микроклин әдетте ортоклаз сияқты. Бірақ-та қанық жасыл түсті түрлесі де кездесіп, ол *амазонит* деп аталады. Оның бұл түсі, әр түрлі болжамдар бойынша, құрамында мардымсыз мөлшерде болатын Pb, Rb немесе Nb қоспаларына байланысты әркелкі. Ол көбінесе кристаллдар шетінде

болады немесе оның ішінде желішіктер, линзалар немесе бұрыс пішінді таңдақтар формасында болады, кейде ақ түсті кварц желішіктерімен көршілес орналасады. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында шамалы інжуше.

Қаттылығы 6. Жіктілігі ортоклаздағыдай, (001) және (010) бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,54–2,57.

Диагноздаушы белгілері. Микроклин сыртқы белгілері бойынша ортоклаздан ажыратылмайды. Жұқа шлифтерде микроскоп астында айқастырылған никольдерде жақсы байқалатын жекелеген дарақтарының өзіндік торланған құрылысы бойынша оңай танылса, ал торланбаған микроклин – оптикалық константалары бойынша танылады.

Жаралуы және кенорындары. Ортоклазбен салыстырғанда магмалық *қышқылды* және *сілтілі* таужыныстарда әлдеқайда кең таралған. Ол негізінен сондай-ақ *пегматит* жаралымдарда басты минерал болады. Пегматиттерде микроклин-пертит кең дамыған. Пертитте альбит қатты ерітіндінің ыдырау өнімі ретінде кейде торлы құрылысқа ие микроклинді ортада орналасады. Ыдырау процесінде жаралған пертитке (микрпертитке) әдетте микроскоп астында байқалатын альбит кірінділерінің шағын өлшемдері тән. Пегматиттегі балқыманың кристалдану режиміне тән болатын судың жоғарылау белсенділігі кезінде, балқу температурасы елеулі төмендейді және солидус қисығы калийлі-натрийлі далашпаттар араласқыштығы диаграммасында ыдырау күмбезін қиып өтеді. Мұндай жағдайда тепе-теңдікте екі далашпат орналасып, олар бірге өседі. Альбит мұндай жағдайларда басым калийлі далашпаттарда біршама ірі бөлінімдер беріп, өсу пертиті жаралады. Мұндай жаралымдардағы альбиттің пертит кірінділері, мысалы амазонитте, көбінесе жай көзбен байқалады немесе жалтырланған кесектерде бөлінеді.

Микроклин серіктерінен басқалардан жиі кварц, альбит, кейде нефелин (сілтілі нефелинді пегматиттерде) және слюдалар кездеседі. Кварцтың микроклинмен айрықша заңдылық (топотаксикалық) кірігулері таралған, олар *еврей тасы* немесе *жазба гранит* деп аталады.

Россияда, оның солтүстік-батыс еуропалық бөлігінде (*Приладага* және *Солтүстік Карелия* пегматит провинциялары) жоғары сапалы далашпаттар (керамикалық шикізат ретінде) гнейстегі қиятын және қабаттық пегматит желілерінен тұрады. Олардың құрамында микроклин мен плагиоклаздан басқа кварц, мусковит, кей жерлерінде биотит болады. Ортаңғы Оралда нефелинді сиенит арасында жататын пегматиттер де жоғары сапасымен айрықшаланады.

Амазониттің (әшекей тастар ретінде) белгілі кенорындарда *Ильмен тауларында* таралған, амазонит осы жерде 1784 жылы ашылған болатын. Мұнда амазонит біршама ірі массаларда кездеседі. Ол кей жерлерде көгілдір-жасыл, алма-жасыл, ал кей жерлерде жасылға қанық боялған, кейде бирюза түсті және басқа жасыл-сарыға және сарыға өтпелі реңді болады. Жоғары сапалы амазонит кенорындары *Кейвы* ауданында (Кола түбегі) белгілі.

Зергерлік сапалы мөлдір сары түсті темірлі ортоклаз *Мадагаскар* аралында белгілі.

Далашпаттардың қолданылуы олардың біршама төмен температурада (1100–1300⁰С) балқу қасиетіне негізделіп, шыны алынады. Оған каолин мен кварц қосып салқындатқан кезде тығыз ақ түсті, шамалы жарық өткізетін масса беріп, ол фарфор деп аталады. Фарфор ыдыс, сондай-ақ көкшіл зер мен эмаль даярлауға қолданылады. Калийлі-натрийлі далашпаттар айтарлықтай массаларда электрлік фарфор, қайрақ тастың байланыстырушы массасы және дәнекерлеу электродтарын қаптау деп аталатындарды даярлау үшін қолданылады. Айрықша таза сорты жасанды фарфор тіс, арнайы опалесцирлеуші шыны, сондай-ақ басқа мақсаттарға да жұмсалады.

Әсем жасыл түске боялған амазонит әшекей бұйымдар және басқа әртүрлі заттар (ваза, қобдиша, күл салғыш және басқа) жасауға пайдаланылады.

АНОРТОКЛАЗ – $(\text{Na},\text{K})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. **Сингониясы** триклиндік. Грекше *анортоклаз* – ортоклаз емес дегенді білдіреді (яғни тек түрі бойынша ұқсас). Қоспа түріне CaO жиі кездеседі (кейде бірнеше процентке дейін). «Анортоклаз» деген атау триклиндік далашпаттарға берілген, оларда Na_2O мөлшері K_2O мөлшерінен асады. Әдебиетте көбінесе бұл атауды кендеу мағынада қолдануды кездестіруге болады. Мұнда оған жалпы барлық беймоноклиндік далашпаттар, соның ішінде микроклин (Na_2O мөлшеріне байланыссыз) де кіреді.

Физикалық қасиеттері бойынша микролинге ұқсас, одан тек оптикалық константалары бойынша ажыратылады. **Мен. салмағы** 2,56–2,6. Қыздырған кезде оңай моноклиндік модификацияға өтеді, салқындағанда қайта триклиндік болды.

Натрийге бай жанартау таужыныстарында кездеседі. Бастапқыда ол Пантеллерия аралында (Италия) андезит лавасында анықталған.

Гиалофан топшасы

Бұл топқа моноклиндік сингонияда кристалданатын калийлі-барийлі далашпаттар жатады. Олар $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ қатарының изоморфтық қоспаларынан тұрады. Одан басқа, олардың құрамына шамалы мөлшерде $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ және $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ кіреді.

Осыған дейін анықталған минерал түрлері бұл қатарды толық қамтымайды. Құрамында $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ молекулалары 35 % шамасына дейін жететін гиалофаннар белгілі, бір жағдайда – 50 % шамасында, ақыр соңында таза барийлі моноклиндік далашпаттарға жақын өкілдері бар, олар *цельзиан* деп аталады.

ГИАЛОФАН – $(50\%-n)\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \cdot (50\%+n) \text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, мұндағы $n=0$ –30 %. Қоспалар түрінде Na_2O , CaO , кейде SrO және басқалар анықталады. Изодиморфты ортоклаз ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) – *цельзиан* ($\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$) легінде *цельзиан* молекуласының мөлшері 80 %мол болған кезде, құрылымдық күйдің ортоклаз $C2/m(C_{2h}^3)$ симметриясынан $I2/c(C_{2h}^6)$ симметриясына алмасуы байқалады. Осылайша, қатал айтқанда гиалофанға

құрамы келтірілген формулаға сәйкес болатын дарақтарды жатқызу керек. $n < 30$ % кезінде Ва-ортоклаз, ал $n > 30$ % кезінде цельзиан болады. Көбінесе барийұстамды калийлі далашпаттардың барлығына «гиалофан» термині қолданылады.

Сингониясы моноклиндік. Гиалофан кристалдары ортоклаз (адуляр) кристалдарына ұқсас. Қосақтары да бірдей. Кристалл құрылымдары да бірдей, бұл жағдай K^{1+} және Ba^{2+} катиондар иондық радиусының жақындығына (1,33 және 1,38Å) байланысты. K^{1+} иондарының Ba^{2+} иондарына алмасуына сырттай плагиоклаздыққа ұқсас изоморфизм сұлбасы бойынша Si^{4+} ионының Al^{3+} ионына эквиваленттік алмасуы сай келеді.

Кристалдары суша мөлдір, кейде жасылтым, сарғыш немесе көгілдір реңді сұр, сирек қызыл. Қуыстарда друзалар түрінде немесе желішіктер түрінде кездеседі. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше.

Қаттылығы 6–6,5. **Жіктілігі** ортоклаздағыдай. **Мен. салмағы** 3,01–3,32 (соңғы мән $Ba[Al_2Si_2O_8]$ мөлшері 30 % болатын гиалофанда). Қышқылдарда ерімейді. Ортоклаздан құрамында барий болуымен және айқын жоғары меншікті салмағымен, сондай-ақ оптикалық константалары бойынша ажыратылуы мүмкін.

Құрамында шамалы мөлшерде барий бар ортоклаз магмалық интрузиялық таужыныстарда кездеседі. Барийге бай түрлестері жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда байқалған. *Слюдянка* өзені ауданында (Оңтүстік Прибайкалье) флогопитті-кальцийлі желілерде табылған. Мұнда олар диопсидпен, скаполитпен және кальцитпен бірлеседі немесе тікелей метасоматоздық жолмен қызғылт ортоклаз бойынша дамиды.

ЦЕЛЬЗИАН – $Ba[Al_2Si_2O_8]$. ВаО мөлшері әдетте 34–42 % аралығында өзгереді. Сингониясы моноклиндік. Кеңістіктік тобы $I2/c(C_{2h}^6)$. Цельзиан құрылымы (анортиттің альбиттен өзгешелігі сияқты) ортоклаз құрылымынан біршама айрықшаланады, ол ұяшықтарының екі еселенуімен өрнектеледі. Бұл ерекшелік кеңістіктік топтың (C_{2h}^6) бейстандарт түрінде осы изодиоморфизм қатарының тор параметрлері өзгерістері сипатының бірлігін сақтау үшін беріледі. Жақсы жаралған қысқа призмалық ортоклаз келбетті, кейде жақтары мол кристалдар түрінде кездеседі. Ұзын призма пішіндері де белгілі. Қосақтары манебах, бавен және карлсбад заңдары бойынша. Сондай-ақ түйірлі тұтас массаларда да байқалады.

Түсі мөлдір, түссіз немесе жарық өткізеді. Кейде аллохромалық қызыл немесе қара түсті, ол темір окисі немесе марганец окиселдері қоспаларына байланысты. **Жылтырлығы** шыныша. **Қаттылығы** 6. **Жіктілігі** ортоклаздағыдай. **Мен. салмағы** 3,32–3,37.

Гиалофан сияқты жапсарлық-метасоматоздық кенорындарда байқалған: *Якобсбергте* (Швеция), Уэльстегі *Карнарвон* түбегінде (Англия) ордовик құмтас-тақтатас қатқабатында туф қабатшаларымен марганец рудасында және басқа жерлерде.

2. Скаполит тобы

Кең изоморфизмі бойынша айрықшаланатын минералдардың бұл тобы химиялық құрамы бойынша плагиоклаздар тобымен ортақтығы көп. Біз плагиоклаздардан айырмашылығы, мұнда Cl^{1-} , $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{CO}_3]^{2-}$ кейде Fe^{1-} және OH^{1-} түрінде қосымша аниондар бар екенін көреміз. Сондай-ақ $[\text{HSO}_4]^{1-}$, $[\text{HCO}_3]^{1-}$ аниондарының болуы да жоққа шығарылмайды. Осыған сәйкес кристалл құрылымдардағы жалпы заряд қосымша Na^{1+} және Ca^{2+} катиондарының кіруімен теңгеріледі.

Плагиоклаздар қатарындағы сияқты, мұнда құрамының өзгеруі барысында NaSi қосылысы CaAl -ге алмасатыны көрінеді. Cl аниондары аралығында өзара қатынас та орын алады, олар натрийлі түрлестерімен және кальцийі молдау түрлестеріне тән $[\text{CO}_3]$ және $[\text{SO}_4]$ топтарымен тығыз байланысты болады. Мұнда $\text{NaCl}-\text{Ca}[\text{CO}_3, \text{SO}_4]$ сұлбасы бойынша алмасу қаңқадағы алмасуларға тәуелсіз жүруі мүмкін, бұл жағдай осы топтағы изоморфизм келбетін күрделендіреді.

Бұл қатардың ақырғы мүшелері таза натрийлі минерал түрі – *мариалиттен* (Ma) және таза кальцийлі – *мейониттен* (Me) тұрады. Аралық құрамды түрлестері үшін плагиоклаздардағыдай (мейонит молекуласының проценттік мөлшері бойынша) жіктелім қабылданған. Скаполит тұтастай топты білдіреді, ол минерал түрінің атауы емес.

Әрине, бұл топ минералдары химиялық құрамының өзгеруіне сәйкес, олардың физикалық қасиеттері де заңдылықпен өзгереді.

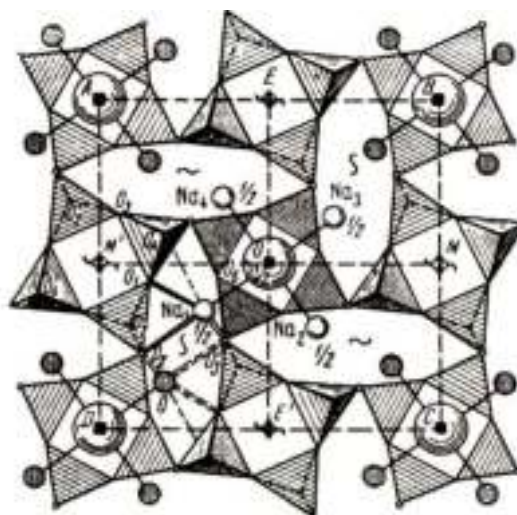
МАРИАЛИТ – $\text{Na}_4[\text{AlSi}_3\text{O}_8]\text{Cl}$ және **МЕЙОНИТ** $\text{Ca}_4[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]_3[\text{CO}_3, \text{SO}_4]$.

Топтама атауы грекше *сканос* – бағана, аса таяқ және *литос* – тас дегеннен шыққан. Атауы кристалдарының пішініне байланысты берілгені көрінеді. Түрлесі: *глауколит* немесе главколит (Fe және K гидросиликаты – глауконит минералымен шатастырмау керек) көк түсті, құрамы орташа. Бұрынғы әдебиетте басқа түрлестерінің көптеген атаулары болған, олар шын мәнінде синонимдері болып табылады.

Химиялық құрамы. SiO_2 мөлшері мейонит молекуласының артуына байланысты 56-дан 47 %-ке төмендейді; тиісінше Na_2O және Cl мөлшері де төмендейді, ал CaO және CO_2 – артады.

Сингониясы тетрагондық; симметрия түрі тетрагондық-дипирамидалық L^4PC . Кеңістіктік тобы $I4/m(C_{4h}^5)$. $a_0=12,06$; $c_0=7,51$ – таза мариалит үшін; $a_0=12,17$; $c_0=7,65$ – мейонит үшін; симметриясы аралық құрамдыларда $P4_2/n(C_{4h}^1)$ -ге дейін төмендейді.

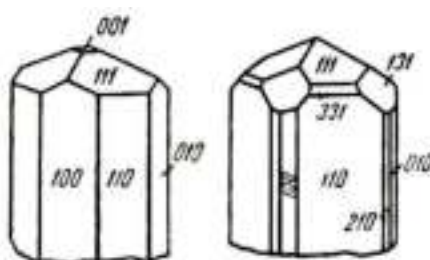
Кристалл құрылымы. Скаполитке төрт тетраэдрден тұратын күрделі сақиналары тән, олардың төбелері алма-кезек бірде төмен, бірде жоғары қарап орналасқан. Бұл сақиналар кристалдың c осіне параллель бағаналар жасайды. *355-суретте* тетраэдрлік қаңқасының (001) жазықтығына проекциясы бейнеленген. Оның ішінде Na^{1+} және Ca^{2+} катиондары үшін кеңістік болады, сондай-ақ Cl^{1-} , $[\text{SO}_4]^{2-}$ немесе $[\text{CO}_3]^{2-}$ аниондары үшін үлкен қуыстар бар.



355-сурет. Скаполиттің c осі бойынша проекциясындағы кристалдық құрылымы. Ірі шариктер - Cl^- , кішілері – Na^{1+} немесе Ca^{2+} . Ұсақ бос шеңберлер A, B, C, D және O остері төрттік сақиналары төбелерінде оттект иондарын бейнелеп, олар сақиналарды байланыстырады

Мариалиттен мейонитке өткен кезде тетраэдрлердегі алюминийді оқшаулау ережесіне сәйкес, оның кремниймен әр тетраэдрден кейінгі жалғыз ғана мүмкін болатын орналасуы орын алады. Мұндай реттелу құрылымның симметриясында көрініс табады.

Кристалдарының келбеті. Кездесетін кристалдары призмалық келбетке ие және әдетте тік осі бағытында созылған (356-сурет). Ең көп таралғаны призма жақтары $\{100\}$, $\{110\}$ және $\{210\}$, олар дипирамидалардың $\{111\}$, $\{131\}$, $\{331\}$, сондай-ақ $\{101\}$ және басқа жақтарымен доғалданған. Кристалдары тек друзалы қуыстарда ғана кездеседі, ал таужыныс массаларында ол бұрыс түйірлер немесе түйірлі агрегаттар түрінде дамып, кейде тұтас скаполитті таужыныс жасайды.



356-сурет. Скаполит кристалдары

Түсі. Скаполит жанартау таужыныстарында әдетте түссіз. Ал кристалды тақтатастар мен әктаста жаралатын кристалдары болса, олар керісінше беймөлдір, сұр түсті, кейде қанық көгілдір (глауколит), сирек қызыл түсті. Пегматиттердегі мариалит қызғылт болады немесе күлгін түстіден ашық-қоңырға және сарыға дейін, кейде елеулі диахроизм білінеді. **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше құлпырымды $Nm=1,550-1,595$ және $Np=1,540-1,556$ (мейонит молекуласы көбейген сайын артады).

Қаттылығы 5–6. Морт. **Жіктілігі** {100} бойынша айқын және {110} бойынша жетілмеген; жиі баспалдақтана білінеді. Омырылымы бейтегіс. **Мен. салмағы** мейенитке қарай 2,61-ден 2,75-ке дейін артады.

Диагноздаушы белгілері. Скаполиттер өздеріне ұқсас далашпаттардан кристалдарының айқын тетрагондық пішіні, нашарлау білінген жіктілігі (тетрагондық призма бойынша) және біршама төмендеу қаттылығы бойынша ажыратылады.

НСІ қышқылында құрамында мейонит молекуласы артқан сайын еруі жеңілдейді. Мұнда кремнийтотық сүзбе түрінде тұнба жасайды.

Жаралуы және кенорындары. Скаполиттер *пневматолит* процестерінің өнімі ретінде жанартау таужыныстары қуыстарында жақсы жаралған түссіз кристалдар друзасы түрінде кездеседі. Мариалит кейде миарол пегматиттерінде турмалинмен, топазбен, бериллмен және апатитпен бірлесе байқалады. Ол *флюид фазадан* пегматит процесінің соңғы сатысында жаралады да қуыстарды толтырады. Мариалит пен мейонит көбінесе *жапсарлық-метасоматоздық* кенорындарда қышқылды және сілтілі таужыныстар интрузияларының әктаспен және доломитпен шекарасында байқалады. Анартастармен, пироксендермен, кейде апатитпен және басқалармен бірлеседі. Скаполиттердің басқа минералдармен, әсіресе плагиоклаздармен алмасу құбылысы біршама жиі байқалады. Мұнда, әдетте, скаполиттердің құрамы плагиоклоздарға қарағанда (Na_2O жартылай шығарылады) негізділеу болады. Кейде цеолиттермен сүйемелденеді.

Скаполит табылымдары көптеген флогопит кенорындарында *Слюдянка* өзені бойында ежелден белгілі (Оңтүстік Прибайкалье). Әдетте диопсидпен және кальцифир құрамындағы кальцитпен бірлеседі. Кейде мейониттің жекелеген кристалдарының ұзындығы 0,5 м-ге жетеді. Олардың түсі әдетте ақ, солғын сабан-сары немесе лас-жасыл. Олар мұнда метасоматоздық жолмен пегматиттердің әктаспен реакциясы кезінде жаралған. Мұнда мариалиттің тұтас массалары да табылған. Олар көгілдір, сұрғылт-көк немесе көкшіл-күлгін түске боялған.

Мейонит *Алдан* қалқанындағы кварц-қоспироксенді плагиотақтатастарға және басқа негізінен негізді құрамды метаморфизмнің жасылтақтастыдан гранулит фацияларына дейінгі метаморфтық таужыныстарға тән. Қызғылт-күлгін беймөлдір мариолит төмен температуралық гидротермалар ықпалынан ретроградтық метаморфизм жағдайларында плагиоклазбен (андезин) алмасқан. Олар пегматит желілерін сыйыстыратын жолақ амфиболитте керамикалық шикізат кенорнының *Климов* бөлікшесінде Чкалов кенті маңында (Солтүстік Карелия) кездеседі. Солғын-қызғылт мейониттің ірі кристалды массалары Питкяранта маңындағы (Солтүстік Приладожье) *Пусунсаары* аралында гранитгнейс пен мәрмәр жапсары зонасындағы қуатты желіні құрайды.

Скаполиттердің аса елеулі таралуы *Приангарье*, *Оңтүстік Якутия* (Саха Республикасы) және *Қостанай* облысы (Қазақстан) скарндық магнетит кенорындарында анықталған. Мұнда скаполиттер метасоматоздық өзгерген сыйыстырушы таужыныстар құрамында ғана емес, сондай-ақ магнетит

рудасының өзінде де қатысатыны көрінеді. Зергерлік сапалы мариалит кристалдары Шығыс Памирдегі (Тажікстан) *Күкурт* пегматиттік кенорында белгілі.

Скаполиттер туынды өзгерістерге, әсіресе морыған кезде біршама оңай ұшырайды. Скаполит бойынша псевдоморфозаларда хлориттер, эпидот, пренит, цоизит, альбит, слюдалар және басқа минералдар байқалады. Мору процесінде скаполит есебінен каолин сазы жаралады.

3. Лейцит тобы

Мұнда біз лейцит пен поллуциттен басқа бірқатар қасиеттері бойынша лейцитке өте жақын, құрамында цеолиттік сипатты су бар анальцимді қарастыз.

ЛЕЙЦИТ – $K[AlSi_2O_6]$ немесе $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$. Атауы грекше *лейкос* – ақшыл дегеннен шыққан. Кейбір сілтілерге бай және кремнийтотыққа біршама жұтаң эффузиялық таужыныстарда (лейцитті базальт, фергусит, фонолит, трахит және басқа) таужынысжасаушы минерал болып табылады.

Химиялық құрамы, %: K_2O –21,5; Al_2O_3 –23,5; SiO_2 –55. Қоспалар түрінде шамалы мөлшерде Na_2O , CaO , H_2O болады.

Сингониясы. Диморфизмге ие. $620^{\circ}C$ -тан жоғары температурада кубтық модификациясы орнықты, бұдан төмен температурада лейцит тетрагондық модификацияға полиморфтық айналуға ұшырайды.

Кристалдарының келбеті. Аса тәні – жақсы жаралған барлық жағынан полиэдрлі кристалдар түрінде байқалатыны – тетрагон-триоктаэдрлер (357-сурет). Өзіндік пішіндері: $\{211\}$, сирек $\{110\}$ және $\{100\}$. Жақтарының беті күңгірт; кейде оларда қосақтар айғызы анықталады. Қосақтары (100) бойынша. Сирек түйірлі агрегаттар түрінде байқалады.

Түсі. Түссіз, сұрғылт немесе сарғыш реңді ақ, көбінесе және де күл-сұр. **Жылтырлығы** омырылымында шыныша, майша. $N_g=1,509$ және $N_p=1,508$. **Қаттылығы** 5–6. Морт. **Жіктілігі** жоқ. Омырылымы ұлуша. **Меншікті салмағы** 2,45–2,5.



357-сурет. Лейцит кристалы

Диагноздаушы белгілері. Кристалдарының пішіні және ақшыл түсі, ал микроскоп астында оптикалық аномалиялары мен сынудың төмен көрсеткіші аса тән.

HCl қышқылында ұнтақша кремнийтотық бөліп ереді.

Жаралуы және кенорындары. Лейцит нағыз жоғары температуралық магмалық минерал болып табылады да сілтілерге бай (негізінен K_2O) және SiO_2 жұтаң лава қатайған кезде жаралады. Сондықтан ол кварцпен бірге

байқалмайды. Әдетте онымен сілтілі пироксендер (эгирин немесе эгирин-авгит), нефелин және басқалар бірлеседі. Жекелеген кристалдар түрінде жанартау лақтырындыларында – күл мен туфта да кездеседі. Интрузиялық жоғары калийлі негізді және ультранегізді таужыныстарда да кездеседі.

Ең кейінгі процестер ықпалынан көбінесе химиялық айналу құбылыстары байқалады. Ортоклаз бен серициттің (калийлі слюданың) лейцит кристалдары бойынша псевдоморфозалары белгілі. Кейде олар сондай-ақ нефелинмен және альбитпен алмасады, мұнда ол әр түрлі сандық қатынаста болады. Мұндай псевдоморфозалар псевдолейцит немесе эпилейцит деп аталады. Бұл процесс және де топырақта калийдің ерітіндіге өтуімен дамиды. Осыған байланысты лейцитұстамды таужыныстарда жаралатын топырақтың құнарлылығы түсінікті болып шығады.

Россияда лейцитұстамды таужыныстар *Маймеча-Котуй* провинциясында бар (Красноярск өлкесі). Лейцит *Дежнев* мүйісі (Чукотка) базальтында да байқалған. *Алданда* (Шығыс Сібірде) кездесетін, калийге бай интрузиялық оливин-пироксен-далашпатты таужыныстар – фергусит пен шонкинит құрамына кіреді.

Лейцит айтарлықтай мөлшерде ірі және ұсақ кристалдар түрінде Монте-Сомма (Везувий) лавасының құрамында бар. Эпилейцитті эффузиялық таужыныстар Қазақстанда *Есіл* өзенінде, Арменияда және басқа жерлерде кездескен.

Практикалық мәні. Кейбір елдерде, мысалы Италияда, лейцитті таужыныстар калийлі өнімдер және металл алюминий алу үшін минералдық шикізат ретінде өндіріледі. Айта кететіні, лейцит құрамында ортоклазбен салыстырғанда SiO_2 аз және Al_2O_3 көп мөлшерде болады.

Анальцим – $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\text{H}_2\text{O}$ немесе $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Грекше *анальцис* – әлсіз. Атауы оның үйкелген кезде шамалы электрленетін қасиеті бойынша берілген.

Химиялық құрамы, %: Na_2O –14,07; Al_2O_3 –23,29; SiO_2 –54,47; H_2O –8,17. Сондай-ақ құрамында K_2O мол (5,5 % шамасына дейін) түрлесі анықталған. Шамалы мөлшерде кейде CaO және MgO болады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік. Кеңістіктік тобы $Ia\bar{3}d(O^1_0)$. $a_0=13,71$. Дәл лейцит сияқты пішіндерде кристалданады (357-суретте). Сирек куб кристалдары кездесіп, олар бұрыштарында тетрагонтриоктаэдр жақтарымен доғалданады (358-сурет). Сондай-ақ түйірлі агрегаттарда, қуыстардағы кристалл друзалары түрінде, кристалдар қабыршағы мен жеодалар түрінде байқалады.



358-сурет. Анальцим кристалы

Түсі. Түссіз, сұрғылыт, қызғылт немесе жасылтым реңді ақ, кейде ет-қызыл (темір окисімен пигменттенуіне байланысты). **Жылтырлығы** шыныша. $N=1,489-1,479$.

Қаттылығы 5–5,5. Морт. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ, кейде {001} бойынша байқалады. **Меншікті салмағы** 2,2–2,3.

Диагноздаушы белгілері. Өзіне ұқсас лейциттен ең алдымен құрамымен, төмендеу қаттылығымен, төмендеу сыну көрсеткішімен ажыратылады.

НСІ қышқылында суда ұйық тәрізді кремнийтотық тұнбасын жасап ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Анальцим цеолиттер сияқты әдетте магмалық процестердің соңғы сатыларымен байланысты *төмен температуралық гидротермалық* әрекет өнімі ретінде кездеседі. Оның жаралуы көбінесе 100°C -тан төмен температура кезінде жүруі ықтимал.

Сирек жағдайларда бастапқы минерал ретінде үлкен қысым жағдайында болған құрамында Na және H_2O мол магма кристалданған кезде жаралатыны көрінеді. Тешенит деп аталатындарда (анальцимді габбро) ол натрийдің жалғыз алюмосиликаты болады да бұрын бөлініп шыққан силикаттар аралығындағы кеңістіктерде ең соңғысы болып кристалданады. Мысалы: *Кавказ* тешениттері осындай.

Натрийге бай сілтілі таужыныстар *пегматиттерінде* (нефелинді сиениттерде) ол соңғы гидротермалық минералдар арасында байқалады да көпшілігінде нефелинді алмастырады.

Россияда ең белгілісі – *Нижняя Тунгуска* өзені алабындағы (Эвенкия, Ортаңғы Сібір) исланд шпаты кенорнының ірі кристалды анальцимі. Мұнда анальцим кальцитпен және цеолиттермен бірлестікте негізді таужыныстар (трапп) жабыны арасындағы қуыстар мен жарықшақтарда орналасады. Базальтпен байланысты анальцим табылымдары *Солтүстік Тиманда*. Анальцим *Ильмен* тауларының (Оңтүстік Орал) сілтілі пегматиттерінде, *Хибин* және *Ловозерск* нефелинді сиенит массивтерінде (Кола түбегі) анықталады.

Ірі мөлдір кристалдары Катанья маңында (Сицилия) *Циклоп* аралдарында жанартау туфында орналасады. Анальцим жаңажаралымдар түрінде кейде экзогендік процестер кезінде пайда болады. Оны, мысалы, лейцитті таужыныстар орнында жаралған топырақта, кейде шөгінді таужыныстарда табады.

ПОЛЛУЦИТ – $\text{Cs}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$. Синонимі: поллукс. Қазіргі кезде әзірше цезийдің молдығы бойынша жалғыз болып табылатын бұл минералдың өнеркәсіптік шоғырлары белгілі.

Химиялық құрамы тұрақсыз. Іс жүзінде құрамында анальциммен изоморфты араласуы нәтижесінде әрдәйім натрий және су болады. Cs_2O мөлшері 30–32 % шамасына жетеді. Таза поллуцит лейциттің баламасы болып табылады.

Осылайша изоморфты қоспалары сусыз және силикаттар аралығында жаралады: $\text{Cs}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] - \text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$. Мардымсыз мөлшерде және де Rb_2O , K_2O және Tl_2O_3 болады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексаоктаэдрлік. Кеңістіктік тобы $Ia3d(O^{10}_h)$. $a_0=13,69$. **Кристалдық құрылымы** анальцим құрылымына ұқсас. **Кристалдарының келбеті.** Айқын жаралған кристалдары қуыстарда кездеседі, бірақ өте сирек. $\{100\}$ және $\{210\}$ комбинациясы болады. Желішіктер немесе тұтас массалар түрінде жиі байқалады.

Түсі. Түссіз мөлдір, ақтан сұрға дейін. **Жылтырлығы** нағыз шыныша. $N=1,524-1,506$.

Қаттылығы 6,5. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ. Омырылымы ұлуша. **Меншікті салмағы** 2,86–2,9.

Диагноздаушы белгілері. Литийлі минералдармен бірлестікте кварцқа ұқсас шыны массалары түрінде кездеседі. Кварцтан оптикалық қасиеттері бойынша (ұнтақта микроскоп астында изотропты) оңай ажыратылады. Цезий спектрлік талдаумен оңай анықталады. Поллуцитке ақ, сұр, күлгін және қызғылт түсті туынды минералдардың көп санды жұқа желішіктері де өте тән.

НСІ қышқылында қыздырған кезде ұнтақша кремнийтотық бөліп қиын ериді. Хлорлы платинамен ерітіндісі цезий мен платинаның қос хлорлы тұзының мол тұнбасын береді.

Жаралуы және кенорындары. Гидротермалық минерал ретінде гранит пегматиттерінің миаролит қуыстарында кездеседі. Литийлі силикаттармен (петалит, лепидолит), литийлі фосфаттармен (амблигонит), кварцпен және басқа минералдармен парагенетикалық байланысқан. Поллуциттің тұтас массаларында оның каолин тәрізді қирау өнімдерінің көптеген өте майда ақ түсті желішіктері байқалады.

Бастапқыда поллуцит Эльба аралында (Италия) гранит арасындағы қуыстарда анықталған. Россия аумағында поллуцит *Воронье-Тундра* (Кола түбегі) пегматит алаңындағы сирек металды желілерде альбитпен, лепидолитпен, монтебразитпен, эльбаитпен және сподуменмен бірге болады. Ірі бөлінімдері *Қара-Адыр* (Тыва Республикасы) литийлі пегматит кенорнында белгілі. Сонымен қатар, поллуцит Забайкальде *Малхан* жотасында пегматиттерде кездеседі.

Поллуцит рудасының ең ірі кенорны Манитобедегі (Канада) *Берник-Лейк* прекембрий гнейсінің гранит пегматиттерінде жатады. Оның айтарлықтай шоғырлары *Карибид* лепидолит кенорны ауданында анықталған (Оңтүстік-Батыс Африка). Сондай-ақ *Варутреск* (Швеция), *Геброн* (АҚШ) кенорындарында және басқа жерлерде сипатталған.

Практикалық мәні. Поллуцит әр түрлі мақсатта лабораториялық және аналитикалық практикада пайдаланылатын цезий тұздарын алудың ең маңызды көзі болып табылады. Цезийдің жарыққа сезімтал автоматты электр жабдықтар және разрядты шамдар үшін қолданылуы өте маңызды. Цезийлі фотоэлементтерді пайдалануға байланысты бейнелерді алыс қашықтықтарға (теледидар) беру проблемасы және басқалар техникалық жағынан шешілген.

4. Нефелин тобы

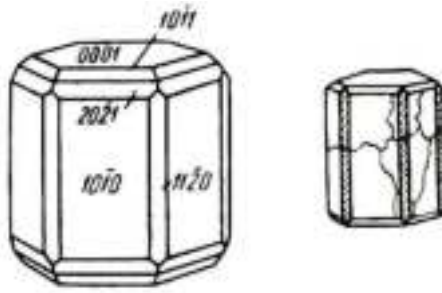
Мұнда кремнийтотыққа жұтаңдау $R[\text{AlSiO}_4]$ типті алюмосиликаттар жатады, мұндағы $R=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}$. Олар гексагондық сингонияда кристалданады. $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ және $\text{K}[\text{AlSiO}_4]$ жоғары температурада қатты ерітінділердің үзіліссіз қатарын жасайды. Біз бұл топшада жалғыз нефелинді қарастырамыз.

НЕФЕЛИН – $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]$ немесе шамамен $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Атауы грекше *нефели* – бұлт дегеннен шыққан (күшті қышқылдарда ыдыраған кезде бұлт тәрізді кремнийтотық береді). Көбінесе натрийге бай сілтілі магмалық таужыныстарда таужынысжасаушы минерал болып табылады.

Химиялық құрамы формулаға дәл сай келмейді. SiO_2 әрдайым біршама артық мөлшерде болады, (12 % шамасына дейін). Бұл жағдай натрий иондарының біршама мөлшерін ваканцияға алмасуына байланысты, мұнда алюминий иондары кремниймен $\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Na}^{1+} \text{Al}^{3+}$ сұлбасы бойынша алмасуы жүреді. K_2O молекулаларының мөлшері де өзгермелі, өйткені нефелин *кальсилитпен* $\text{K}[\text{AlSiO}_4]$ шектеулі изоморфты қатар жасайды. Және де CaO (0,5–7 %), кейде Fe_2O_3 , Cl мен H_2O қоспалары анықталады.

Сингониясы гексагондық; симметрия түрі гексагон-пирамидалық L^6 . Кеңістіктік тобы $P6_3(C^6_6)$. $a_0=10,05$; $c_0=8,38$. **Кристалдық құрылымы** алюмокремнийоттек қаңқасына негізделген, ол тридимит қаңқасына ұқсас, бірақ шамалы деформацияланған. Симметриясының ары қарай төмендеуі натрий және калий катиондарының қаңқа қуыстары бойынша реттеліп таралуына байланысты. Алюминий мен кремний де реттелген, олар тетраэдрлерде біреуден кейін орналасады. Алюминий иондарының үштен екісі құрылымда үштен біріне қарағанда басқаша орналасқан. Бұл жағдай алюминий окисін нефелиннен айырып алудың технологиялық процесінде көрініс табады; Al -дің үштен бірі ерітіндіге қиындау өтеді. Және бір ерекшелігі, ол ыдыраған кезде табиғи жағдайларда алюминийдің үштен екісі натролит жасаса, ал үштен бірі каолинит немесе гиббсит жасайды.

Кристалдарының келбеті призмалық, қысқа бағаналы (359-сурет) немесе қалың тақталы. Басты дамуға призма $\{10\bar{1}0\}$ және пинакоид $\{0001\}$, сондай-ақ пирамиданың $\{10\bar{1}1\}$ және призманың $\{11\bar{2}0\}$ жақтары ие болады. Сыртқы түрі бойынша нефелин кристалдарының қарапайым пішіндері шын мәнінде көбінесе қосақтар кірікпесі болып табылады (бұрыс шекаралы), ол туралы таптау фигуралары мен жақтарының айғыздалуы куәландырады (359-суретте). Кристалдары сирек кездеседі, көпшілік бөлігінде таужыныстар арасындағы қуыстарда. **Агрегаттары.** Әдетте таужыныстардағы бұрыс пішінді сеппелік кристал түйірлері түрінде немесе жиі өте ірі түйірлі тұтас массалар түрінде таралған. **Түсі.** Түссіз, бірақ көбінесе сұрғылт ақ немесе жасылтым, сарғыш, қошқылтым, қызғылтым реңді сұр. Беймөлдір ашық түсті ірі кристалды немесе тұтас түрлестері жиі элеолит деп аталады. **Жылтырлығы** кристал жазықтықтарында шыныша, омырылымында майша. $Nm=1,532-1,547$ және $Np=1,529-1,542$.



359-сурет. Нефелин кристалдары

Қаттылығы 5–6. Морт. **Жіктілігі** іс жүзінде жоқ немесе $\{0001\}$ және $\{10\bar{1}0\}$ бойынша жетілмеген жіктілігі байқалады. **Меншікті салмағы** 2,6.

Диагноздаушы белгілері. Нефелин жай көзбен әрдайым оңай танылады. Сілтілі, натрийге бай таужыныстарда ол әр түрлі реңді сұрғылт түсімен және нағыз *майша жылтырлығымен* сипатталады. Морыған беттерінде қуыстарда химиялық бүліну өнімдері түрінде жаралатын шамалы күңгірт жарғақ немесе қабыршақ бойынша оңай танылады.

Қышқылдарда ыдырайды.

Жаралуы және кенорындары. Нефелин тек қана дерлік кремнийтотыққа жұтаң сілтілі магмалық таужыныстарда таралған: нефелинді сиенитте және оның пегматиттерінде, фоноллитте және басқаларда. Олардың арасында тұтастай дерлік нефелиннен тұратын шпирлер кездеседі. Кремнийтотыққа бай магмалық дериваттарда ол альбитпен және содалитпен бірлеседі, ал еркін кремнийтотық (мысалы, кварц) болуымен көрініс табатын SiO_2 артық болатын таужыныстарда кездеспейді.

Тереңдік нефелинді таужыныстарда онымен парагенезисте эгиринді (сілтілі пироксен), сілтілі далашпаттарды (альбит, микроклин), кейде сілтілі мүйізалдамашты кездестіруге болады. Көбінесе нефелиннің гидротермалық өзгеру өнімдері – негізінен канкринит, содалит және цеолиттер кездеседі. Олардан басқа, әсіресе пегматиттерде цирконий мен титан минералдарының болуы тән (циркон, эвдиалит, титанит, ильменит және басқа).

Нефелин морыған кезде біршама оңай ыдырайды да шаймаланады. Алдымен ол жарғақ түріндегі ақ қалдық химиялық қирау өнімдерімен көмкеріледі, ал ақыр соңында нефелинұстамды таужыныстар жақпарының бетінде тесік қуыстар пайда болады. Нефелин кейде карбонат-иондарға қанық су әрекет еткенде канкриниттен, гиббситтен және цеолиттен тұратын қызғылт-қоңыр массамен алмасады да ол шпреуштейн деп аталады.

Нефелинді таужыныстар көбінесе ірі массивтер құрайды. Оңтүстік Оралда *Ильмен тауларындағы* гнейс тәрізді нефелинді сиенит (миаскит) массиві кеңінен белгілі. Миаскит пегматиттерінде әр түрлі сирек минералдардың көптеген кеніштері орналасқан. *Шиелі* тауларда да сілтілі пегматит желілері белгілі, мысалы *Курочкин лог*. Осы жерден ірі ет қызғылт нефелин бөлінімдері канкринитпен, альбитпен, калишпатпен, биотитпен, эгиринмен және ильменитпен бірлесе шыққан. *Хибинде* нефелинді таужыныстармен (уртит және рисчоррит) ірі апатит кенорны байланысты.

Нефелиннің ірі кристалдары Кузнецк Алатауында (Оңтүстік Сібір) *Қия-Шалтыр* массивінде нефелинге бай негізді таужыныстарда бар.

Практикалық мәні. Тұтас нефелин массалары және негізінен нефелиннен тұратын байыту фабрикаларының қалдықтары (апатитті және басқа пайдалы қазбаларды айырып алғаннан кейін қалатын) өнеркәсіптің сан түрлі салаларында пайдалануы мүмкін. Нефелин шамалы мөлшерде шыны өндірісінде сілтілер қоспай-ақ жасыл шыны алу үшін пайдаланылады. Керамика өнеркәсібінде далашпаттарды алуда алмастыра алады. Қышқылдарда біршама оңай ыдырайтындығына байланысты, байыту фабрикаларының нефелинді қалдықтары олардан алюмототық (Al_2O_3 мөлшері 31–34 % ауқымында болады) сондай-ақ силикагель, сода, ультрамарин және басқа өнімдер алу үшін пайданыла алады.

5. Содалит тобы

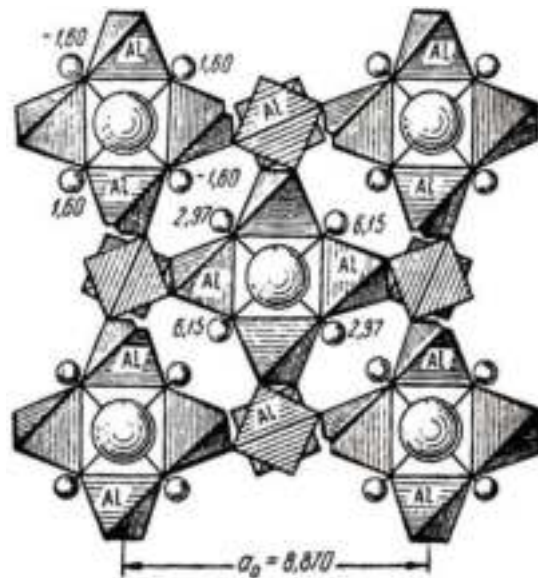
Кубтық сингонияда кристалданатын содалит тобының минералдары өзінің құрамы бойынша нефелин тобының минералдарына жақын, бірақ олардан айырмашылығы, құрамында қосымша аниондар ретінде Cl^- , S_2^{2-} , $[\text{SO}_4]^{2-}$ болады. Осыған сәйкес катиондар қатарына қосымша катиондар Na^{1+} және Ca^{2+} кіреді.

СОДАЛИТ – $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6\text{Cl}_2$ немесе $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$. Атауы минерал құрамында *натрий (сода)* болуына байланысты: *литос* грекше – тас. Топтың басқа да минералдары сияқты, лазуритті санамағанда, натрийге бай және кремнийтотыққа жұтаң магмалық таужыныстарда кездеседі.

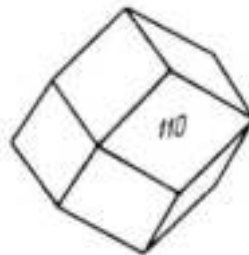
Химиялық құрамы, %: Na_2O –25,5; Al_2O_3 –31,7; SiO_2 –37,1; Cl –7,3. Шамалы мөлшерде және де K_2O , Ca_2O анықталады. Құрамында күкірт бар түрлесі гакманит деп аталады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексатетраэдрлік $3L^2_4L^3_6P$. Кеңістіктік тобы $P\bar{4}3n(Td^4)$. $a_0=8,87$. **Кристалдық құрылымы** нағыз қаңқалық (*360-сурет*). Cl иондары кубтың төбелері мен центрлерінде орналасып, алюмокремнийоттек қаңқасының кубоктаэдрлік қуысы центрінде тетраэдрлердегі кремний мен алюминийдің толық реттелуімен жайғасады. Натрий иондары тетраэдрлік топтамасымен қоршала отырып, $[\text{Na}_4\text{Cl}]^{3+}$ кластерлерін жасайды. Натрий иондары мұнда екі-екіден қаңқаның алтылық сақиналарында орналасады. **Кристалдарының келбеті** ромбододекаэдрлік (*361-сурет*). $\{110\}$ және $\{100\}$ жақтарынан жаралған. Басқа пішіндері өте сирек байқалады. Қосақтары көбінесе (111) бойынша, яғни қосақ осі қызметін үштік ось атқарады. **Агрегаттары.** Түйірлі массаларда да кездеседі.

Түсі. Түссіз немесе сарғыш, болмаса көкшіл реңді сұр, көктен күлгінге, жасылға дейін, жасыл, қызғылттан қызылға дейін. Гакманит жаңа жасалған омырылымында ашық-қызғылт түсті болып, ол жарықта бірнеше минут ішінде жойылады да солғын жасылтым-сұр түске алмасады. **Жылтырлығы** шыныша, омырылымында майша. $N=1,483$ –1,490.



360-сурет. Содалиттің куб жағына c осі бойынша проекциясындағы кристалдық құрылымы. Cl^{-} иондары (ірі шарлар) квадрат төбесінде O биіктігінде және ортасында $1/2c=4,435\text{Å}$ биіктігінде орналасады. Кіші шарлар – Na^{+} иондары (олардың қасындағы цифрлар салыстырмалы биіктігін көрсетеді). Тетраэдрлерден тұратын қаңқада алюмооттек AlO_4 топтары Al белгісімен көрсетілген. Көрнекілік үшін тетраэдрлердің жоғары және төмен орналасқан ұяшықтармен байланысты болуы тиіс төбелері сындырылып көрсетілген



361-сурет. Содалит кристалы

Қаттылығы 5,5–6. **Жіктілігі** $\{110\}$ бойыша айқын. Омырылымы бейтегіс. **Меншікті салмағы** 2,13–2,29.

Диагноздаушы белгілері. Басқа топтардың сілтілі силикаттарынан оптикалық изотроптылығымен айрықшалаанады. Бірақ нозеан мен гаюиннен химиялық реакциясыз ажырату өте қиын. Күңгірт түсті флюориттен қышқылдарда оңай ыдырайтындығымен оңай ажыратылады.

HCl қышқылында ериді, буландырған кезде сүзбе тәрізді кремний тотық бөледі. Егер минералға HNO_3 қышқылымен әсер етіп және содан кейін баяу буландырғанда заттық үстелшеде NaCl кристалшалары жаралады. Хлордың бар екенін сондай-ақ AgNO_3 қосылысымен де тексеруге болады.

Жаралуы және кенорындары. Содалит магмалық сілтілі таужыныстардың басым көпшілігінде эффузиялықтардың бастапқы минералы болып табылады.

Бастапқы магмалық содалит содалитті нефелинді сиениттің (тавиттің) бір бөлігі болып табылады да *Ловозерск* сілтілі массивінің (Кола түбегі) нефелинді сиениті арасында орналасады. Соңғы минерал ретінде нефелинді

және нефелинді сиенитте сілтілердің басқа алюмосиликаттарын жиі алмастырады, көбінесе олардың пегматиттерінде кездеседі (*Хибин және Ловозерск* массивтерінде, Кола түбегі). *Ильмен* және *Шиелі* тауларында (Оңтүстік Орал) ол нефелинді *пегматиттерде* көк түсті шағын шоғырлар және желішіктер түрінде канкринитпен бірлестікте, кейде анальцимдегі кірінділер түрінде байқалады.

Содалит сондай-ақ Алай жотасында *Тутека* және *Дарай-Пиоза* содалитті сиенит массивтерінде және Түркістан жотасында (Тәжікстан) *Тагобы-Сабах* өзені аңғарында, Приазовьенің (Украина) *Октябрьск* сілтілі таужыныстар (мариуполит) массивінде және басқа жерлерде белгілі. Әсіресе нефелинмен, альбитпен, канкринитпен, эгиринмен, цирконмен және басқа минералдармен бірлеседі. Тотығу белдемінде сілтілерге бай басқа да көптеген минералдар сияқты, біртіндеп ыдырайды.

НОЗЕАН – $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6[\text{SO}_4]\cdot\text{H}_2\text{O}$. Неміс геологы К. Нозе (XIX ғасыр) құрметіне аталған. Су цеолиттік сипатқа ие және өзгермелі мөлшерде болады.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексатетраэдрлік $3L^2_4L^3_6P$. Кеңістіктік тобы $P\bar{4}3n(Td^4)$. $a_0=9,07-9,11$. **Кристалдық құрылымы** содалиттікке жақын, бірақ қаңқасы хлормен салыстырғанда ірілеу сульфат-иондарының кіруінен айтарлықтай ажыратылған. Сульфат-иондар мен судың реттеліп таралуы құрылым симметриясының өзгеруіне әкеледі. Қасиеттері бойынша содалитке төтенше ұқсас.

Түсі сарғыш, жасылтым немесе көгілдір реңді сұр, кейде ақ. $N=1,495$.

Қаттылығы 5,5. **Жіктілігі** (110) бойынша орташа. **Меншікті салмағы** 2,28–2,4. Құрамында бөтен минералдар кірінділері жиі болады. Кристалдары осының салдарынан күшті шаймаланған жемірілген сияқты көрінеді.

Сілтілі магмалық таужыныстарда, негізінен эффузиялықтар кездеседі, мысалы *Канар* аралдарының сілтілі лавасында, Зеленый (Жасыл мүйіс) аралдарында, Минусинск ауданында (Хакасия), Албан тауларында (Италия) және басқа жерлерде. Интрузиялық таужыныстарда байқалған – *Илмаусак* (Оңтүстік Гренландия) және *Ловозерск* (Кола түбегі) нозеанды сиенит (науяит) сілтілі массивтерінде. *Турье* мүйісінде (Кола түбегінің Терск жағасы) Нозеан желілік сілтілі таужыныстарда (нозеанитте) басты таужынысжасаушы минерал болып табылады.

ГАЮИН – $\text{Na}_{4,5}\text{Ca}_2\text{K}[\text{AlSiO}_4]_6[\text{SO}_4]_{1,5}(\text{OH})_{0,5}$. Атауы француз кристаллографы Р.Ж. Гаюи (1752–1838) құрметіне берілген. Нозеанмен изоморфты араласқыштығы шектеулі.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексатетраэдрлік. Кеңістіктік тобы $P\bar{4}3n(Td^4)$. $a_0=8,90-8,921$. **Кристалдық құрылымы.** Содалитке изокұрылымды, бірақ қаңқасы күшті ажыраған. Құрамы бойынша әр түрлі катион-анион кластерлері реттелген, сондықтан шектеулі симметриясы төмендеген, бірақ шынайы кристалдарда әр түрлі бағытталған алқаптары (домендері) кезектесіп отырады. Сондықтан орташа кеңістіктік симметриясы содалиттікіндей. Додекаэдр және октаэдр келбетті кристалдарда кездеседі, бірақ көбінесе еріген және жұмырланған түйірлер түрінде.

Түсі ашық-көк, аспан-көк, жасылтым-көк, кейде сары және қызыл. Жылтырлығы шыныша омырылымында майша. $N=1,495-1,504$.

Қаттылығы 5,5. Жіктілігі $\{110\}$ бойынша орташа. Меншікті салмағы 2,4–2,5.

Гаюин Россия ауқымында лазуритті *Мало-Быстринск* кенорнында (Слюдянка өзенінде, Оңтүстік Прибайкалье) пегматиттің доломит жапсарындағы алмасу зонасында бар. *Монте-Сомма* жанартауы (Везувий) лавасында нефелинмен және лейцитпен бірлестікте, *Албан* тауларында (Италия) және басқа көптеген жерлерде кездеседі.

ЛАЗУРИТ – $\text{Na}_6\text{Ca}_2[\text{AlSiO}_4]_6(\text{SO}_4)_{1,4}\text{S}_{0,6}$. Атауы минералдың ашық-көк түсі бойынша берілген. Синонимдері: ляпис-лазурь, ультрамарин (жасанды). Құрамында кейде сульфит $[\text{SO}_3]^{2-}$ және полисульфид $[\text{S}_x]^{2-}$ иондары түрінде, мұндағы $x=2, 3$ және 4, сондай-ақ H_2S түрінде күкірт болуы мүмкін. Дәл осы полисульфид иондарымен ең қанық, қанық-көктен күлгінге дейінгі түсі байланысты.

Химиялық құрамы Мало-Быстринск кенорны лазуритіне, %: $\text{Na}_2\text{O}-16,8$; $\text{CaO}-8,7$; $\text{Al}_2\text{O}_3-27,2$; $\text{SiO}_2-31,8$; $\text{SO}_3-11,8$; $\text{S}-0,34$; $\text{Cl}-0,25$ және шамалы мөлшерде H_2O , SrO , MgO , K_2O , Fe_2O_3 және CO_2 .

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексатетраэдрлік $3L^2_44L^3_6P$. Кеңістіктік тобы $P\bar{4}3n(T_d^4)$. $a_0=9,05-9,10$. Сульфидтік және полисульфидтік күкіртке бай кейбір түрлестерінде сингониясы ромбылық, моноклиндік және триклиндік. **Кристалдық құрылымы** содалит құрылымына ұқсас, катион-анион кластерлері төмен симметриялы түрлестерінде реттелген. Кристалдары өте сирек, ромбоэдрлерден тұрады. Әдетте тұтас тығыз массаларда кездеседі.

Түсі қою көктен күлгінге дейін, кейде қызғылт, көгілдір немесе жасылтым-көк, жасыл. Жылтырлығы шыныша. $N=1,5$ шамасында (өзгермелі).

Қаттылығы 5,5. Морт. Жіктілігі $\{110\}$ бойынша жетілмеген. Меншікті салмағы 2,38–2,42.

Диагноздаушы белгілері. Лазуритке ең алдымен оның массасында да, жұқа шлифтерінде де қанық ашық-көк немесе көгілдір түсі тән. Көк содалитке ұқсас, бірақ парагенезистік қатынастары тіпті басқаша: содалит – сілтілі силикаттармен, лазурит – кальцитпен, доломитпен кездеседі. Содалиттен қышқылдармен ыдыратқан кезде H_2S бөлуімен де айрықшаланды.

HCl қышқылында ыдырап, H_2S бөледі (иісі бойынша сезіледі) және буландырғаннан кейін кремнийтотық тұнбасын қалдырады.

Жаралуы және кенорындары. Сирек кездесетін кенорындары сілтілі магмалық таужыныстардың (сиенит, гранит және олардың пегматиттері) карбонат таужыныстармен жапсарында орналасқан. Онымен бірлестікте кальциттен басқа жалтырланған үлгіде жақсы көрінетін ұсақ түйіршіктер түрінде пирит, сондай-ақ канкринит және басқалар (кварцтан басқасы) байқалады. Кейде сілтілі лавада анықталады (Везувий).

Россия аумағындағы белгілі *Мало-Быстринск* кенорны Оңтүстік Прибайкальде Слюдянка өзеніндегі Тункинск тауларында орналасқан. Мұнда

лазурит метасоматоздық жолмен пегматит пен доломит таужыныстары аралығындағы реакция нәтижесінде жаралған. Мұнда оған ашық түсті диопсид, скаполит, флогопит және кальцит, канкринит, кейде пирит және сомтума күкірт ілеседі. Лазуриттің алғашқы табылымдары бұл ауданда 1784 жылы жасалған (жергілікті шаруалардың көрсетуі бойынша).

Ең белгілі өте көне кенорынға Бадахшандағы (Ауғанстан) *Сары-Санг* кенорны жатады, оны кезінде Марко Поло (1271 жылы) сипаттаған. Мұнда әр түрлі реңді лазурит (көктен көгілдірге дейін) метасоматоздық жолмен әктастарда жаралған. Осындай *Ляджварда* кенорны Сары-Лангқа жақын жерде Батыс Памирде (Тәжікстан) орналасқан.

Практикалық мәні. Әсем зергерлік тас ретінде лазурит өзіне ежелден назар аударған. Бұл тас туралы әр түрлі елдерде көне ғасырлар жазушылары көптеген мәліметтер қалдырған. Ежелгі Грекияда және Рим империясында лазурит берік әрі әсем бояу даярлау үшін шикізат ретінде пайдаланылған.

Лазуриттен жасалған табақ, қобдиша, сақина, мүсін, тұмар және көптеген басқа көне бұйымдар кеңінен белгілі. XVII ғасырда лазуритті тас құнды заттарды, жиһаздарды және қабырғаларды безендіру үшін қолданылған. Жұқа қаптама материал түрінде ол алтынмен, қоламен және басқа металдармен бірге әшекейлеуге тұтынылған. Әсіресе шашыратқы түсті пирит сеппелері бар түрлесі бағалы саналған. Бұл тасты біз Санкт-Петербургтегі Исакий шіркеуінде, Қысқы сарай қабырғаларында, Эрмитажда вазалар, үстелдер және басқалар түрінде кездестіреміз.

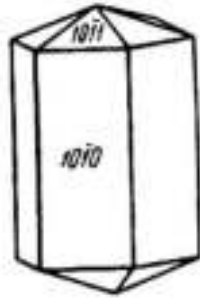
6. Канкринит тобы

Бұл топқа жататын минералдар бірқатар қасиеттері бойынша нефелин тобына өте жақын. Одан химиялық құрамы бойынша $[\text{CO}_3]^{2-}$ және $[\text{SO}_4]^{2-}$ түрінде қосымша аниондар болуымен айрықшалаанады.

КАНКРИНИТ – $\text{Na}_6\text{Ca}_2[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Россияның қаржы министрі Е.Ф. Канкрин (XIX ғасыр) құрметіне аталған. Химиялық талдау деректеріне сай құрамында қосымша ретінде CO_3 анион тобы бар *канкринитпен* және құрамында қосымша SO_4 анионы бар *вишневит* (сульфат-доминантты канкринит) аралығында үзіліссіз қатар бар. Сондай-ақ *гидроксиканкринит* $\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}](\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ анықталған.

Химиялық құрамы тұрақсыз, %: SiO_2 33,7–34,7; Al_2O_3 29–29,4; Na_2O 15,6–18,9; CaO 1,2–4,2; K_2O 1,4–5,1 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}$) қосындысы азайған сайын жоғарылайды); CO_2 0,3–6,3; SO_3 4,6–6,2 (сульфат-канкринитте); H_2O 3,9–7,6.

Сингониясы гексогондық; симметрия түрі гексагон-пирамидалық L^6 . Кеңістіктік тобы $P6_3(C^6_6)$. $a_0=12,75$; $c_0=5,18$. Кристалл құрылымында каналдың екі түрі болады, олар $[(\text{Si},\text{Al})\text{O}_4]$ -тетраэдрлерінің алтылық сақиналарынан және алтылық пен төрттік сақиналардан тұрады. **Кристалдарының келбеті.** Кристалдары сирек кездеседі, әдетте призмалар түрінде доғал дипирамида жақтарымен (362-сурет). **Агрегаттары.** Канкринит әдетте тұтас массаларда, кейде нефелин төңірегінде оның өзгерген өнімі түрінде байқалады.



362-сурет. Канкринит кристалы

Түсі ақ, сары, сарғыш немесе жасылтым реңді сұр, кейде қызғылт (микроскоптық Fe_2O_3 қабыршақтары болуынан), вишневит-сұр, ашық-көгілдір немесе көкшіл-көгілдір, көк (түссіз түрлестері де болады). **Жылтырлығы** жіктілік жазықтықтарында інжуше реңді, шыныша, жіктіліксіз омырылымында – майша. Карбонат-канкринит үшін: $Nm=1,515-1,524$; $Np=1,491-1,502$; Вишневит үшін: $Nm=1,489-1,530$; $Np=1,488-1,535$.

Қаттылығы 5–5,5. Морт. **Жіктілігі** {1010} призма бойынша айқын немесе жетік. **Меншікті салмағы** 2,42–2,48.

Диагноздаушы белгілері. Канкринит әдетте нефелинді таужыныстарда кездеседі. Өзі жаралатын нефелиннен жіктілігі болуымен ажыратылады. Вишневит көкшіл-көгілдір түсті және жіктілігі бойынша оңай танылады.

НСІ қышқылында пышылдап ериді. Сүзбе тәрізді кремнийтотық қайнатқан және буландырған кезде ғана тұнады.

Жаралуы және кенорындары. Постмагмалық сатыда көмірқышқыл немесе күкіртқышқыл ерітінділердің бұрын кристалданған нефелин массасына әрекет еткен кезде жаралады. Өз кезегінде канкринит көбінесе өзгеріске ұшырайды да слюдаларға, цеолиттерге карбонаттарға және басқаларға өтеді.

Мору қыртысында нефелин сияқты қирайды. Бастапқыда ұнтақ қабыршақ түрінде цеолиттер жаралса, соңына қарай галлуазит жаралады.

Ильмен және *Шиелі* тауларында (Орал) карбонат-канкринит пен көгілдір вишневит нефелинді пегматиттерде кездеседі, көбінесе содалитпен, кальцитпен, цеолиттермен, гиббситпен, алмасудан сақталып қалған нефелин қалдықтарымен және басқа минералдармен бірлестікте. *Тункинск* тауларында (Пибайкалье) канкринит гранит арасында цирконмен, кальцитпен және магнетитпен бірге кездеседі. *Даху-Унур* массивінің (Сангилен қыраты, Тыва Республикасы) сілтілі пегматиттерінде канкринит 1 метрге дейінгі кристалдар жасайды. Канкринит пен гидроксиканкринит *Хибин* және *Ловозерск* массивтерінде (Кола түбегі) таужынысжасаушы минералдар ретінде фельдшпатоидты сиениттің кейбір түрлестерінде байқалған. Канкринитті сиенит *Арбарастах* комплексті ультраанегізді-сілтілі карбонатит массивінде (Алдан қалқаны) дамыған. Шетелде негізінен нефелинді сиенитпен генетикалық-байланыста белгілі.

7. Гельвин тобы

Мұнда гельвин тобының қаңқалы бериллсиликаттары қарастырылады. Фельдшпатоидтардан айырмашылығы, оларға содалит тобының барлық өкілдері жатады. Гельвин тобы минералдары бериллсиликаттар болғандықтан, оттек иондарының тетраэдрлік катиондар жағынан (Be^{2+}) валентті күшке қанықпағандығымен сипатталады. Ол тысқаңқалық катиондардың жоғарылау зарядын өтемелейді, бұл катиондар қызметін қанық бояу жасайтындар – өтпелі металдар және мырыш атқарады. Бұл топ минералдарының фельдшпатоидтар арасындағы жағдайы біршама шартты, мұндай қадамға негіз болатыны – олардың содалит тобы минералдарына құрылымдық ұқсастығы. Гельвин тобының шеткі үш мүшесінің аралығында шексіз изоморфизм болады, сондықтан үш минерал түрінің біріне жатқызу катион позициясындағы басым металл бойынша жүргізіледі.

ГЕЛЬВИН – $\text{Mn}_8[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$. Түсі бойынша, грекше *гелиос* – Күн дегеннен аталған.

ДАНАЛИТ – $\text{Fe}_8[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$. АҚШ минералогы Дж. Д.Дэна (Dana) (1813–1895) құрметіне аталған.

ГЕНТГЕЛЬВИН – $\text{Zn}_8[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$. Гельвинмен ұқсастығы және минералды алғаш ашқан А. Гент (1820–1893) құрметіне аталған.

Сингониясы кубтық; симметрия түрі гексатетраэдрлік. **Кристалдық құрылымы** содалит құрылымына ұқсас. Тетраэдр кристалдары немесе шар тәрізді массалар түрінде кездеседі.

Түсі сары, бал-сары, янтарьдай, жиреннен сары- және қызыл-қоңырға дейін, сирек жасыл (гельвин), шие-қызыл, қызыл-қошқыл, сары-қошқыл, сұр (даналит), жасыл, көгілдір-жасыл, сары-жасыл, кейде қызыл, қызғылттан күлгінге дейін (гентгельвин). **Сызығы** ақ. Шаламөлдір. **Жылтырлығы** шыныша күшті, шайыршадан балауызшаға дейін. $N=1,728-1,749$ (гельвин); $1,734-1,750$ (гентгельвин) және $1,737-1,771$ (даналит).

Қаттылығы 6–6,5. Омырылымы бейтегіс, ұлуша. **Жіктілігі** {111} бойынша білінеді. **Мен. салмағы** 3,2–3,45 (гельвин); 3,27–3,52 (даналит) және 3,55–3,7 (гентгельвин).

Диагноздаушы белгілері. Анартасқа өте ұқсас, бірақ құрамында күкірт болуымен ажыратылады. Ол күкірт бауырына реакция көмегімен немесе H_2SO_4 қышқылында As_2O_3 қосылысымен ұнтақты қайнатқанда оңай анықталады (гельвин ашық сары As_2O_3 жұғындысымен көмкеріледі).

Бурамен Mn-ке реакция береді. HCl қышқылында H_2S бөліп ериді, буландырған кезде сүзбе тәрізді кремнийоттек тұнбасын жасайды.

Жаралуы және кенорындары. Гельвин пегматит желілерінде кварцпен, альбитпен және амазонитпен бірлестікте *Ильмен* тауларында (Оңтүстік Орал) және *Батыс Кейвыде* (Кола түбегі) кездеседі. Гельвин мен гентгельвин сілтілі граниттің литийлі пегматиттерде *Коргере-Даба* (Тыва Республикасы) массивінде кездескен. Питкьярант ауданындағы (Солтүстік Приладожье) *Люпико* кенорнында гельвин мен даналит грейзенденген везувиан-диопсид-магнетит-хлорит-флюорит скарндарында бериллийдің

басқа минералдарымен және сульфидтермен бірге байқалған. Даналит альбитпен, мусковитпен, пиритпен және касситеритпен бірге қалайылы *Ново-Дурулгуй* кварц желілерінде (Чита облысы) кездеседі.

Украинада гельвин *Пергл* (Житомир облысы) бериллийлі метасоматиттерінде бар. Норвегияда *Лангезундфиорд* ауданындағы авгитті сиенитте кездескен. АҚШ-та *Амелия Курт* (Вирджиния) маңындағы кейбір слюдалы кеніштерде белгілі, ал айтарлықтай массаларда – риолит пен граниттің әктаспен *жапсар зоналарында* магнетитпен және флюоритпен бірлестікте *Сиерра* және *Сокорро* кенорындарында (Нью-Мексико штаты).

Практикалық мәні. Айтарлықтай шоғырлар жасаған жағдайларда бериллийге руда ретінде өнеркәсіптік мәнге ие.

8. Цеолиттер тобы

Мұнда минералдардың үлкен тобы жатады. Олар шын мәнінде негізінен Са және Na, кейде Ba, Sr, K және өте сирек Mg және Mn сулы алюмосиликаттары болып табылады. Элементтер тізімі бойынша, бұл топтың химиялық жағынан жоғарыда қарастырылған сусыз алюмосиликаттарға тікелей қатысы бар. Цеолиттерге жоғарыда қарастырылған анальцимді де жатқызуға болады.

Бұл қосылыстарға қатысатын элементтердің жалпы саны шамалы, бірақ минералдар түрінің аса көп саны кездеседі. Олар бір-бірінен құрамындағы судың мөлшері бойынша ғана емес, сондай-ақ катиондардың өзара қатынасы ажыратылады да бұл катиондар қарапайым химиялық формулаға сыймайды. Жалпы химиялық формуласы былайша бейнелене алады: $A_mX_pO_{2p} \cdot nH_2O$, мұндағы $X=Si, Al$. Сілтілер мен кремний тотықтың әр түрлі мөлшері аралығында қандайда бір белгілі қатынас байқалмайды.

Қарастырылатын топ минералдарын сипаттайтын анион радикалдарының түрлі типтері туралы біздің түсінікте әлі көп жағдай толық анық емес. Дегенмен цеолиттер бірқатар ортақ нағыз өзіндік қасиеттерге ие болады да олар ерекше топты немесе туыстықты құрайтыны ешқандай күдік туындатпайды. Рентгенметрлік зерттеулер көрсеткендей, олардың кристалдық құрылымы алюмокремнийоттек тетраэдрлері қаңқасынан тұрады. Олар қаңқалық құрылымның басқа типтерінен мынасымен ажыратылады – олардың қуыстары кеңдеу «каналдардан» тұрады. Осындай ашықтау кристалды қатаң негіз құрамында онымен нашар байланысқан су молекулалары болады. Ептеп қыздырған кезде су біртіндеп кристалдық құрылымды жалпы қиратпай кетіріледі. Бір қызығы, осындай жолмен кетірілген су осының артынша бұрынғы шамасына дейін қайтадан жұтылуы мүмкін немесе басқа заттардың (күкіртсутектің, этил спиртінің, аммиактың және басқалардың) молекуласымен алмастырылады. Мұндағы кристалдық орта біртектілігін сақтайды да тиісінше оптикалық қасиеттері ғана өзгереді. Осыдан келіп, әрине, цеолиттердегі судың мөлшері өзгермелі шама болып табылады да сыртқы жағдайларға (қоршаған ортадағы температура мен су буының серпімділігіне) тәуелді болады. Цеолиттік деп аталатын су дәл

осысымен кристалдықтан айрықшаланады, қыздырған кезде су қандай бір белгілі температурада секіріспен емес, біртіндеп бөлінеді.

Көптеген цеолиттерде айқын білінген басқа өзіндік ерекшелігіне катиондар аралығындағы алмасудың жеңілдігі жатады. Бұл катиондар кристалдық тор қаңқасының теріс зарядын және қоршаған су ерітіндісіндегі катиондары тепе-теңдікке келтіреді. Ерітіндінің осы немесе басқа катиондары цеолит қаңқасы арасындағы «қуыстарда» орналасатын катиондары олардың құрылымын бүлдірмей ығыстырып шығаруға қабілетті. Бұл қасиеті практикада, негізінен жасанды даярланатын цеолиттерді пермутит (жасанды алюмосиликат) ретінде кермек суды жұмсарту үшін пайдаланылады.

Далашпаттардың «жабықтау» қаңқалы құрылымына керісінше (далашпаттарда әр «бос» ұяшықты катиондар алып жатады) цеолиттер құрылымында бос кеңістіктер толық пайдаланылмайды. Химиялық талдау деректерін құрылымдарға сәйкес салыстырған кезде мынау анықталады: әдетте далашпаттарда байқалатын катиондардың жалпы зарядын, иондарының саны мен көлемін сақтай отырып алмасу типінен басқа (мысалы, NaSi-CaAl немесе KSi-BaAl), цеолиттерде алмасудың Ca-Na , Ba-K_2 , $\text{NaCa}_2\text{-Na}_3\text{Ca}$ сияқты басқа типі болады.

Көретініміздей, мұндай жағдайларда алмасатын катиондардың жалпы заряды алмастыратын теңшамалыға жуық катиондардың зарядымен бірдей болады, бірақ иондарының саны әр түрлі. Әрине, цеолиттердің кристалдық құрылымы мұндай текті орын ауыстырулар үшін белгілі бір бос кеңістікке ие болады.

Цеолиттер тобының минералдары сусыз алюмосиликаттармен салыстырғанда төмен қаттылығымен, аз меншікті салмағымен, аздау сыну көрсеткіштерімен және қышқылдарда оңайлау ерігіштігімен сипатталады. Олардың көпшілігі дәнекерлеуші түтік алдында күмпиеді, олардың атауы да осыған байланысты шыққан: грекше *цео* – қайнау, күмпию.

Олардың жаралу жағдайларында да біз көптеген ортақтықты табамыз. *Эндогендік* процестерде олар төмен қысым жағдайларында гидротермалық процестердің ең соңғы төмен температуралық сатысында пайда болады да көпшілігінде кальцитпен, халцедонмен, кварцпен, гиббситпен және басқа минералдармен бірлестікте кездеседі. Олар әдетте гидротермалық өзгерген магмалық таужыныстарда, жиі көпіршікті эффузиялық (мандельштейнде), әсіресе базальтта (су астында атқылағанда), содан кейін пегматиттерде кездеседі. Пегматиттерде олар қуыстарда соңғы минералдар қатарында немесе метасоматоздық жолмен бұрын бөлініп шыққан минералдар (далашпаттар, нефелин және басқа) есебінен жаралады. Бірқатар гидротермалық руда кенорындарында және кейбір қазіргі ыстық су көздері түзілімдерінде кездеседі.

Экзогендік жағдайларда да цеолиттер кең дамуға ие болады. Мысалы, цеолиттердің топырақта жаралғандығына да сілтемелер бар. Цеолиттер жаңажаралымдар ретінде жас шөгінді таужыныстарда кездеседі.

Цеолиттердің табиғи да, синтетикалық да жаралымдары өнеркәсіпте кең қолдану табады, әсіресе химия саласында катализаторлар отырғызатын бет материалы ретінде, сорбенттер (оптауыштар), мұнай өнімдерін ажырату үшін ионалмастырғыштар және молекулалық елеуіштер рөлінде, вакуум сораптарда және басқа.

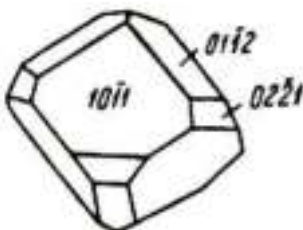
ШАБАЗИТ-Са – $(Ca, K_2, Na_2, Sr)[Al_2Si_4O_8] \cdot 6H_2O$. Атауы *хабазит* деген сөзден шыққан, осылайша грек ақыны Орфей жырлаған бір тас аталған көрінеді. Синонимі: хабазит. Катиондық позицияда келтірілген элементтердің әр бірінің басым кездесуіне байланысты түрлі даналары анықталған. Осыған байланысты және үш минерал түрі бөлінген, олар тиісінше жұрнақтарымен ажыратылады.

Химиялық құрамы тұрақсыз тіпті бір кенорыннан алынған үлгілерінің өзінде әр түрлі. Шамалы мөлшерде сондай-ақ Ва және Sr болады.

Сингониясы тригондық. **Кристалдарының келбеті** ромбоэдрлік, кубқа жақын (363-сурет). Кірігу қосақтары жиі, көбінесе қырқаларында үш жақты бұрыштарымен көрініп тұрады. Көбінесе кристалдар друзасы, қабыршақтар, секрециялар және тығыз агрегаттар түрінде кездеседі.

Түсі қызғылт немесе қошқыл реңді ақ. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,480-1,490$; $N_m=1,478-1,485$.

Қаттылығы 4–5. Морт. **Жіктілігі** ромб бойынша айқын. **Мен. салмағы** 2,08–2,16.



363-сурет. Шабазит кристалы

Диагноздаушы белгілері. Шабазитке ромбоэдр кристалдары және ромбоэдр бойынша жіктілігі, жақтары аралығындағы бұрыштың тікке жақындығы тән. Осы белгілері бойынша ол барлық дерлік басқа цеолиттерден ажыратылады. Кальциттің қаттылығы төмендеу және ол HCl қышқылына қатысты оңай білінеді.

HCl қышқылында ұйық тәрізді кремнийоттек бөліп ыдырайды.

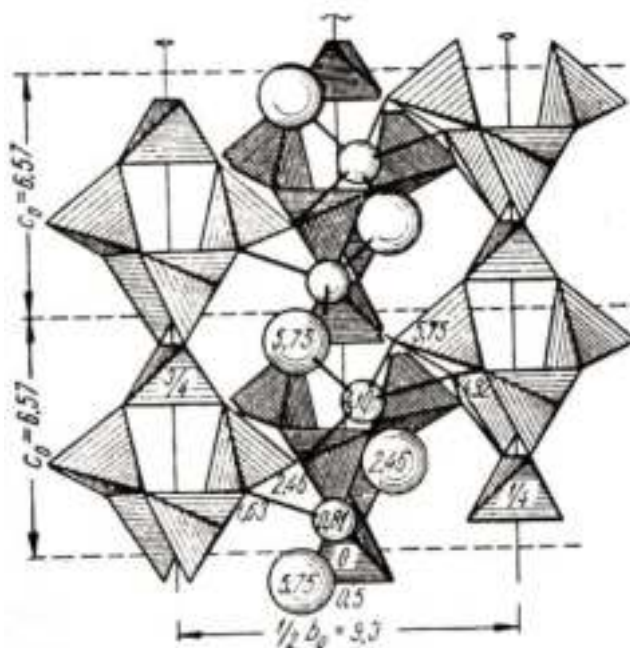
Жаралуы және кенорындары. Көптеген елдерде көбінесе жекелеген кристалдар мен қабыршақтар түрінде кездеседі, ол кальцитпен бірге бадамшалар құрамында көпіршікті базальттың, фонолиттің және басқа эффузиялық таужыныстардың дөңгеленген қуыстарында орналасады. Көбінесе *филлипситпен* $KCa[Al_3Si_5O_{16}] \cdot \sim 8H_2O$, кальцитпен және басқа минералдармен бірлестікте болады. Гидротермалық өңделген негізді құрамды туфта *Төменгі Тунгуска* өзені алабында (Эвенкия, Красноярск өлкесі), *Хибин* сілтілі массивінің (Кола түбегі) пегматиттерінде белгілі. Шабазиттің мол бөлінімдері стильбитпен және кальцитпен бірге *Соколов-Сарыбай* (Қостанай облысы, Қазақстан) темір рудалы кенорны скарндары арасындағы қуыстарда байқалады. Исландияда моллюскілердің қазба

жарғақтарында кездескен. Кейбір ыстық су көздерінің сағасында мол жаралады.

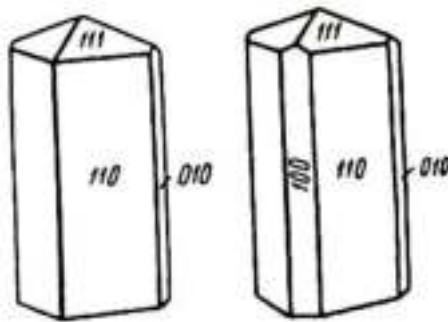
НАТРОЛИТ – $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. «Натролит» деген атауды Клапрот берген, оның аудармасы – натрлы тас дегенді білдіреді.

Химиялық құрамы, %: Na_2O –16,3; Al_2O_3 –26,8; SiO_2 –47,4; H_2O –9,5. Кейде Fe_2O_3 және де K_2O болады.

Сингониясы ромбылық; симметрия түрі пирамидалық L^2P . Кеңістіктік тобы $Fdd2(C^{19}_{2v})$. $a_0=18,3$; $b_0=18,6$; $c_0=6,57$. **Кристалдық құрылымы**. Негізгі құрылымдық элементтеріне $[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ тобы жатады. Бұл топ құрамы $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ қосымша SiO_4 тетраэдрлі немесе онымен кезектесетін AlO_4 тетраэдрлі төрт тетраэдр сақиналарынан тұрады (364-сурет). Бұл топтар үзіліссіз тізбектер түрінде c осі бойында орналасады да бір-бірімен $(\text{Si,Al})\text{O}_4$ тетраэдрлерінің бос төбелері көмегімен байланысады. Жалпы төрт осындай тізбек бұранда ось төңірегінде орналасады (364-суретте сызба жазықтығы үстіндегі тізбек қана көрсетілген). H_2O молекулалары әрбір қосарланған бұранда осі төңірегінде c осіне параллель ирелең тәрізді тізбек жасайды. Натролитте басқа цеолиттер сияқты, Na иондары қоршаған ерітінділерден басқа катиондармен алмасуы мүмкін. Na^{1+} иондары төрт O^{2-} ионымен және екі H_2O молекуласымен қоршалған. **Кристалдарының келбеті** әдетте бағана тәрізді. Кристалдары қарапайым, призманың $\{110\}$, кейде пинакоидтардың $\{010\}$, $\{100\}$ және дипирамиданың $\{111\}$ жақтарынан жаралған (365-сурет). Қосақтары (110) бойынша, және де (100) бойынша. **Агрегаттары**. Радиал-сәуле агрегаттарда немесе кристалл қабыршақтары түрінде жиі кездеседі, кейде жасырын кристалды-халцедон тәрізді.



364-сурет. Натролиттің кристалдық құрылымы. Діңгек бөлігінің (100) жазықтығына проекциясы. Тік бағыт бойынша екі элементар ұяшығы келтірілген. Байланысқан тетраэдрлердің ортаңғы тік тізбегі сызба жазықтығының артында орналасып, күңгірттеу көрсетілген. Ірі шарлар - H_2O молекулалары ұсақ шарлар - Na^{1+} иондары



365-сурет. Натролит кристалдары

Түсі. Түссіз немесе сарғыш, жасылтым және қызғылт реңді ақ. **Жылтырлығы** шыныша, талшық массаларда – жібекше. $N_g=1,485-1,493$; $N_m=1,476-1,482$; $N_p=1,473-1,480$.

Қаттылығы 5–5,5. Морт. **Жіктілігі** {110} бойынша орташа. **Мен. салмағы** 2,2–2,5.

Диагноздаушы белгілері. Макроскоптық түрде басқа пішіні мен табылу жағдайлары бойынша ұқсас цеолиттерден ажырату қиын. Дәл ақтау үшін оптикалық константаларын өлшеуге, рентгенметрияға немесе химиялық талдауға жүгінуге тура келеді.

Су 300°C -қа дейін қыздырған кезде толық кетіріледі, ал салқындатқан кезде қайта жұтылады. HCl қышқылында сүзбе тәрізді кремнийототық бөліп ериді.

Кенорындары. Эффузиялық магмалық таужыныстардың (базальттың) бадамшалары мен жеодаларында жиі кездеседі. Нефелиннің гидротермалық өзгеру өнімі ретінде, сондай-ақ радиал-сәуле агрегаттарда *Шиелі* және *Ильмен* тауларындағы (Орал) нефелинді сиенит пегматиттерінде белгілі. Соңғы гидротермалық желілерде және сілтілі пегматиттер ядроларында *Хибин* және *Ловозерск* (Кола түбегі) нефелинді сиенит пегматиттерінде өте кең таралған, мұнда ол альбитпен, калишпатпен, эвдиалитпен, апатитпен және анальциммен бірлестікте кездеседі.

СКОЛЕЦИТ – $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Грекше *сколекс* – құрт. Дәнекерлеуші түтікше алдында құрт тәрізді қисаятын қасиеті бойынша аталған.

Химиялық құрамы, %: CaO–14,3; Al_2O_3 –26; SiO_2 –45,9; H_2O –13,8.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі диэдрлік бейосьті P. Кеңістіктік тобы $Cc(C^4_s)$. $a_0=5,67$; $b_0=6,54$; $c_0=18,44$. Жалған тетрагондық. **Кристалдық құрылымы** натролит құрылымына жақын, натрийдің екі атомы кальцийдің бір атомына алмасқан. **Кристалдарының келбеті** бағанаша, {110}, {111}, сондай-ақ {010} жақтары дамыған. Кристалдарының түрі бойынша натролиттен ажыратылмайды. Қосақтары (100) бойынша, {010} жақтарында айғыздалған. **Агрегаттары** ине, радиал-сәуле тәрізді. Талшықты сферолит массаларда да байқалады.

Түсі. Сколецит түссіз немесе ақ. **Жылтырлығы** шыныша, талшық массаларда жібекше. $N_g=1,519$; $N_m=1,518$; $N_p=1,512$.

Қаттылығы 5–5,5. Морт. **Жіктілігі** {110} бойынша орташа. **Мен. салмағы** 2,2–2,4.

Диагноздаушы белгілері. Химиялық талдау деректерінсіз натролиттен ажыратылмайды, онымен көбінесе тығыз кірікпелер жасайды, кейде бір кристалл дарағы ауқымында.

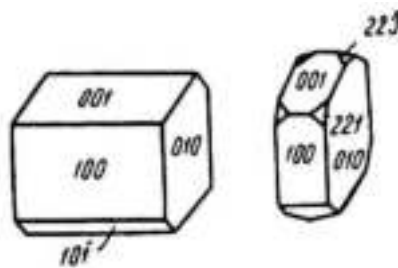
НСІ қышқылында сүзбе тәрізді кремнийтотық жасап ыдырайды.

Кенорындары. Россияда *Шиелі* тау (Орал) сілтілі пегматиттерде соңғы минерал ретінде кездескен. Көпіршікті базальт лавасында бадамшалар мен жеодалар түрінде *Төменгі Тунгуска* (Эвенкия, Красноярск өлкесі) алабында, *Исландияда* және *Колорадо* штатында (АҚШ) кең таралған. Ірі кристалдары *Пунада*, Бомбейдің оңтүстік-шығысында (Индия) кездескен.

ГЕЙЛАНДИТ-Са – $(Ca, Sr, K_2, Na_2)[Al_2Si_6O_{16}] \cdot 5H_2O$.

Химиялық құрамы, %: CaO–9,2; Al_2O_3 –16,8; SiO_2 –59,2; H_2O –14,8. Әдетте Na_2O , K_2O –3,5 % шамасына дейін, жиі SrO_2 (кейде 6,3 %-ке дейін) және BaO (2,5 %-ке дейін) болады. Бұл топ қатты ерітінділерінің сиректеу шеткі мүшелері бөлінеді: гейландит-К және гейландит-Sr.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық. **Кристалдық құрылымы** қабатты құрылым элементтеріне ие. **Кристалдарының келбеті** изометрлі немесе тақташа (366-сурет); әдетте олар жекелене кездеседі. Басым пішіндері: {010}, {001}, {100} және {101}. **Агрегаттары.** Көбінесе парақшаланған массаларда парақшаларының параллель кірігуімен, сәуле-парақша агрегаттарда қуыстардағы секрециялар түрінде байқалады.



366-сурет. Гейландит кристалдары

Түсі. Түссіз немесе ақ, сары, кірпіш-қызыл (микроскоптық Fe_2O_3 кірінділерге байланысты). **Жылтырлығы** шыныша, жіктілік жазықтықтарында інжуше. $N_g=1,505$; $N_m=1,459$; $N_p=1,498$.

Қаттылығы 3,5–4. Морт. **Жіктілігі** {010} бойынша жетік. **Мен. салмағы** 2,18–2,22.

Диагноздаушы белгілері. Басқа цеолиттерден кристалдарының өзіндік қалақша келбеті, жетік жіктілігі, інжуше құлпырымы және қалақша-түйірлі агрегаттары бойынша ажыратылады.

НСІ қышқылында сүзбе тәрізді кремнийтотық бөліп оңай ыдырайды.

Кенорындары. *Төменгі Тунгуска* алабында (Сібір) *Нидым* және *Гончак* өзендері траптары қуыстарында кальцитпен, анальциммен, апофиллитпен және стильбитпен бірге таралған. Эффузиялық таужыныстар (базальт және басқа) қуыстарында кездеседі, мысалы Исландияда. Аракідік *Андреасберг*

(Гарц, Германия), *Конгсберг* (Норвегия) және басқа кенорындардың күмісті желілерінде байқалған.

ФИЛЛИПСИТ-К – $(K_2, Ca, Na_2, Ba)_{2-3}[Al_{4-6}Si_{19-9}O_{32}] \cdot 12H_2O$.

Химиялық құрамы, %: SiO_2 44–48; Al_2O_3 22–24; CaO 3–8; K_2O 4–11; Na_2O 6; H_2O 15–17. Бұл топта және де тиісті катиондарының басымдығына қарай филлипсит-Са және филлипсит-На бөлінеді.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . **Кристалдарының келбеті** бағанаша (a осінің бойымен). Қарапайым кристалдары сирек. Әдетте қосақтары байқалады, ромб және квадрат қималары жиі, сондай-ақ ширекшеліктері кездеседі (367-сурет), кейде айқыш тәрізді қималы $\{010\}$ бойынша, b (010) және m (110) аралығындағы қырына параллель айғызды. Күрделілеу қосақ кірікпелері кездеседі.



367-сурет. Филлипсит ширекшелігі

Түсі. Түссіз немесе сұрғылт, жасылтым және қызғылтым реңді ақ түсті. **Жылтырлығы** шыныша. $N_g=1,503$; $N_m=1,500$; $N_p=1,498$.

Қаттылығы 4–4,5. Морт. **Жіктілігі** $\{001\}$ және $\{010\}$ бойынша біршама айқын. **Мен. салмағы** 2,2.

Диагноздаушы белгілері. Қосақтарының пішіндері тән. Сиректеу кездесетін гармотом мен стильбитке өте ұқсас, бірақ олардан оптикалық константалары бойынша ажыратылады.

НСІ қышқылында ұлпа немесе сүзбе тәрізді кремнийтотық бөліп ериді.

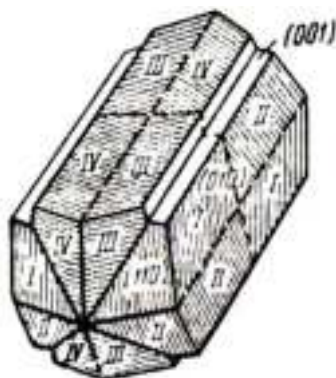
Кенорындары. Көптеген басқа цеолиттер сияқты эффузиялық, атап айтқанда сілтілі таужыныстардың (лейцитті базальт және басқа) қуыстарында бадамшалар, секрециялар түрінде қуыстар қабырғасында кездеседі. Мысалы, *Монте-Сомма* (Везувий) лавасында, Сицилияда, Исландияда және басқа жерлерде. Және де Тынық мұхиттың қазіргі терең сулық шөгінділерінде жаралады, жанартау күлінің (барлық шөгіндінің 20–30 % шамасы) ыдырау өнімі ретінде.

ГАРМОТОМ – $(Ba, K_2, Na_2, Ca)_5[Al_{10}Si_{22}O_{64}] \cdot 24H_2O$.

Сингониясы моноклиндік. Қимасы айқыш тәрізді қосақтары төтенше тән, олар филлипсит қосақтарына ұқсас a осі бойымен созылған (368-сурет).

Түсі сұрғылт немесе сарғыш реңді ақ түсті, сондай-ақ қошқыл, қызыл. $N_g=1,508$; $N_m=1,505$; $N_p=1,503$.

Қаттылығы 4,5. **Жіктілігі** $\{010\}$ бойынша белгілі, $\{001\}$ бойынша жетілмеген. **Мен. салмағы** 2,44–2,5. НСІ қышқылында ұнтақ сияқты кремнийтотық бөліп ыдырайды.

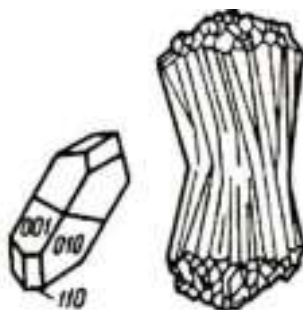


368-сурет. Гармотомның айқыш тәрізді ширекшелігі

Басқа цеолиттермен ұқсас жағдайларда, негізінен эффузиялық магмалық таужыныстарда, кейде гнейсте және кейбір гидротермалық руда кенорындарында кездеседі. Цеолиттерге тән бірлестікте негізді эффузиялық таужыныстар қуыстарында Красноярск өлкесінің солтүстігіндегі *Воеволи-Хан* өзені аңғарында анықталған. Гармотом кальцитпен, хлоритпен, натролитпен және басқа цеолиттермен бірге *Африканданың* (Кола түбегі) құрамында сілтілі пироксен мен амфибол, магнетит пен перовскит бар якупирангит қуыстарында болады. Оның табылымдары *Андреасберг* кенорнында (Гарц, Германия) галенитпен, сфалеритпен, кварцпен және басқалармен; *Строншиан* төңірегінде (Шотландия) кальцитпен, галенитпен және басқалармен бірге байқалған.

СТИЛЬБИТ – $(Ca,Na_2)[Al_2Si_6O_{16}] \cdot 6H_2O$. Грекше *стильбе* – жалтыраймын. Синонимі: десмин.

Сингониясы моноклиндік; симметрия түрі моноклиндік-призмалық L^2PC . Кеңістіктік тобы $C2/m(C^3_{2h})$. Кристалдары жалпайған ұзыншақ призма-пинакоид. Қосақтар түрінде жиі кездеседі (369-сурет), көбінесе филлипсит пен гармотом сияқты – ширекшеліктеріндегі қимасы айқыш тәрізді. Бұл күрделі қосақтанған кристалдары әдетте бау тәрізді агрегаттар пішініне ажыратылады (369-суретте), осыған байланысты минерал өзінің екінші атауын да алған (грекше *десме* – бау, бума).



369-сурет. Стилльбит. Сол жағында – кірігу қосағы (001) қосақтық жазықтығымен; оң жағында – бума тәрізді қосақтанған дарақтар агрегаты

Түсі сарғыш немесе реңді ақ. **Жылтырлығы** шыныша, жіктіліктері бойынша інжуше. $Ng=1,500$; $Nm=1,489$; $Np=1,493$.

Қаттылығы 3,5–4. **Жіктілігі** {010} бойынша жетік және {100} бойынша айқын. Мен. салмағы 2,09–2,2. HCl қышқылында ұнтақ тәрізді кремнийтотық жасап ыдырайды.

Секрециялар түрінде қуыстар мен жарықшақтарда, негізінен эффузиялық магмалық таужыныстарда кездеседі. Кейде рудалы гидротермалық желілерде анықталады. Россияда Ангарада *Черная* деревнясы маңында, Төменгі Тунгуска алабында (Красноярск өлкесі), *Малый Куналейде* (Бурятия) және басқа жерлерде байқалады. Қырымда (Симферополь маңындағы Қарағаш, Украина), Боржоми маңында (Грузия) белгілі.

ҚОРЫТЫНДЫ БӨЛІГІ

1-тарау

ЖЕР ҚЫРТЫСЫНЫҢ МИНЕРАЛДЫҚ ҚҰРАМЫ

Жер қыртысындағы әр түрлі типті химиялық қосылыстардың сандық мәні. Ескі және жаңа геологиялық әдебиетте кездесетін минералдар атауының жалпы саны 6000-ға жетеді. Бірақ минерал түрлері мен олардың түрлестерін ұтымды жіктелімдеу негізінде сындарлық көзбен қарағанда, бұл атаулардың басым көпшілігі бірқатар пікірлер бойынша қалдырылуы тиіс. Ең алдымен, олардың көпшілігі заманауи дәл зерттеу әдістері көмегімен дәлелденгендей, механикалық қосылыстар болып табылады. Атаулардың аса елеулі саны бір минералдың синонимдері болып шыққан. Олар бір-бірінен кристалдық фазасының дисперсиялық дәрежесі бойынша, немесе кейбір сыртқы белгілері бойынша (түсінің реңі, кристалл дарақтарының пішіні және басқа), немесе химиялық құрамының мардымсыз айырмашылығы (әсіресе түрлестерінің атауы үшін) бойынша және басқа белгілерімен ажыратылады.

Егер осы синонимдердің барлығын жоққа шығарсақ және минералдық қоспаларды тізімнен сызып тастасақ, онда минерал түрлерінің шын мәніндегі саны қазіргі кезде небәрі 4000-нан сәл ғана асатын цифрмен бейнеленеді. Одан басқа, 200-ге жуық түрлестерінің атауы сақталады. Әрине, айта кететіні, бірқатар жағдайларда минерал түрлерінің шынында да бар түрлестері арнайы атауға ие болмайды.

Химиялық қосылыстардың басты типтері бойынша минерал түрлерінің саны былайша бөлінеді, %:

1. Силикаттар мен альюмосиликаттар	– 25,8.
2. Фосфаттар және олардың баламалары	– 18,0.
3. Сульфидтер және олардың баламалары	– 13,3.
4. Окиселдер мен гидроокиселдер	– 12,7.
5. Сульфаттар	– 9,4.
6. Галогенидтер	– 4,5.
7. Карбонаттар	– 4,5.
8. Сомтума элементтер	– 4,3.
9. Бораттар	– 2,9.
10. Қалғандары	– 3,3.

Көретініміздей, минерал түрлерінің ең көп саны силикаттарға, фосфаттарға, окиселдерге, сульфидтерге және сульфаттарға тиесілі. Осы қосылыстардың үлесіне жалпы алғанда 80 % шамасы келеді.

Бірақ салмағына қатысты біз типті басқаша суретті көреміз. В.И. Вернадскийдің, А.Е. Ферсманның және басқалардың кларктерді қайта есептеп шығу деректеріне сәйкес, жер қыртысының бізге белгілі бөлігіндегі химиялық қосылыстардың ең басты типтері үшін біз олардың сыбағалық процент мөлшерінің мынадай мәнін аламыз.

1. Силикаттар – 75 % шамасында (далашпаттар үлесіне 55 % шамасы келеді).

2. Окиселдер мен гидроокиселдер – 17 % шамасында, мұнда кварцтың үлесі (халцедонмен және опалмен бірге) – 12,6 %, ал темір окиселдері мен гидроокиселдері – 3,6 % шамасында.

3. Карбонаттар (негізінен кальцит пен доломит) – 1,7 % шамасында.

4. Фосфаттар және олардың баламалары (негізінен апатит) – 0,7 % шамасында.

5. Хлоридтер мен фторидтер – 0,5 % шамасында, мұнда хлоридтер арасында ең көп таралғаны галит, ал фторидтерден – флюорит.

6. Сульфидтер мен сульфаттар – 0,3–0,4 %; сульфидтер ішінде ең басты мәнге темір сульфиды – пирит ие болады.

7. Сомтума элементтер – 0,1 % шамасында; олардың ішінде 0,04 % шамасы азоттың үлесіне, ал 0,01 % шамасы оттек үлесіне тиеді.

Бұл деректер тек силикаттар мен кварцтың өзі жер қыртысының салмақ үлесі бойынша 87 % шамасын құрайтынын көрсетеді. Ал фосфаттар және олардың баламалары, сульфидтер, сульфаттар, окиселдер (кварц пен темір окиселдерінен басқасы) сияқты химиялық қосылыстар типіне келсек, олар табиғи жағдайларда көптеген минерал түрлерін құрағанымен, салмақ сыбағасы жағынан жер қыртысы жалпы құрамының өте мардымсыз бөлігін ғана құрайды. Дегенмен айта кететіні, дәл осы химиялық қосылыстар құрамында кен-металлургия, химия және басқа өнеркәсіп салалары үшін өте маңызды құнды металдар болады.

Жер қыртысындағы минералдар құрамының және таралуының кейбір ерекшеліктері. Табиғи химиялық қосылыстардың минералдардың жалпы саны олардың жасанды жолмен лабораториялық жағдайда алуға болатындармен салыстыра қарағанда теңдессіз аз, мұнда табиғи реакциялар масштабы бойынша өте зор құбылыстар болып табылатынына қарамай. Жыл сайын ашылатын жаңа минералдар саны заттарды зерттеуге аса жетік және қуатты заманауи құралдарды қолдануға қарамай, соңғы онжылдықтарда айта қоярлықтай онша көп болмауда (әдетте 10-нан аспайды). Қазіргі кезде белгілі минерал түрлерінің жалпы саны бейорганикалық табиғат саласында 1500-нан аспайды, ал соңғы кезде алынған жасанды қосылыстардың саны жүздеген мың мөлшерімен бейнеленеді және синтездеу техникалық жарақтарының қазіргі даму барысында аса елеулі артуда.

Егер біз құрамы бойынша әр түрлі минералдардың жер қыртысы алқабындағы табиғи жаралымдардың түрлі генетикалық типтеріндегі санының мәні қандай деген мәселе көтерсек, онда фактілік деректерді талдау негізінде мынадай қорытындыға келер едік.

Эндогендік жаралымдарда минерал түрлерінің ең аз саны жоғары температура және қысым жағдайларында пайда болатын магмалық таужыныстарда байқалады. Постмагмалық жаралымдарда, әсіресе гидротермалық кенорындарда қосылыстардың типі бойынша сан қилы минерал түрлерінің салыстыруға келмейтін мол саны анықталады. Бірақ минералдарға бай болатыны – экзогендік жарылымдар; олар төмен

температура мен қысым жағдайларында, су-ауа ахуалы жағдайларында, яғни оттектің жоғары парциал қысымы кезінде және ақыр соңында жерде органикалық тіршілік кең дамыған жағдайларда пайда болады. Дегенмен мұнда да минералдар саны лабораторияларда және заводтарда алына алатын жасанды қосылыстар санымен салыстырғанда тіпті аз.

Бұл жағдай бірқатар себептерге байланысты. Ең алдымен, баяғы кездің өзінде В.И. Вернадский назар аударғандай, табиғи жағдайда әр элемент үшін лабораториялық жағдайларда алынуы мүмкін *иондардың көпшілігі* табиғи қосылыстарға қосыла алмайды. Мысалы, марганец минералдарда екі, үш немесе төрт валентті күйде анықталса, ал жасанды жолмен алты және жеті валентті марганец қосылыстарын да оңай алуға болады, одан басқа, металл марганецті және түрлі интерметалл қосылыстарын да. Вольфрам табиғи жағдайларда тек қана алты валентті ион түрінде белгілі болса, ал лабораториялық жағдайларда одан бөлек екі, үш, төрт және бес валентті вольфрам алынады. Платина тобы металдары табиғи жағдайларда негізінен сомтума түрде кездеседі де иондар жасамайды десе болады (егер сирек сульфидтері мен арсенидтерін назарға алмағанда), ал жасанды өнімдері арасында біз валенттілігі 2, 3, 4, және Ru мен O₃ үшін тіпті 6 мен 8 болатын нағыз иондық қосылыстарды білеміз. Осыған сәйкес платина тобы минералдарының саны 30-ға әрең жетсе, ал жасанды қосылыстарының саны жүздеп есептеледі. Мұндай мысалдар көп.

Бір анығы, жер қыртысында күрделі көпкомпонентті ортада тотығу-тотықсыздану потенциалдарының біршама тар ауқымында өзгеру жағдайларында, минерал жаралу процестерінде түрлі валенттілікті иондар жаралуға аса шектеулі мүмкіндіктер жаралады. Осының салдарынан иондардың мүмкін бірлестіктерінің саны да минерал жаралу кезінде *күрт қысқарады*.

Екінші маңызды жағдай, оған кезінде А.Е. Ферсман да назар аударған, мынаған сай келеді. *Төмен кларкімен* сипатталатын элементтердің көпшілігі табиғи жағдайда дербес минералдар жасамайды. Бұл жағдай берілген элементтер иондары өздерінің өлшемі және химиялық қасиеттері бойынша осы ортада кең таралған элементтер иондарына жақын болғанда орын алады. Осыған байланысты, олар изоморфтық қоспалар түрінде берілген балқымада немесе ерітіндіде кристалданатын (изовалентті және гетеровалентті изоморфизм) негізгі минералдарда жасырынуға қабілеті болады. Мысалы, гафнийдің цирконий минералдарында, ренийдің – молибденитте, галлийдің – алюминий кейде мырыш минералдарында, бромның – хлор минералдарында, гольмий, лютеций және басқалар – иттрий минералдарында, скандий – магний мен темір минералдарында және басқа жағдайларда «бүркемелену» жағдайлары осындай. Лаборатория және завод жағдайларында, керісінше біз бұл элементтердің кез-келген концентрацияларын алу мүмкіндігі болады, олардың сан түрлі қосылыстарын бөліп қана қоймай және де олардың көпшілігін металл күйде алу мүмкінді де болады.

Бұл «бүркемелену» құбылысы кларктері жоғарылау элементтер үшін орын алады. Оның ең бір айқын мысалына силикаттарда никельдің (0,2 %

шамасына дейін) магнийге изоморфтық қоспасы жатады (оливинде және содан жаралған серпентинде). Оливинді және серпентинит таужыныс массивтерінде осындай жолмен никельдің орасан зор массалары сейіледі (металға шаққанда жүздеген миллиард тонна болады). Ал құрамында никель сульфидтерінің немесе арсенидтерінің өнеркәсіптік шоғырлары бар руда кенорындарында (Садбери немесе Шнееберг типті) жалпы алғанда бұл металдың салыстыруға келмейтін аз мөлшері шоғырланады (жер қыртысындағы, барша никельдің небәрі 10 % шамасынан асар-аспасы ғана). Дәл осындай жағдай эндогендік жаралымдарда марганец үшін де анықталады. Ол силикаттардың және басқа типті қосылыстардың құрамына изоморфтық қоспа түрінде, бір жағынан, темірге, ал екінші жағынан, марганецке кіреді. Шындығында, темір мен кальцийге бай минералдардың көпшілігі құрамында марганец изоморфты қоспа түрінде біршама жоғары мөлшерде (фаялит, геденбергит, диопсид, биотит, апатит, анкерит, сидерит және басқалар). Осы түрінде жалпы алғанда марганецтің орасан зор мөлшері жасырынған титанға, ванадийге, кобальтқа, сирек жерлерге, стронцийге және басқаларға қатысты болады.

Жер қыртысында аз таралған элементтерге қатысты айтсақ, олар басты элементтермен салыстырғанда өте шағын немесе өте үлкен иондар жасайды (Be, D, C, P, Rb, Cs, Nb, Ta, U және тағы басқа). Басты элементтерден минералдардың негізгі массасы пайда болады, мәселен, магмалық таужыныс жасаушы минералдар. Ал аз таралған элементтер геологиялық деректер бойынша ой түйсек, олар *қалдық* ерітінділерде шоғырланады да оларды постмагмалық сатыда мұнда жүретін химиялық реакциялар нәтижесінде қанығуынан айрықша минералдар кристалданады. Бұл минералдар құрамында ұшпа компоненттер немесе сирек элементтер мол болады (турмалин, берилл, литийлі слюдалар, монацит, апатит және басқа). Көбінесе олар магмалық таужыныстар массивтерінің өзінде немесе оларға тікелей жақын жатқан сыйыстырушы таужыныстарда құнды металдар кенорындары түрінде өнеркәсіптік шоғырлар жасайды.

Дәл осылайша, бастылардан *химиялық қасиеттері* бойынша айтарлықтай айрықшаланатын иондар (мысалы, 18-электронды сыртқы қабықшасы бар иондар: Cu, Ag, Au, Zn, Pb, Bi және басқа, сондай-ақ кейде темір тобы элементтері) қалдық ерітінділерді көбінесе магмалық массивтерде алыс жерлерде шығарылады. Олардың гидротермалық деп аталатын көптеген ауыр металдардың өнеркәсіптік кенорындары жаралады. Бұл кенорындар негізінен сульфидтерден және окиселдерден тұрады да жиі петрогендік элементтердің карбонаттарымен және сульфаттармен сүйемелденеді.

Иондардың осылайша минералдардың қандайда бір тобын жасап дифференциациялану құбылысы экзогендік процестердің түрлі өнімдерін зерделеген кезде де анықталады (мору қыртысында және шөгінді жаралымдарда).

Осылайша жер қыртысында, оның ішінде жүретін геологиялық процестер кезінде химиялық элементтердің *заңдылықпен кеңістікте таралуы* орын алады, осының салдарынан бұл процестердің түрлі

өнімдеріндегі минералдардың да. Осындай таралу бір жағынан, орасан зор құрамы бойынша біршама қарапайым *таужыныстар массивтерінің* жаралуына әкеледі (магмалық, шөгінді, метаморфтық), бұл таужыныстар жер қыртысының негізгі бөлігін құрайды. Екінші жағынан, осы массивтермен генетикалық тығыз байланысты, бірақ құрамы бойынша слеулі айрықшаланатын пайдалы қазба кенорындары жаралады. Кенорындар минерал жаралудың жалпы заңдылығына бағынып, осы геологиялық процестер нәтижесінде пайда болады. Бұл кенорындар, әсіресе металл пайдалы қазба кенорындары өздерінің өлшемдері бойынша массивтерге карағанда өте шағын болғанымен, бірақ химиялық құрамы мен экономикалық мәні бойынша таужыныс массивтерінен өте күрт айрықшалаынады. Әрине, сондықтан кенорындар жер қыртысының құрылысына таужыныстар массивтерімен бірге қатысады да дербес геологиялық денелер ретінде қарастырылуға тиіс.

Барлық химиялық элементтердің қабылданған *петрогендік* (таужынысжасаушы) және *металлогендік* (рудажасаушы) деп бөлінеді дәл осыған байланысты. Петрогендік элементтер Менделеевтің ұзын периодтары бойынша тұрғызылған химиялық элементтер кестесінде сол жақ бөлігінде, ал металлогендіктер – оң жақ бөлігінде және кестенің ең төменінде орналасады. Химиялық элементтердің жер қыртысында кеңістікте таралуының осы басты ерекшелігі элементтердің өзінің қасиеттеріне және атап айтқанда, олардың атомдарының құрылысына байланысты екені белгілі. Шынында, таужыныстардың ең өзіндік химиялық элементтері (Na, K, Mg, Ca, Al, Si) табиғи жағдайларда 8-электрондық сыртқы қабықшалы иондар жасайды. Ал жоғары атомдық салмаққа ие болатын нағыз металлогендік элементтерге сыртқы қабықшасы 18-электрондық иондар тән, олар көбінесе ішкі электрондық сфераларының конфигурациясы бойынша төмендеу симметриялы (кестенің ортаңғы бөлігіндегі иондар: VIII топ триадалары, содан кейін Mn, Cr, V, Mo, W, Nb, Ta, U, Th).

2 тарау

ТАУЖЫНЫСТАРДАҒЫ ЖӘНЕ РУДА КЕНОРЫНДАРЫНДАҒЫ МИНЕРАЛДАР БІРЛЕСТІГІ (АССОЦИАЦИЯЛАРЫ)

Минералогия курсының жалпы бөлігінде жер қыртысындағы минерал жаралу процестері қысқаша қарастырылған болатын. Осы процестерге сәйкес таужыныстарды және олармен генетикалық байланысты пайдалы қазба кенорындарын сипаттайтын минералдар бірлестіктеріне шолуды мына сұлба бойынша береміз.

I. Эндогендік жаралымдар минералдары.

1. Құрамы әр түрлі тереңдік магмалық таужыныстардың және магмалық руда кенорындарының минералдары.
2. Пегматиттердегі минералдардың ең маңызды бірлестігі.
3. Жапсарлық-метасоматоздық жаралымдардағы минералдар бірлестігі.
4. Гидротермалық пайдалы қазба кенорындарының минералдары.
5. Эффузиялық таужыныстардың және фумарола әрекеті өнімдерінің минералдары.

II Экзогендік жаралымдар минералдары.

1. Мору қыртысының минералдары.
2. Шөгінді таужыныстар мен пайдалы қазба кенорындарының минералдары.

III. Өңірлік метаморфизм кезінде пайда болатын минералдар.

1. Метаморфталған таужыныстар мен руда кенорындарының минералдары.

Тереңдік магмалық таужыныстардың және магмалық руда кенорындарының минералдары. Интрузиялық (тереңдік) магмалық таужыныстардың және магмалық руда кенорындарының бастапқы минералдары жоғарғы температура мен қысым жағдайларында кристалданады.

Интрузиялық таужыныстардың эффузиялықтардан айырмашылығы, олар толық кристалды минералдық агрегаттар болып табылады. Таужынысжасаушы минералдар арасында, басқа да барлық таужыныстардағы сияқты, басты яғни көбінесе тек қана микроскоп астында байқалатын минералдарды бөледі. Бастапқы минералдардан басқа туынды, яғни бастапқылары бойынша минералжаралу процестерінің постмагмалық сатысында пайда болатын ең соңғы минералдар жиі анықталады. Петрография курсына түбегейлі қарастырылатын химиялық және минералдық құрамы бойынша әр түрлі интрузиялық таужыныстар арасында біз тек ең бастыларын (ультранегізді, негізді орташа, қышқылды және қышқылды, сілтілерге бай) *52-суретте* көрсетілгендей, мынадай ретпен бөлеміз – кремнийтотыққа жұтаң интрузиялық таужыныстардан бастап.

Ультранегізді таужыныстар (дунит, перидотит, пироксенит) тек қана дерлік темірлі-магнийлі силикаттардан (оливиннен, пироксениттен) тұрады. Дунит өзгеріске ұшырамаған күйде *оливиннен* тұратын мономинералды таужыныс болып табылса, ал перидотиттер құрамында оливиннен басқа ромб немесе моноклин *пироксен* болады. Бұл таужыныстардағы акцессор минералдар әдетте *хромшпинелидтерден* тұрады. Пироксениттер арасында ең көп таралғандарға диаллагит жатады. Оның құрамында акцессор минерал ретінде титанмагнетит, кейде жасыл шпинель болады. Туынды минералдар ретінде ультранегізді таужыныстарда *серпентин* (ол оливин бойынша дамиды), *брейнерит* (темірмагнийлі карбонат), кейде *талык*, *амфиболдар* (әдетте пироксендер бойынша) және басқалар пайда болады.

Негізді таужыныстар (габбро әулеті), құрамында SiO_2 және сілтілер молдау, ультранегізді таужыныстармен салыстырғанда елеулі айрықшаланатын химиялық құрамға ие, әсіресе Al_2O_3 , MgO және FeO қосылыстарына қатысты (*52-суретте*). Олар минералогиялық жағынан құрамында темірлі-магнийлі силикаттармен – *пироксендермен*, *амфиболдармен*, кейде *биотитпен* және *оливинмен* қатар айтарлықтай мөлшерде *негізді плаггиоклаздар* (лабрадор, битовнит, анортит) болуымен сипатталады. Нағыз габбро құрамды таужыныстарда туынды минералдар негізді плаггиоклаздар орнында микроскоп астында цоизиттің немесе эпидоттың альбитпен майда қоспасы, ал оливин бойынша – серпентин және басқалар анықталады.

Ортақышқылды және *қышқылды* интрузиялық таужыныстар (диорит, гранодиорит, гранит) кремнийтотыққа бай және олар енді айқын кварцұстамды таужыныстар қатарына жатады (тек диоритте ғана әрдайым бола бермейді). Күңгірт түсті минералдар саны айтарлықтай төмендейді (гранитте 5–10 % шамасынан аспайды), осыған байланысты MgO және FeO төмендейді (*52-суретте* көрсетілген). *Плаггиоклаздар* да өзінің құрамында өзгереді – қышқылдау болады (андезин, олигоклаз), осыған сәйкес CaO мөлшері төмендеп, ал Na_2O – артады. Гранитте, ең көп тараған интрузиялық таужыныста, олардан басқа елеулі мөлшерде калийлі далашпаттар (*ортоклаз* және *микроклин*) болады. Ал кварцтың мөлшері 20 % шамасына жетеді және одан да асады. Күңгірт түсті минералдардан *биотит* басқалардан жиірек таралған. Гранитте акцессор минералдардың сан түрі болады: *апатит*, *циркон*, *титанит*, *магнетит*, *гематит*, кейде *монацит*, *ортит*, ал грейзенделген слюдалы-кварцы бөлікшелерінде – *топаз*, *флюорит*, *литийлі слюдалар*, *касситерит*, *вольфрамит*, *арсенопирит*, *турмалин*, *аксинит* және басқалар кездеседі. Грейзендену процесі кезінде далашпаттар ыдырайды да ашық түсті слюдалармен, топазбен, турмалинмен және басқа алюмототықұстамды минералдармен алмасады.

Сілтілерге бай интрузиялық таужыныстар кремнийтотыққа жұтаң, минералогиялық жағынан аса қызығарлық болады. Сілтілерге ең жұтаң сиенит өзінің минералдық құрамы бойынша гранит тобы таужыныстарына жақын (бірақ құрамында кварц болмайды). Нефелинді сиенит құрамында ортоклаз, микроклин мен альбиттен басқа *нефелин* болады, ал күңгірт түсті

минералдардан болатыны – *сілтілі пироксендер* (эгирин, эгирин-авгит), сілтілі амфиболдар (мүйізалдамыш, арфедсонит және басқа), *күңгірт слюдалар* (биотит, лепидомелан). Жиі кездесетіні – *содалит*, ол көбінесе нефелинді алмастырады, сирек – нозеан, гаюген, канкринит, анальцим. Тұрақты акцессор минералдарға *циркон* мен *апатит* жатады, жиі титанит, сирек флюорит кездеседі. Басқа петрогенетикалық провинцияларда титан мен цирконийдің күрделі силикаттары байқалады: эвдиалит, лампрофиллит, астродиллит, лавчоррит және басқа. Таужыныстарының кейбір түрлерінде сілтілі силикаттармен пирохлор, лопарит, титанмагнетит, ильменит және басқалар бірлеседі.

Магмалық жаралымды пайдалы қазба кенорындары әдетте түпнұсқа магмалық таужыныстар арасында орналасады да руда минералдардың ұялары, желі тәрізді және қабат тәрізді денелері түріндегі бай шоғырлары болып табылады. Олардың құрамына негізінен таужыныстардың өзінде акцессор немесе екінші дәрежелі бөлінімдер түрінде болатын минералдар кіреді.

Магмалық кенорындар жаралуының заңдылықтарын зерделеу және оларды жіктелімдеу саласында кеңес ғалымдары ғылымға қомақты үлес қосты (акад. А.Н. Заварицкий және басқа). Бұл кенорындар жаралу кезінде руда заттың оқшаулануы мен шоғырлануы, қазіргі түсініктерге сай, әр түрлі жолмен және магма кристалдануы процесінің сан түрлі кезеңдерінде жүре алады. Бір жағдайларда руда минералдар, әсіресе хромшпинелидтер магмада алғашқы болып кристалданады да кейде шпирлер деп аталатын сеппе рудалар жасайды. Басқа жағдайда, әлдеқайда көп таралған болып табылатындарда руда заты қалдық балқымаларда, яғни дербес магмалық процестің соңғы кездерінде жиналады да сыйыстырушы түпнұсқа таужыныстарға қатысты эпигенетикалық белгілері бар руда денелерін жасайды. Мәселен, көпшілік жағдайларда нағыз хромит және титанмагнетит кенорындары осындай. Сонымен, мынадай кенорындар да белгілі (атап айтқанда, кейбір сульфид мыс-никель кенорындары) – оларда руда зат бірқатар геологиялық деректер бойынша магмадан оның сұйық күйінің өзінде оқшауланған (ликвация жолымен) және меншікті салмағының үлкен болуы салдарынан магма массивінің төменгі бөлігіне жылыстайды. Бірақ, руда денелерінің сыйыстырушы таужыныстарымен өзара қатынасы көрсететіндей, бұл сульфид балқымаларының кристалдануы түпнұсқа таужыныстар кристалданғаннан кейін жүрген.

Руда денелеріндегі минералдық бірлестіктердің жасы бойынша арақатынасын түбегейлі зерделеу көбінесе мынаны көрсетеді. Магмалық минералдар жаралу процесінің ақырғы сәтінде бағынышты мөлшерде болғанымен төмендеу температуралы бірлестіктер пайда болып, олар енді рудажаралудың гидротермалық сатысына сай келеді. Руда денелер түпнұсқа таужыныстарға қатынасы бойынша әдетте кейінірек жаралатындарға жатады.

Ультранегізді таужыныстар (дунит пен перидотит) арасында *хромит* кенорындары кездеседі, олар тұтастай дерлік *хромшпинелидтердің* ұя тәрізді, линза және бағана сияқты руда денелерінен тұрады. Олардың арасындағы

миаролит қуыстарында және жарықшақтарда төмендеу температуралық *уваровит*, *хромдиопсид*, *хромды хлорит* және басқа хромұстамды гидросиликаттар жаралымдары байқалады. Ультранегізді таужыныстардың кейбір провинцияларында хромшпинелидтер шоғырларымен *платина* тобы және *осмийлі иридий* минералдары тығыз байланысты. (Ортаңғы және Солтүстік Орал). Оңтүстік Африка кимберлитінде *алмас* кенорындары орналасқан.

Пироксенит пен габбро массивтерінде жиі сеппелік руда түрінде (Качканар) және тұтас желі тәрізді массалар түрінде (Куса, Орал) *титанмагнетит* кенорындары таралған. Бұл рудаларда ванадийұстамды титанмагнетитпен бірлестікте әдетте мүйізалдамыш, шала ыдыраған *далаишпаттар*, мардымсыз мөлшерде сульфидтер (пирит пен халькопирит), кейде апатит, ал туындылардан – хлориттер, эпидот, цоизит және басқалар байқалады.

Кейбір негізді таужыныстармен, негізінен габбро-норитпен (ромб пироксенді), ал кейде ультранегізді таужыныстармен де *мыс-никельді сульфид руда кенорындары* байланысты. Олар негізінен *пирротиннен* және бағынышты мөлшерде кобальтты *пентландиттен*, халькопириттен және магнетиттен тұрады. Кейінгілеу жаралымдар түрінде *миллерит*, никельді және кобальтты *пирит* және басқалар кездеседі. Оларда сондай-ақ көбінесе платина тобы минералдары, әсіресе *палладийлі платина*, *сперрилит*, кейде лаурит және басқалар болады.

Осылайша, ультранегізді және негізді интрузиялық таужыныстарда руда кенорындары түрінде темір тобының элементтері: Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, оларға қосылатын платина тобы, және де Cu шоғырланады. Марганец шашыранды күйде темір мен кальцийге изоморфты қоспа түрінде окиселдерде және силикаттарда болады.

Қышқылды интрузиялық таужыныстар үшін бізге ауыр металдардың қандайда бір айтарлықтай кенорындары белгісіз. Na₂O қосылысына бай нефелинді сиенитте айрықша ретінде ірі *apatит кенорындары* белгілі. Бұл кенорындарды минерал-серіктер ретінде *нефелин*, аз мөлшерде эгирин, сілтілі амфиболдар, сфен, титанмагнетит және басқалар кездеседі. Сондай-ақ лопарит кенорындары да белгілі.

Пегматиттердегі ең маңызды минералдар бірлестігі. Пегматит жаралымдардың басты массасы тереңдік жағдайларда пайда болып, гранитпен және нефелинді сиенитпен байланысты болады. Көпшілік жағдайларда олар көлемі бойынша шағын әртекті, жиі зоналанған құрылысты денелерден тұрады да (*53-суреттегідей*) түпнұсқа таужыныстарға қатысты кейінгілеу жарылымдар болады. Олар көбінесе нағыз желілер түріне жатады. Сиректеу бағана және линза тәрізді денелерде байқалады.

Құрлысы бойынша пегматит жаралымдары арасында денелердің зальбандына (бүйірлік бетіне) қатысты зоналары симметриялы орналасқан және бейсимметриялы зоналанған құрылысты түрлері ажыратылады.

Пегматиттер өздеріне ежелден назар аударған. Олардың қуыстарында («іншіктерінде») кейде сұрғылт кварцтың, топаздың, турмалиннің берилдің

және басқа асыл және біршама асыл тастардың жақсы жаралған ірі кристалдарының друзалары кездеседі. Айрықша қызығушылыққа далашпат пен кварц жазу тәрізді кірікпелері де ие болады, олардың жаралуы әлі толық анықталмаған.

Кәдімгі пегматиттер негізінен дәл сол түпнұсқа таужыныс минералдарынан тұрады, бірақ орасан ірі кристалды агрегаттарынан құралған. Бірақ көптеген пегматит жаралымдарында әдетте шамалы мөлшерде басқалар да байқалады. Олар құрамында сирек элементтер (Li, Be, Sr, Rb, Cs, Y, сирек жерлер, Nb, Ta, Zr, Hf, Th, U, W және басқа), сондай-ақ ұшпа заттар (F, B, Se және басқа) бар басқалар да байқалады.

Гранит пегматиттерге аса тәні, сирек элементтердің көпшілігі альбиттенуге ұшыраған, яғни ірі түйірлі калийлі далашпат массаларының альбитпен алмасып, кейде олардың толықтай ұсақ түйірлі альбитке айналған бөлшектерінде орналасқан. Бұл метасоматоздық құбылыстар енді кейінгі, минералжаралу процестерінің гидротермалық сатысына жатады. Пегматиттердің жаралуы туралы мәселе акад. А.Е. Ферсманның «Пегматиты» монографиясында қорытындыланған, олардың құрамы туралы қолда бар көп фактілік материалға қарамай, әлі толық шешілген жоқ. А.Е. Ферсманның түсінігінше, пегматиттер ұшпа қосылыстарға молыққан қалдық силикат балқымалардан жаралған. Минералжаралу процесі күрделі, температураның 700-ден 100⁰С-қа дейінгі кең аралығында өтеді. Көптеген пегматит денелер минералдық құрамының сан қилылығы, құрлысының күрделілігі осыған байланыстырылады. Соңғы кезде акад. А.Н. Заварицкий физикалық-химиялық түсініктерге негізделе отырып, «Фогт-Ниггли теориялық сұлбасын» сынға ала отырып, мынадай қорытындыға келген. Пегматиттер қандай-да бір қалдық балқыманың кристалдану жолымен емес, таужыныстың белгілі бір жерлерге шоғырланған және осы таужыныс минералдармен тепе-теңдікте болған қалдық газды ерітінділер әрекетінен қайта кристалдану жолымен жаралған деген.

Гранит пегматиттерін типтерге толық бөлуді А.Е. Ферсман өзінің жоғарыда айтылған монографиясында берген. Бірақ минералдар бірлестігінің өзгермелі сандық қатынасы олардың әр түрлі типтері арасында күрт шекара жүргізуге мүмкіндік бермейді. Біз мұнда тек өнеркәсіп үшін өте маңызды және минералогиялық жағынан қызық типтерін ғана айтып өтеміз.

1. *Топаз-бериллді* пегматиттер. Бұл пегматиттердің орталық бөліктеріндегі қабырғалары микроклин мен сұрғылт кварцтың ірі кристалдары жақтарынан жаралған друзалы қуыстар арасында (*53-суретте*) солғын түсті *топаздың* тамаша жаралған кристалдары кездеседі, ал басқа жағдайларда кездесетіндер –*берилл*, дәлірек айтқанда аквамарин (бұл минералдар бірге сирек байқалады), *альбиттің* қалақша кристалдарының «айдарлары», *лепидолит*, *турмалин* кристалдары, кейде касситерит, Nb мен Ta минералдары және басқалар. Зальбандтарына (бүйірлік беттеріне) жақын, «жазба гранит» зоналары арасында *мусковит*, *турмалин*, кейде биотит кристалдары кездеседі.

2. *Турмалин-мусковитті* пегматиттер (Мама-Витим ауданы) маңызды өнеркәсіптік мәнге ие, минералдарға біршама жұтаң және миаролит қуыстары жоқ. Жиі гнейстерде және слюдалы тақтатастарда жататын мусковиттер құрамында *далашпаттардан* (қышқылды плагиоклаздар, микроклин), *кварцтан* және *мусковиттің* ірі шоғырларынан басқа *турмалин, апатит, анартас, ортит, монацит, рутил, сульфидтер* және басқалар болады. Қара турмалинге бай пегматиттер құрамында кәдімгі далашпаттармен, мусковитпен және сұр кварц массасынан тұратын бөлікшелерінде жиі кездесетін хлориттенген биотитпен бірге, турмалиннен басқа шамалы мөлшерде кейде берилл, апатит және басқа сирек минералдар болады.

3. *Сирек элементтері бар пегматиттер* (Швециядағы Иттерби) «қара» минералдардың (Nb, Ta, Fe, Ti, Zr, Th, U, Y, сирек жерлер, Sn, W және басқа) кең сан түрлілігімен сипатталады да олардың құрамында мынадай минералдар болады: *колумбит, танталит, ильменит, рутил, ильменорутил, циркон, торит, гадолинит, фергюсонит, самарскит, эксенит, эшинит, касситерит, уранинит, моноцит, ксенотим, ортит* және басқалар.

Осы пегматиттер құрамында апатит, анартас, турмалин, берилл, хризоберилл, фенакит, гельвин, топаз, флюорит, карбонаттар, сульфидтер және басқалар кездеседі.

4. *Литий минералдары бар пегматиттер* құрамында мынадай минералдар шоғырланады: сподумен, лепидолит, кейде литий фосфаттары (амблигонит, литиофиллит, трифилин), қызғылт және қызыл (рубеллит), көк немесе жасыл турмалин, түссіз және қызғылт берилл (воробьевит), спессартин, марганецті жасыл апатит, касситерит, поллуцит, циркон, монацит, манганколумбит, флюорит және басқа. Осылайша, пегматиттердің бұл типі үшін Li, Mn, Ca, сондай-ақ Cs элементтері мөлшерінің жоғары болуы тән.

Аталған «таза желілік» пегматиттерден басқа, А.Е. Ферсман және де «будан пегматиттерді ажыратады». Олар пегматит ерітінділерінің басқа құрамды сыйыстырушы таужыныстармен реакциясы жағдайларында пайда болады. Осы реакциялар әрекетінен пегматиттердің өздерінің және сыйыстырушы таужыныстардың жапсар маңы зоналарының химиялық та, минералдық та құрамы айтарлықтай өзгереді. Мысалы, кремнийтотыққа бай гранит пегматит ерітінділері кремнийтотыққа жұтаң ультранегізді таужыныстарға (серпентинитке) әсер еткенде, құрамында кремнийтотық пен калий окисі өте төмендеген пегматиттер жаралады. Ол туралы олардың құрамында тек кварцтың жоқ болуы бойынша ғана емес, сондай-ақ негізді (SiO_2 мөлшері жұтаңдау, бірақ CaO мен Al_2O_3 мөлшері жоғарлау) плагиоклаздардың, кейде корундпен парагенезисте жаралуы бойынша да білуге болады. Ал серпентиниттің өзі жапсар маңы зоналарында биотитпен, талькпен, актинолитпен және хлориттермен, яғни серпентинмен салыстырғанда, құрамында SiO_2 мөлшері жоғарылау минералдармен алмасады.

Біршама аздау таралған *нефелинді сиенит пегматиттерінің* (Ильмен таулары, Орал) гранит пегматиттерінен айырмашылығы, олардың құрамында кварц болмайды және әдетте мынадай минералдардан: *микроклиннен, нефелиннен* тұрады, көбінесе *биотит*, лепидомелан мол болады, аздау мөлшерде эгирин, альбит, содалит, канкринит, циркон, апатит, кейде сфен, ильменит, пироксид тобының минералдары, флюорит, гидраргиллит, цеолиттер, кальцит кіреді. Сілтілі таужыныстардың басқа провинцияларында пегматит жаралымдары арасында, кәдімгі сілтілі силикаттармен қатар Zr, Ti, Tr, Ca, Na, Nb, Ta элементтерінің әр түрлі күрделі силикаттары (эвдиалит, лампрофиллит, ринколит), перовскит тобы минералдары (лопарит) және басқалар кездеседі.

Жапсарлық-метасоматоздық жаралымдар минералдарының бірлестігі. Реакциялық метасоматоз процестерінің ең қарқынды білінімдері (скарнжаралу) интрузиялық массивтердің (негізінен орташа қышқылды таужыныстар: кварцты диорит, гранодиорит, монзонит) карбонат сыйыстырушы таужыныстармен (эктас, кейде доломит) жапсарында орналасады (*54-суретте*). Қазіргі түсініктерге сай (Д.С. Коржинский), біршама шағын тереңдік жағдайларында сіңіретін постмагмалық (пневматолиздік-гидротермалық) ерітінділер әсерінен жапсар ореолдарында интрузиялық таужыныс пен эктас аралығында химиялық әрекеттесу жүреді. Мұнда тек эктас қана емес (экзожапсарлық метаморфизм), сондай-ақ қатайған интрузиялық таужыныс та (эндожапсарлық метаморфизм) өзгеріске ұшырайды.

Осылайша, скарнжаралу процесі магмалық таужыныс кристалдану процесімен салыстырғанда біршама кейінгілеу процеске жатады. Мұнда, анықталғандай, сыйыстырушы таужыныстардың магмамен ол енген кезде бірлесуі скарнжаралу өнімдері және онымен байланысты рудалану құрамында айтарлықтай рөл атқармайды.

Скарнжаралу процестері дамуының қарқындылығына магмадан бөлінетін эманацияның құрамы ғана емес, және түпнұсқа интрузиялардың пішіні, өлшемдері, жату және тереңдік жағдайлары ғана емес, сондай-ақ сыйыстырушы таужыныстар құрамы мен олардың тектоникасы да ықпал етеді. Зерттеулер көрсеткендей, бұл процестер негізінен физикалық қасиеттері мен құрамы бойынша әр түрлі таужыныстар (гранитоидтар және карбонат таужыныстар) жапсары бойында, сондай-ақ сыйыстырушы әркелкі шөгінді таужыныстар арасындағы ажырау жазықтықтары бойында және таужыныстарды қоршайтын және кейде гранитоидтардың өзіндегі бұзылыстар зоналары бойында дамыған. Скарн денелерінің ең үлкен қалыңдықтары көбінесе тектоникалық бұзылыстар біріккен жерлерде орналасады.

Атап айтқанда, олармен шеелитке бай кварц желілері жиі байланысты.

Экзожапсарлық метаморфизм бастапқы сатысында эктас бойынша скарндар деп аталатындардың жаралуымен өрнектеледі. Скарндар кальцийге бай Mg, Fe, Al силикаттарынан - анартастардан, негізінен *андрадиттен, пироксендерден - салиттен, геденбергиттен*, сондай-ақ *магнетиттен* және

гематиттен (көбінесе мушкетовит түрінде) тұрады. Кейде *волластонит*, *датолит*, *скаполит*, *шеелит*, *гельвин*, *ильваит* және басқалар жаралады. Көбінесе скарндар құрамы күрделі болып, олардың қалыңдығы ондаған метрге жетеді. Кей жерлерде олар тіпті білінбейді де, интрузиялық таужыныс тікелей әктаспен жапсарласады.

Эндожапсарлық өзгерістер темірсіз, бірақ кальцийге бай және кремнийтотыққа жұтаңдау силикаттардан: плагиоклаздардан (тіпті анортитке дейін), *диопсидтен* мүйізалдамыш бойынша, *гроссулярдан*, *везувианнан* және басқалардан тұрады.

Жаралатын минералдар құрамын өзара салыстырғанда, эндожапсарлық метаморфизм зонасында негізінен Са келтірілгенін және біршама Si, Al және Fe, шығарылғанын, олардың әктастық экзожапсарлық метаморфизміне қатысқанын көру қиын емес. Бірақ темірдің негізгі массасы магнетит, гематит, андрадитті және геденбергитті скарндар құрамына кіреді. Ал магнийдің ерітінділерімен қандайда бір оңай еритін, ең ықтималы хлорлы қосылыстар түрінде әкелінеді. Метаморфизмнің қарқындылығы ерітінділердің олардың құрамындағы минерализаторларға (Cl, F, B және басқа) байланысты химиялық белсенділігімен анықталатыны көрінеді.

Жапсарлық метаморфизмнің нағыз гидротермалық сатысына сәйкес келетін соңғылау сатысында скандардың ыдырауы орын алып, мыналар жаралады: *эпидот*, *хлориттер*, оларды сүйемелдейтіндер *кварц*, *кальцит*, *флюорит* және көбінесе сульфидтер: пирротин, халькопирит, пирит, кейде кобальтин, молибден және басқалар.

Экскарндармен генетикалық байланыста *магнетит* (Магнитная, Высокая және басқа таулар, Орал), *вольфрам* мен *молибден* (шеелит пен молибденит), мыс, кейде қорғасын мырыш және басқа рудалардың ірі кенорындары белгілі. Сульфид кенорындарының жаралуы рудажаралудың төмендеу температуралық сатысына сай келеді, олар көбінесе ертелеу процестерде жаралған магнетит жатындары мен скарндарға үстіленеді.

Қышқылды интрузиялардың құрамында кальций жоқ немесе оған жұтаң сыйыструшы таужыныстарда (сазды тақтатастар, мергель, туф, құмтас және басқалар) жапсарлық әрекет кезінде әдетте майда түйірлі, тығыз, тақталануы жоқ метаморфтық таужыныстар пайда болып, олар *мүйізтастар* деп аталады. Микроскоп астында бұл таужыныстарды негізінен бастапқы құрамына байланысты минералдардың сан түрлі парагенетикалық бірлестігі байқалады: плагиоклаздар, пироксендер, анартастар, кордиерит, силиманит, андалузит, шпинелькварц, эпидот, хлориттер, топаз, турмалин, скополит, флюорит, апатит, кейде касситерит, магнетит, сульфидтер және басқалары.

Әктас пен доломитте *негізді* интрузиялық таужыныстармен байланысты жапсарлық жаралымдар сирек кездеседі. Бұл типті жаралымдардың тамаша мысалына Златоуст ауданындағы (Оңтүстік Орал) Нязям және Шишам минералдық кеніштері жатады. Мұнда габбронның карбонат таужыныстармен жапсарлық арелында мәрмәр, анартасты-пироксенді және талькті-карбонатты таужыныстар арасында негізінен Са, Mg, Fe, Al және Ti силикаттары жатады. Метаморфтық таужыныстар

арасындағы қуыстарда минералогтардың назарын ХІХ ғасырдан бері аударған мынадай минералдардың тамаша кристалдары: анартастар, (гроссулярдан андрадитке дейін), диопсид, титанит, актинолит везувиан, гумит, хондродит, эпидот, клинохлор, ксентофиллит (морт слюдалар тобынан), перовскит, ильменит, апатит, хлоршпинель, магнетит, магнезийферрит, гематит, гидраргиллит және басқалар кездеседі.

Гидротермалық пайдалы қазба кенорындардың минералдары. Гидротермалық кенорындардың басым массасы (55-суретте) интрузиялық қышқылды магмалық таужыныстармен генетикалық байланыста және орташа мен шағын тереңдік жағдайларында жаралады. Бұл кенорындар әдетте құрамы мен жаралуы бойынша өте сан қилы таужыныстар арасында жататын нағыз желілерден тұрады. Негізінен әктастар арасында және көпшілігінде гидротермалық өзгерген басқа таужыныстар арасында сеппелер түрінде дамыған метасоматоздық денелер аздау таралады.

Ең жоғары температуралық жаралымдарда минералдардың ерітінділерден түзілуі шамамен 400⁰С температурада басталған деп қабылданады. Олардың өзі де тек өздерінің «тамырларымен» тікелей түпнұсқа интрузиялармен байланысты кенорындарда жаралады. Ал гидротермалық кенорындардың көпшілігі әлдеқайда төмендеу температурада жаралған. Ол туралы әлі де болса толық емес жүргізілген минералдардағы газ-сұйық кірінділерді қыздырған кезде гомогенделуін зерделеу бойынша деректер куәландырады.

Бұрын жекелеген минералдарға «геологиялық терминдер» ретінде өте үлкен мән беріліп келген. Сан қилы рудалар типіндегі парагенезистік арақатнастарды зерделеу көрсеткендей, гидротермалық кенорындардағы минералдардың көпшілігі ерітінділерден температураның аса кең (өте төменге дейінгі) ауқымында түзіледі екен. Әр минералға оның жаралуының белгілі бір температурасы сай келеді деген бұрынғы түсінік постмагмалық жаралымдар үшін дұрыс емес болып шықты.

Көптеген желілік гидротермалық кенорындарға минералданудың көп сатылығы тән, яғни рудалы ерітінділер жарықшақтардың қайталана ашылымдануына байланысты көп дүркін жаңарып айналымға түседі. Минералданудың жаңа сатыларының үстіленуі мыналарда көрініс табады: жасы әр түрлі, кейде бұрын түзілген материалда өзара қиылысатын желілер жаралуында; немесе бұрынғы минералдық жаралымдар сынықтарының кейінгілерімен цементтелетін брекчиялар жаралуында; немесе ақыр соңында желілердің бір-бірімен қиылысуында. Мұнда олардың минералдық құрамы көбінесе өзгереді, бұл жағдай біртіндеп келетін ерітінділер құрамының өзгеруін куәландырады. Акад. С.С. Смирновтың түсінігі бойынша, бұл жағдай бір жарықшақ ауқымында жарықшақжаралудың қайталануына байланысты жаңа пайда болатындар бойында жаралатын гидротермалық ерітінділердің үздік-үздік әрекетіне байланысты болады.

Гидротермалық кенорындарда өнеркәсіп үшін өте маңызды мынадай элементтердің минералдары таралған (55-суретте). Оларға жататындар: түсті металдар - Cu, Pb, Zn, (Cd), (In), (Ge); сирек металдар - W, Sn, Mo, Ni,

Co, Bi, As, Sb, Hg, Te; асыл металдар Au және Ag; радиобелсенді минералдар – U; сирек жер және кейде қара металдар Fe Mn. Кейбір гидротермалық кенорындармен бейруда минералдық шикізат шоғырлары: тальк, асбест, флюорит, барит, магнезит, исланд шпаты, алунит және басқалар байланысты.

Гидротермалық кенорындарда металлогендік элементтердің басты массасы мынадай түрде байқалады: *сульфидтер, арсенидтер*, аз дәрежеде – *сомтума металдар* түрінде (Au, Ag, Cu, Bi, Sb, Te), кейде *оттек қосылыстары* түрінде (Sn, W, Fe, Mn және басқа). Осылардың барлығы Менделеев кестесінің (ұзын периодтар бойынша тұрғызылған) оң бөлігіндегі элементтер, олар 18-электронды қабықшалы иондар жасайтындар және оларға сол жағынан қосылатын кенорынның құрлысы бисимметриялы элементтер. Нағыз петрогендік элементтерден гидротермалық жаралымдар арасында басым мәнге Si ие болады, ол негізінен кварц түрінде және кейде силикаттарда (турмалин, хлорит, тальк және басқалар), сондай-ақ Ca мен Mg, олар әдетте карбонаттар түрінде, аз дәрежеде силикаттарда (Mg), флюоритте (Ca) және басқалар. Алюминий әдетте гидротермалық ерітінділерден түзілген минералдарға тән болып табылмайды; Al минералдары (хлориттер, слюдалар, алунит және басқалар түрінде) негізінен құрамында алюмототық бар бүйірлік таужыныстар өзгерген кезде пайда болады. Сілтілер де тек гидротермалық өзгерген бүйірлік таужыныстардағы жаңажаралымдар түрінде (слюдалар, серицит), сондай-ақ рудажасаушы минералдар ішінде газ сұйық кірінділерде (*190-суретте*) анықталады. Барий үшін кейір кенорындарда сульфат (барит), кейде карбонат (витерит) аса тән.

Гидротермалық желілердің басты массасы әдетте тұтастай дерлік кварцтан тұрады. Ол жер бетінде түбірлік кенорын үстінде орналасқан немесе беткей бойынша біршама сырғыған кесектер түрінде байқалады. Мұнда сульфидті кварц массалары құрамында көптеген шаймаланған қуыстар мен жарықшақтар болады, олар сульфидтердің тотығу өнімдеріне толады (лимонитке, мыс көгі мен жасылына және басқаларға).

Гидротермалық руда кенорындары минералдық бірлестіктерінің өте әр түрлілігімен сипатталады. Бұл жағдайдың ең алдымен ерітінділердің өзінің құрамына және қапталдас таужыныстар құрамына байланысты болатыны көрінеді. Өйткені өзгерістері бойынша көруге болатындай, ерітінділер көбінесе қапталдас таужыныстармен әрекеттеседі.

Рудадағы минералдардың парагенезистік қатынасына, әрине, ерітіндідегі күкірт пен оттек режимі де ықпал етеді, ол елеулі шамада кенорын қалыптасатын тереңдікке байланысты болады. Өйткені жер қыртысындағы оттектің парциал қысымы (немесе концентрациясы) жер бетіне жақындаған сайын біртіндеп артады.

Бірқатар жағдайларда магмалық таужыныстардың түпнұсқа интрузивіне жақындаған сайын (*55-суретте*) минералдық бірлестіктер құрамының өзгеруі айқын байқалады. Сонымен, рудалар минералдарындағы парагенезистік бірлестіктердің әркелкілігі көбінесе өзгермелі құрамды ерітінділердің жаңа порцияларының үстіленуіне немесе рудажаралудың

физикалық-химиялық жағдайларына қарай рудалардың минералдық құрамындағы біртіндеген фациялық өзгерістеріне байланысты болады.

Біз гидротермалық кенорындардағы минералдық бірлестіктер әркелкілігінің барлығын қарастырмаймыз (ол руда кенорындары курсында түбегейлі қарастырылады), тек жекеленген өзіндік мысалдармен ғана шектелеміз.

1. *Кварц-вольфрамит, кварц-касситерит және кварц-молибденит* желілері әдетте қышқылды магмалық таужыныстардың түпнұсқа интрузивтеріне тікелей жақын немесе тіпті солардың ішінде байқалады. Желілер негізінен кварц массасынан тұрып, оның құрамында, негізінен зальбандтары (бүйірлік беттері) маңында сеппелер түрінде бір жағдайларда вольфрамит, көбінесе ірі өлшемді, келесілерінде - *касситерит*, ал үшіншілерінде – *молибденит* болады. Молибденит кварц массасы арасында майда қабыршақ пішіндерінде немесе желілер шеттерінде ірі парақша жиектер түрінде кездеседі. Бұл минералдар сондай-ақ бірге бір желілердің өзінде кездесе береді. Кей жерлерде минерал-қоспалар түрінде анықталатындар: шеелит, арсенопирит, сомтума висмут, пирротин, пирит, сфалерит, халькопирит, басқа желілерде – далашпаттар, слюдалар, кейде флюорит, топаз, берилл, турмалин және басқалар. Жиі қапталдас таужыныстардың желімаңы өзгерістері анықталады. Бұл өзгеріс граниттің кварц, мусковит, литийлі слюда, флюоорит, кейде топаз, турмалин және жаңажарылымдармен *грейзенденуінде* немесе осы желілердің өздері жатқан шөгінді және метаморфтық таужыныстар бойынша слюдалы немесе кварц-слюдалы жиектер жаралуында көрініс табады.

2. *Алтынұстамды* кварц желілері құрамында қандайда бір басқа минералдардың қоспалары жоқ десе де болады. Бірақ көбінесе сомтума алтынмен парагенезисте өте мардымсыз, ал кейде елеулі мөлшерде де (Березевское, Дарасун кенорындары) сол кәдімгі сульфидтер: *пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, солғын кен*, бейруда минералдардан кварцтан басқа кейде айтарлықтай мөлшерде *кальцит, доломит, барит* кездеседі. Желілерде алтын әдетте өте әркелкі таралады.

Және кварц-турмалинді кварц-шеелитті алтынұстамды желілер де белгілі. Жақын жағдайларда жаралған кенорындар арасында алтын және күміс теллуридтерінің сирек типтері кездеседі.

3. *Сульфид руда кенорындары* гидротермалық жаралымдар арасында өте кең таралған. Олар өздерінің құрамы бойынша төтенше сан қилы. Құрамындағы қандайда бір металдың өнеркәсіптік мөлшері бойынша мыс, қорғасын-мырыш, полиметалл, күшәла, сүрме және басқа, руда кенорындары ажыратылады. Бейруда минералдар көбінесе кварцтан және карбонаттардан, кейде бариттен, хлориттен және басқалардан тұрады.

3.1 Желілік типті мыс кенорындары (Зангезур) құрамына әдетте *пирит, халькопирит, солғын кендер*, кейде *борнит*, эндогендік халькозин, энаргит кіріп, оларды кейде молибденит, висмутин және басқалар сүйемелдейді. Одан басқа, интрузивтер мен порфирлі келбетті гранитоид таужыныстардың

гидротермалық өзгерген апикалық бөліктерінде орналасқан сеппелік типті ірі кенорындар белгілі.

3.2. Қорғасын-мырыш кенорындары желілер (Садон) немесе әктастағы метасоматоздық жатындар (Кан-сай) түрінде негізінен сфалерит пен галениттен тұрады, көбінесе күмісұстамды және висмутұстамды болады. Бұл руданың әдеттегі серіктері болып табылатындар: пирит, халькопирит, солғын кендер, арсенопирит, кейде пирротин, станнин, касситерит, ал кейбір жағдайларда және де буланжерит, джемсонит, бурнонит, прустит, пираргирит, стефанит және басқалар.

Галенит-сфалеритті (басқа да көптеген сульфидті) желілердің құрылысы өте әртекті болады. Руда минералдар сеппелер түрінде, немесе бұрыс пішінді тұтас бөлікшелерді құрайды, немесе жолақтар түрінде таралады, немесе брекчиялардағы сынықтар аралығындағы кеңістікті толтырады және басқаша болады. Жер бетіне жақын жағдайларда жаралған кейбір гидротермалық кенорындарда желілердің симметриялы жолақ құрылысы анықталады.

3.3. Полиметалл кенорындары, яғни құрамында өнеркәсіптік мөлшерде бірнеше металл болатындар құрамы сан қилы болады. Оның мысалына Алтай полиметалды рудалары жатады да олардың құрамына Zn, Pb, Cu, Ag және Au кіріп, минералдық құрамына *сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, тетрадимит*, кейде *арсенопирит, сомтума алтын* және сирек Pb, Ag *теллуридтері* кіреді. Бейруда минералдары – кварц, барит, анкерит, серицит – олар рудаларда әдетте мардымсыз мөлшерде кездеседі. Қапталдас таужыныстардың өзгеруі көптеген басқа сульфид кенорындарындағы сияқты *мүйізтастану (кремнийлену), серициттену* немесе *хлориттену* сияқтылардың көрініс табады.

3.4. Күшәла кенорындарының рудасы арсенопириттен тұрып, құрамында алтын, кейде висмут (әдетте висмутин түрінде) болады немесе реальгар-аурипигменттен тұрып, құрамында кварц пен кальцит және қоспалар түрінде марказит, антимонит және басқалар болады. Біріншілерінің де, кейінгілерінің де жаралу жағдайлары әр түрлі. Реальгар-аурипигмент рудаларының біріншіден айырмашылығы, олар төмен температура мен қысым жағдайларында пайда болады.

3.5. Сүрме кенорындары нағыз кварц-антимонитті желілер болып табылып, олардың құрамында шамалы мөлшерде пирит және басқа сульфидтер, кейде алтын кездеседі.

3.6. Сынап кенорындарында жалғыз дерлік сынап ұстамды минералға *киноварь* жатады, ол антимонитпен, кейде марказит, пирит, арсенопирит қоспаларымен бірлеседі, ал бейруда минералдардың кәдімгісі *кварц, халцедон, кальцит, флюорит, барит* және басқалар (Хайдаркан). Олар нағыз төмен температуралық гидротермалық кенорындар.

4. Сондай-ақ құрамы бойынша ерекше никель, кобальт арсенидтері рудаларының сирек кенорындарын айта кетеміз, олардың құрамында сомтума висмут пен күміс бар (Саксониядағы Шнееберг, Германия). Никель және кобальт арсенидтерінен оларда таралғандар: никелин, хлоантит-

шмальтин, раммельсбергит-саффорит, скуттерудит, көбінесе сомтума күшәламен, сондай-ақ сомтума висмутпен және сомтума күміспен бірлестікте болады.

Кейбір кенорындарда олармен бірге уран шайыры және сирек сульфидтер (пирит, марказит, метаколлоидтық сфалерит, галенит, солғын кен, герсдорфит, миллерит, аргентит, прустит, пирагирит, дискразит және басқалар) кездеседі. Бейруда минералдар әдетте кварцтан, анкериттен немесе доломиттен тұрады.

5. Нағыз гидротермалық жаралымдарға сондай-ақ флюорит кенорындары да жатады. Флюорит серік ретінде грейзендер мен кейбір қалайы рудалы кенорындардан бастап, төмен температуралық киноварь кенорындарына дейінгі пневматолит-гидротермалық кенорындардың көптеген типтерінде кездеседі. Бірақ флюорит көбінесе айтарлықтай шоғырлар беретіндіктен, әсіресе төмен температура мен қысым жағдайларында, дербес өнеркәсіптік қызығушылыққа ие болды. Жаралу жолдары бойынша олардың арасында желіліктерді және метасоматоздықтарды (эктаста) ажыратады. Флюоритпен бірлестікте шамалы мөлшерде пирит, марказит, халькопирит, галенит, кварц, кальцит, кейде гематит, барит, халцедон, адуляр және басқалар кездеседі. Флюориттің тұтас массалары кейде концентрлі-зоналы агрегаттар жасайды. Олар радиал-сәуле құрылысты, түрлі зоналары мен жекеленген кристалдарында әр түрлі түсті (күлгін, жасыл, қызғылт, сүттей ақ) болады. Тіпті түссіз мөлдір кристалдары да кездеседі.

6. *Гидротермалық барит* кенорындары әдетте төмен температуралық жағдайларда және жер беті маңында жаралады. Бір жағдайларда барит айқын басым болуымен қатар шамалы мөлшерде сульфидтер (көбінесе пирит, халькопирит, галенит, флюорит), сидерит, кварц, цеолиттер кездессе, ал басқаларында – темір окиселдері (гематит) болады. Минералдардың бірінші парагенезисі олар жаралуының біршама тотықсыздану жағдайын көрсетсе, ал екіншісі – айқын тотықтануды көрсетеді. Желілі жаралымдардың нағыз мысалына Грузияның бірқатар кенорындары жатады. Мұнда желілердің көбінесе симметриялы-жолақты құрылысы байқалып, ол жарықшақты қуыстардың қабырғасынан бастап мезгіл-мезгіл толатынын көрсетеді.

Эффузиялық таужыныстар минералдары және жанартау эксгальциясы өнімдері. Эффузиялық таужыныстар ішінде ең көп таралғандарға негізді (базальт немесе диабаз, андезит немесе порфирит) және қышқылды (липарит) магма өкілдері жатады. Осы таужыныстардың барлығына тән ерекшелікке жататыны - олардың құрамында белгілі бір мөлшерде жанартау шынысы немесе оның ыдырау өнімдерінің болуы.

Эффузиялық таужыныстардың минералдық құрамын тек қана микроскоп астында толық анықтауға болады. Тек порфир құрылымды таужыныстарда ғана кристалдар сеппесін жай көзбен ажыратуға болады: кара оливинді базальттағы жасыл *оливинді*; күңгірт-сұр порфириттердегі және ашық бояулы қышқылды кварцсыз порфирлердегі *далашпаттарды*;

мүйізалдамышты порфириттердегі *мүйізалдамышты*, ашық түсті кварцты порфирлердегі *кварцты*; лейцитифирлердегі *лейцитті*.

Бадамшатасты таужыныстарда, яғни құрамындағы қуыстар минералдық затқа толған көпіршікті лаваларда әдетте гидротермалық жаралымды ең соңғы түзілімдер жиі байқалады. Бұл түзілімдерге жататындар негізінен *халцедон*, *кварц*, ал басқа жағдайларда – *кальцит*, *цеолиттер*, кейде тридимит және басқа минералдар. Ірі бадамшаларында – жеодаларында көбінесе халцедон-кварц массасының (ақықтың) концентрлі-сәуле құрылысы анықталады. Бадамшалар мен жеодалар жиі кездесетіндері – кремнийтотыққа жұтандау эффузиялық таужыныстар: базальт, мелафир, пироксенді порфирит.

Жанартау эксгальцияларының (бөлінімдерінің) өнімі ретінде кратерлер қабырғасындағы қуыстарда және жарықшақтарда құрамы бойынша әр түрлі минералдар байқалады: *нашатырь* (*мүсәтір*), *галит*, *сильвин*, кейде Fe, Cu, Ni, Al, Mg және хлоридтері, содан кейін *сассолин*, *карбонаттар*, *сомтума күкірт*, *марказит*, *ковеллин*, *реальгар*, *аурипигмент* және басқалар, ал кей жерлерде жоғарылау температуралықтар: *гематит*, *магнезийферрит*, *шпинель*, *тридимит*, *кварц*, кейде *лейцит*, *пироксендер*, *далашпаттар* (санидин, анортит), *топаз* және басқалар.

Сульфаттар әрекет ететін жерлерде эффузиялық таужыныстардағы жарықшақтар бойымен енетін күкіртсутек пен оның тотығу өнімдері (күкірт және күкірт қышқылы) бөлінген кезде, қапталдас таужыныстардың күшті өзгеруі байқалады. Бұл өзгерістер заттардың ақшылдануы және шаймалануы, сондай-ақ жаңажарылымдар түзілуі түрінде көрініс табады. Мұнда таужыныстар оңай еритін компоненттердің шығарылуына байланысты SiO₂, Al₂O₃, және SO₃ заттарына молығады. Таужыныстар әдетте каолинденуге ұшырап, сеппе темір сульфидтері мен сульфаттар жаралады. Сульфаттардан басқалардан көптеу дамығандарына *гипс*, *алунит*, *калийлі* және *аммонийлі ашутастар* жатады. Сондай-ақ аммоний мен калийдің сирек силикофториттері және басқа төзімділігі аз минералдар белгілі.

Эффузиялық жанартау әрекетімен генетикалық байланысты *пайдалы қазба кенорындары* әлде қайда сирек кездеседі және тереңдік интрузивтермен байланысты кенорындардан біздің білетініміз сияқты көп емес. Гипабиссалық (терең емес жатысты) жасы палеоген-неоген және төрттік қышқылды эффузиялық таужыныс массивтерінде нағыз желілердің болу жағдайлары белгілі. Бұл желілер тұтас пирит-марказит рудаларынан тұрып, руда массасының беті бүйрек тәрізді болады да каолинденген уатылу зоналарында жататын қуыстарды толтырады.

Оралда кең таралған сульфидтерге (негізінен пиритке, аз дәрежеде халькопиритке, сфалеритке және басқаларға) бай, бірақ *бейруда минералдарға жұтаң* колчедан жатындары көне, кейжерлерде жасы силур-девон вулканогендік эффузиялық таужыныстардың күшті метаморфталған қатқабатарында орналасқан. Метаморфталмаған колчедан жатындары үшін калломорфтық жаралымдар аса тән. Олардың құрамында аталған

минералдардан басқа, кейде марказит пен вюрцит қатысып, ертінділердің қышқылды сипатын куәландырады.

Қазіргі жанартау әрекеті білінетін кейбір аудандарда *сомтума күкірттің* тұтас шоғырлары жаралатын жағдайлар қызығушылық танытады. Мысалы, Жапонияда Иосан жанартауы кратерінде әрекет ете бастаған гейзер баяу сольфатарлық әрекетінің ұзақ мерзімінен мезгіл-мезгіл ыстық бу және балқыған таза күкірт шығарылып, бұл өнімдер кратер жиегінен асып төгіліп, аңғарда қатайған тасқындар жасап төгілген. Анығы, бастапқыда сомтума күкірт сольфатардың біршама тереңдікте күкірт сутектің шала тотығу жағдайларындағы әрекеті процесінде жинақталған.

Ақыр соңында жанартау әрекеті сөнген аудандардағы көптеген салқын және ыстық минералды көздер туралы ескерте кету керек.

Мору қыртысы минералдары. Таужыныстардың мору қыртысы мен руда кенорындарының тотығу белдемі минералогиясын зерделеуге Кеңес ғалымдары (акад. В.И. Вернадский, акад. С.С. Смирнов, И.И. Гинзбург, Ф.В. Чухров және басқалар) көп үлес қосты.

Осы ғалымдар еңбектеріне негізделген, мору қыртысында өтетін процестер туралы біздің кәзіргі түсінігіміз елеулі кеңейді. Экзогендік процестердің әсіресе мору процестерінің өнімдері майда дисперсиялық минералдық жарылымдардың айрықша әркелкілігімен сипатталады. Оларда ауадағы O_2 , CO_2 және H_2O күрделі реакциялары нәтижесінде, сондай-ақ көптеген минералдардың ыдырауында зор рөл атқаратын организмдердің тіршілік әрекеті процесінде пайда болады. Ең оңай ыдырауға ұшырайтындарға өзінің құрамында ең төмен дәрежелі валенттілікті элементтер (Fe^{2+} сидерите, S^{2-} сульфиттерде және басқаларда) немесе CO_2 қосылысымен оңай еритін бикарбонаттар беруге қабілетті элементтер (Na, Ca далашпаттарда, Mg оливинде, серпентинде және басқалар) бар бастапқы минералдар жатады. Коллоидтық шөгінділер жаралуда зор рөлді еритін тұздардың гидролиз құбылысы атқарады. Бұл тұздар тотығу процестері кезінде иондарының өлшемдері шағын болатын (Fe^{3+} , Al^{3+} , Si^{4+} , Mn^{4+} және басқа) күшті полюстелетін катиондар гидроокиселдерінің тұнуынан пайда болады.

Осылайша мору қыртысында жинақталатын минералдық жаралымдардың құрамы елеулі дәрежеде бастапқы таужыныстар мен рудалардың құрамына байланысты болады. Мұнда химиялық төзімді жербеті агенттері әсер еткенде ыдырауға ұшырамайтын минералдар мору өнімдерінде механикалық шоғырланады да олар шайылған кезде шашырылымдарға өтеді. Оларға мынадай минералдар жатады: *кварц, магнетит, гематит, корунд, шпинель, хромшпинелидтер, ильминит, рутил, касситерит, апатит, монацит, шеелит, циркон, топаз, турмалин, дистен, андалузит, киноварь, сомтума алтын, осмийлі иридий, платина, алмас және басқалар.*

Минералдардың ең қарқынды химиялық ыдырау процестері сульфид кенорындардың тотығу белдемінде байқалады (*57-суретте*). Бұл белдемдегі химиялық реакциялардың ең өзіндік ерекшелігіне барлық сульфидтердің

тотығу кезінде *сульфаттық саты* деп аталатыннан өтетіні жатады, яғни алдымен күкірт қышқылы тұздарына айналады ($\text{FeS} \rightarrow \text{FeSO}_4$, $\text{PbS} \rightarrow \text{PbSO}_4$ және т.б.) бұл жағдай тотығу белдемінде металдар миграциясы құбылыстарын түсіну үшін өте маңызды мәнге ие болады, өйткені *әр түрлі металдар сульфаттарының ерігіштігі әр түрлі*. Сульфид кенорындары тотыққан кезде пайда болатын минералдық ассоциацияларды бастапқы рудалар типіне сай қарастырған дұрыс.

Мыссульфид кенорындары пиритке, халькопиритке және басқа мыс сульфидтеріне бай болады да тотығу белдемінде (темір телпекте) мол темір гидроокиселдері – *лимонит, гетит жаралады*. Өйткені темір сульфидтері бойынша пайда болатын сульфат FeSO_4 оттегі ықпал ететін жағдайларда Fe^{3+} сульфатына - $\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3$ қосылысына оңай өтеді де бірден гидролизге ұшырап, темір гидроокиселдерінің ерімейтін жаралымдарын жасайды. Мыс оңай еритін сульфат түрінде төмен сіңетін сумен грунт суы деңгейіне жылыстайды. Осының салдарынан тотығу белдемі мысқа күшті жұтанданады. Керісінше, сульфитке қайта баю белдемінде (57-суретте) рудадағы мыстың мөлшері мысқа бай туынды сульфидтер жаралуына байланыста аса айтарлықтай артады. Туынды сульфидтер – *ковеллин, халькозин, кейде борнит* бастапқы сульфидтер орнында олармен мыс ұстамды ерітінділердің реакциясы нәтижесінде пайда болады. Осылайша, егер темір телпекте ең болмаса мыстың оттекті қосылыстары - малахит, азурит, хризоколла және басқалар бар екенінің белгісі байқалса болады, онда грунт суы деңгейінен төменде мысқа байыған туынды сульфидтер орналасады деп сенімді түрде айта беруге болады.

Климаты құрғақ ыстық аудандарда жауатын жауын мөлшері аз болған кезде, сульфид кенорындарының тотығу белдемінде шала тотыққан руда бөлікшелері кездеседі. Құрамында мыс сульфидтері бар мұндай рудаларды микроскоп астында зерделеген кезде, әдетте гидроокиселдердің немесе оттегі тұздарының туынды сульфидтерінің негізінен ковеллинмен және халькозинмен бірлестігі байқалады.

Күкіртке жұтаң халькозин рудалары тотыққан жағдайларда куприт пен сомтума мыс жиі жаралады. Кейде мыс фосфаттары мен арсенаттары - либетенит, оливенит және басқалар, кейде силикаттары - *диоптаз* (аширит), хризоколла кездеседі. Мыстың сулы және негізді сульфаттары - *халькантит, брошантит* және басқалары, сондай-ақ темірдің *мелантерит, ярозит* және басқалар әдетте климаты ыстық құрғақ елдерде анықталады.

Сфалерит пен галенитке бай *қорғасын-мырыш* кенорындарында барлық жерде кездесетін пирит бойынша жаралатын темір гидроокиселдерінен басқа, айтарлықтай мөлшерде қорғасынның туынды минералдары анықталады. Бастапқыда галенит бойынша жаралатын англезит PbSO_4 қиын еритін зат ретінде көбінесе таза галенит қалдықтарын жұқа қабықшамен көмкеріп алады да оны ары қарай бүлінуден қорғайды. Ол тек сыртында ғана суда еруі қиын *церусситке* өтеді. Шамалы мөлшерде кейде қорғасынның басқа оттекті тұздары кездеседі: молибдаттар - *вульфенит*, фосфаттар - *пироморфит*, арсенаттар - *миметезит*, ванадаттар - ванадинит, кейде хроматтар - *крокоит*

және басқалар. Егер біз екі валентті катион Pb^{2+} біршама ірі өлшемдерге ие болатынын (206-суретте) назарға алсақ, онда тотығу белдемінде оның SO_4 , PO_4 , AsO_4 , VO_4 , MoO_4 , CrO_4 сияқты ірі комплексті аниондармен химиялық орнықты қосылыстар беретініне таңырқауға болмайтынын көреміз.

Мырыш болса өзін тіпті басқаша ұстайды. Сфалерит оңай ыдырайды да мырыш суда еритін сульфат түрінде түгелдей дерлік тотығу белдемінен шығарылады. Егер бұл белдемнің төменгі деңгейлерінде мырыштың сульфат ерітінділері әктасты (қапталдас таужыныстарда) кездестірсе, онда алмасу реакциялары нәтижесінде *смитсонит* рудасы жаралады (223-суретте). Ал егер де бүйірлік таужыныстар тақтатастардан немесе басқа химиялық белсенді таужыныстардан тұрса, онда мырыш сульфаты грунт суы деңгейіне жетеді де ағу белдемінде кенорыннан тыс жерге кетеді (мырыш үшін сульфидке қайта баю белдемі болмайды). Кейде тотығу белдемінде Zn силикаттары – *гемиморфит*, *виллемит*, кейде фосфаттары, арсенаттары және басқалар кездеседі.

Осылайша, қорғасын мен мырыш эндогендік кенорындарда сульфидтер түрінде бір-бірімен төтенше тығыз байланысты болғанымен, тотығу белдемінде *ажырасады*. Осы жағдайды кенорындарды іздеген кезде әрдайым назарда ұстау керек (тотыққан қорғасын рудасының сынамаларында мырыштың жоқ болуына қарап, бастапқы руда құрамында да сфалерит массалары жоқ екен деп айтуға тіпті де болмайды).

Қорғасын-мырыш рудаларында жиі анықталатын *күміс* те өзін басқаша ұстайды. Тотығу белдемінің төменгі бөлігінде ол кейде сомтума күйде аргентитпен бірге байқалады. Климаты ыстық және құрғақ елдерде ол көбінесе орнықты галоид қосылыстарына - *кераргиритке* және басқаларға өтеді.

Арсенопиритке және басқа арсенидтерге бай темір рудасы тотығу белдемінде *скородит* массасын жасап, көбінесе темір гидроокиселдеріне сіңеді. Никель арсенидтері мұндай жағдайларда *аннабергит*, ал кобальт арсенидтері – *эритрин* береді. Сүрме сульфидтері окиселдерге айналады: кремезит (Sb_2S_2O), валентинит (Sb_2O_3), стибиконит (Sb_3O_6OH) және басқа. Висмутин сульфидтері бойынша әдетте негізді карбонат – бисмуттит пайда болады. Молибденит мұрыған кезде повеллит, ферримолибденит және басқалар жаралады.

Құрамында Fe^{2+} және Mn^{2+} бар карбонаттар оңай ыдырап, гидроокиселдер жаралады. Жалпы алғанда құрамында төмен дәрежелі валентті марганец бар минералдар (родонит, манганит, браунит, гаусманит және басқалар) тотығу белдемінде оңай ыдырайды. Олар Mn^{4+} окиселдері мен гидроокиселдері *вернадит*, *пиролозит* және *псиломелан* жасайды да марганец телпек түзеді. Қарқынды мору жағдайларында *темір* силикаттары (серпентин, хлориттер, анартастар, пироксендер және басқалар) да ыдырап, осы минералдарға бай таужыныстар (атап айтқанда, скарндар) орнында қопсық *қошқыл* теміртастар жаралады.

Силикат таужыныстар қарқынды мұрыған кезде, қалдық өнімдер бойынша алаңдық таралымға ие жаңа пайдалы қазба кенорындары жаралуы

мүмкін. Темірге жұтаң, бірақ *алюмототыққа бай* магмалық қышқылды таужыныстар орнында қоңыржай климат жағдайларында *каолин жатындары*, ал ыстық және ылғал климат жағдайларында латериттік мору кезінде *боксит* жаралып, ол негізінен алюминий гидроокислдерінен – *гиббситтен, бёмиттен және диаспордан* тұрады.

Айрықша қызығушылыққа магнийге бай *ультранегізді* таужыныстардың, негізінен серпентиниттердің қалың мору қыртысы ие болады. Бұл қыртыста құрамында *ревдинскит, гарниерит*, никельді *галлуазиттер* және басқалар бар никельдің силикат рудалары жаралады (Оңтүстік Орал кенорындары). Силикаттар химиялық ыдыраған кезде, магнийдің негізгі массасы суда еріген CO_2 қосылысымен байланысады да мору қыртысының төменгі деңгейлеріне кетіп, мұнда *магнезит* түрінде шөгеді. Кремнийтотық кристалдық құрылымды силикаттар ыдыраған кезде коллоид ерітіндіге өтіп, оның бір бөлігін *нонtronит*, галлуазиттер түріндегі жаңажаралымдар берсе (темір телпек белдемінен төменде), енді бірі белгілі опал мен халцедон түрінде тұнып, олар төменгі деңгейлерде көбінесе метасоматоздық жолмен бастапқы таужыныстар орнында дамиды. Никель гидросиликаттары нонtronит дамыған белдемде жаралады. Құрамында кобальт пен никель бар марганец гидроокиселдері – *асболандар* кездеседі.

Ескерте кететіні, мору қыртыстарында жоғарыда аталған минералдардан басқа жаңа жаралымдар түрінде көптеген басқалары: гипс, арагонит, кальцит, ярозит, сомтума күкірт (гипс ыдыраған кезде), түрлі фосфаттар, ал құрғақ жерлерде таңдақтар түрінде – селитра, ашутастар және басқа оңай еритін сульфаттар, карбонаттар және әр түрлі элементтердің галоид қосылыстары да кездеседі.

Шөгінді таужыныстар және пайдалы қазба кенорындарының минералдары. Шөгінді жаралымдар минералогиясын зерделеу саласында Кеңес ғалымдары өте үлкен жетістіктерге жеткен (акад. Архангельский, Б.П. Кротов, Г.М. Страхов, Л.В. Пустовалов және басқалары). Біздің ғалымдардың шөгінділерде минералжаралудың физикалық-химиялық жағдайларына байланысты фациялық өзгерістерінің заңдылықтарын анықтау бойынша жетістіктері айрықша назар аударарлық.

Шөгінді қабатты таужыныстар мен рудалар негізінен көл және теңіз алаптарында жаралады. Олардың арасында екі негізгі топты бөледі: 1) *сынықты* немесе кластикалық таужыныстар, олар негізінен магмалық таужыныстар мен кристалды тақтатастардың механикалық қирау өнімдерінен тұрады; 2) *химиялық* тұнбалар - кристалды коллоидтық сондай-ақ органикалық жаралымды.

Сынықты шөгінді таужыныстардың (механикалық шөгінділердің) нағыз өкілдеріне құм мен құмтас жатады. Олар негізінен кварцтың, кейде айтарлықтай мөлшерде *далашпаттар* қоспаларының жұмырланған түйірлерінен тұрады. Кейде олардың құрамында бақалшақтар сынығы, *глауконит*, ал акцессорлардан - *магнетит, циркон, рутил, апатит, турмалин* және басқалар болады. Құмтастарда сынықтар арасындағы цемент рөлін саз зат, кейде карбонаттар (кальцит), одан сирек темір мен марганец

гидроокиселдері атқарады. Ірі түйірлі құмтас пен конгломератта сынықтар рөлін таужыныстар қиыршығы мен тасмалталары атқарады.

Егер шайылуға кенорындар және құрамында өнеркәсіптік жағынан маңызды химиялық төзімді минералдар (алмас, алтын, платина, касситерит және басқа) минералдар бар таужыныстар ұшыраса, онда механикалық шөгінділерді олардың қайта шайылу жағдайларында құнды минералдарға баюы орын алады да өзен және теңіз жағалауы шашылымдары жаралады.

Шөгінді таужыныстар жаралуға әкелетін химиялық процестердің ең өзіндік ерекшелігіне мына құбылыс жатады. Магмалық және біршама метаморфтық таужыныстарды құрайтын сілтілі және екі валентті металды (Ca, Mg, Fe, Mn) таужыныс жасаушы силикаттар мен алюмосиликаттар ыдыраған кезде, жылыстау процесінде бұл элементтер дараланады да бөлектеніп шөгінді түзіледі: бір жерлерде - Al гидросиликаттары (саз), басқа жерлерде – кремнийлі шөгінділер, үшіншілерінде – басым көпшілігінде Ca қосылыстары, төртіншілерінде – Al, Fe және Mn, бесіншілерінде - Na, K, Mg және сондайлар.

Қалың қатқабаттарды құрайтын саз, тақталанған саз және сазды тақтатастар негізгі массасында таужыныстардың қайта түзілген химиялық бүліну өнімдерінен: бір жағдайларда – *каолиниттен*, басқаларда – *бейделиттен*, *монтмориллониттен* тұрады. Қоспалар ретінде ең жиі кездесетіні сынықты кварц, кейде ол айтарлықтай мөлшерде болады (құмды саз), слюдалар, органикалық қалдықтар, майда дисперсиялық карбонаттар (мергель), сондай-ақ опал, Fe гидроокиселдері, мельниковит, кейде конкрециялар түрінде марказит пен пирит, көмірлі немесе битумды заттар және басқалар.

Бір бөлігі химиялық жолмен түзілген кремнийтотықтан тұратын кремнийлі шөгінді таужыныстардан - *опалдан*, *хальцедоннан*, кейде *кварцтан* құралады. Органикалық қалдықтардан бір таужыныстарда губкалардың кремнийлі спикулаларының мол сынықтары (спонголиттер), басқаларда – радиоляриялар (тығыз яшма), үшіншілерінде – диатомдар қаңқасы (қопсық трепел) болады. Құрамында органикалық қалдықтар жоқ жеңіл, майда кеуек опал-хальцедон таужыныстар *опока* деп аталады. Қоспалардан саз заттар (каолинит), кейде глауконит, кварц сынықтары және басқа минералдар жиі кездеседі.

Ашылымдарда көбінесе зор массивтер түрінде болатын карбонат таужыныстар (әктас және доломит) тұтастай дерлік *кальциттен* немесе *доломиттен*, немесе осы минералдар қоспасынан тұрады. Көбінесе саз зат кластикалық материал (кварц), глауконит, кейде хальцедон-кварц жиырылымдары (шақпақтас), фосфорит конкрециялары, кейде целестин, барит, гипс, сондай-ақ битум және газ (күкірт сутек) шоғырлары болады. Көптеген әктаста көп немесе аз мөлшерде әр түрлі организм қалдықтары – маллюска, брахиопод, фораминифер жарғақтарының сынықтары, маржан сынықтары және басқалар байқалады. Әктастың кейбір түрлестері (оолиттік) колоидтық-химиялық шөгінділер белгілеріне ие болады.

Темірге бай колоидтық-химиялық шөгінділер (темір руда кенорындары) солтүстік алқаптардың кейбір тұщы сулы көлдерінде (сондай-ақ батпақтарында), ал ірі қазба шөгінді кенорындары геологиялық деректерге сай лагуналарда немесе теңіз алаптарының жағалау зоналарында орналасады (Керчь кенорны).

Шөгінді темір кенорындарының басты минералдарына үш валентті темір гидроксидтері – *лимонит* пен *гётит* (көбінесе сидериттің, темір гидросиликаттарының тотығу өнімдері ретінде) жатады. Олармен бірлестікте кейде *опал*, *вивианит*, *барит*, *марганец окиселдері* және басқалар байқалады. Тереңдеу сулық фациялар темірдің оолиттік гидросиликаттарынан (лептохлориттерден), шамозиттен, тюрингиттен және екі валентті темірге бай басқа да хлориттерден тұрады, көбінесе *сидеритпен* бірлестікте болады. Сидерит сондай-ақ дербес қабаттар түрінде де кездеседі (Аят және басқа кенорындар, Солтүстік Қазақстан). Сидеритке қоспа түрінде көбінесе *сульфидтер* (пирит кейде пирротин) анықталады да олар айтарлықтай шоғырларды өте сирек жасайды.

Марганецтің шөгінді кенорындары көпшілік бөлігінде кремнийлі немесе кремнийлі-сазды шөгінді таужыныс қатқабаттарында орналасады. Олардың құрамы бойынша ажыратылатын *фацияларының алмасуы* түбегейлі зерделенген. Жағалау маңы бөлікшелердің рудасы басым көпшілігінде төрт валентті марганец қосылыстары *пиролозит* пен *псиломеланнан* тұрады да қопсық опалмен және сазды заттармен сүйемелденеді. Жаға сызығынан алыстай беретін тереңдеу сулы зоналарында, оттегі жеткіліксіз жағдайларда бұл руда манганит рудасымен алмасады, оның құрамындағы марганецтің бір бөлігі енді Mn^{2+} түрінде болады, көбінесе глауканит пен (кремнийлі қабатшаларда) бірлеседі. Ақыр соңында, жаға сызығынан оданда алыста *родохрозиттен*, *манганкальциттен* (яғни құрамындағы марганец тек екі валентті күйдегі марганецтен тұратын) құралады да опалмен, сондай ақ марказитпен, пиритпен кейде баритпен және басқалармен бірлестікте болады. Бұл жағдай күкірт сутек ашитын және су түбіне шөгетін органикалық қалдықтардың CO_2 жасап ыдырайтын, айқын тотықсыздану жағдайларында болатынын көрсетеді. Мысалы, Чиатура, Полуночное және басқа кенорындардағы марганецті шөгінділердегі фациялық өзгерістердің заңдылықтары осындай.

Қайраңның тереңдеу сулы бөлікшелерінде орналасқан *фосфорит* кенорындары жиырылымдар конкрециясы немесе оолиттер түрінде карбонат таужыныстар немесе глауконитті құмтастар арасында жатады. Кальций фосфаты шоғырларында кварц құм түйірлері, *глауконит* кейде *пирит* және басқа минералдар жиі анықталады. Қазіргі түсініктер бойынша (А.В. Казаков) өлетін теңіз организмдері құрамында болатын фосфаттарды ерітіндіге өткізетін басты агентке көмір қышқылы жатады. Оның мөлшері фитопланктон зонасынан төмен су қабаттарында өлетін тіршілік затының тотығуына байланысты артады. Мұхит суының 300–400 м-ден 1000–1500 м тереңдікте CO_2 және фосформен баюы осымен түсіндіріледі. Осындай құрамында CO_2 және P мол су түптік ағыспен өрлеуіне байланысты

жағдайларында көмір қышқылдың бір бөлігі фитопланктон зонасына кетуі орын алады. Осыған байланысты және судың фосфорға мольуы колоидтық фосфаттың фосфорит жиырылымдары түрінде шөгіндіге тұнады.

Тұз түзілімдері кристалл шөгінділер түрінде ыстық құрғақ климат жағдайларында кебірсіген көлдерде немесе жартылай оқшауланған теңіз алаптарында жаралады. Құрамына көбінесе кіретін хлориттер – *галит*, кейде *сильвин*, *карналлит* және басқалар; сульфаттар – *мирабилит*, *тенардит*, *астраханит*, *эпсомит*, *кизерит*, *каинит*, *полигалит*, *гипс*, *ангидрит* және басқалар. Тұздардың теңіз суынан тұнуы, қабаттар кезектесуінің реттілігіне байқаулар және Вант-Гофф, акад. Н.С. Курнаков және оның шәкірттері жүргізілген физикалық-химиялық зерттеулер көрсеткендей, белгілі бір ретпен жүреді: алдымен қиын еритін тұздар тұнады (кальций карбонаттары мен сульфаттары), ал өте жеңіл еритін қосылыстар (сульфаттар және әсіресе Mg мен K хлоридтері) ең соңғы сәтке дейін ерітіндіде қалады. Бірақ тұну реті сондай-ақ ерітіндідегі тұздар *концентрациясының қатынасына* күшті байланысты болады. Кейбір оңайлау еритін тұздар мөлшері ерітіндіде жоғары болған жағдайда бірінші болып тұнады.

Мінсіз жағдайда тұздардың теңіз суынан бөлінуі мынадай ретпен жүреді: 1) гипс, ангидрит; 2) галит - гипспен, ангидритпен және полигалитпен бірлестікте; 3) кизерит - галитпен, каинитпен, полигалитпен және басқалармен; 4) карналлит – галитпен, кизеритпен және басқаларымен; 5) бишофит – карналлитпен, галитпен және басқа оңай еритін тұздармен. Бұдан шығатыны, калий мен магний тұздары тұзды алаптар кебуінің соңғы сәттерінде тұнады. Бірақ табиғи жағдайда кристалл тұздар шөгуінің қатал реттілігі сақталуына жағдайлар әрдайым жасала бермейді. Шөгінділер түзілуінде байқалатын кезектесу мен қайталанулар, кейде геологиялық кимада кейбір тұзды таужыныстардың жоқ болуы және басқалар мынаны айтады - белгілі бір себептерге байланысты кебірсіген алаптар режимінің жағдайлары, атап айтқанда ерітінділердегі тұздар концентрациясының қатынасы өзгерген.

Тұзды түзілімдерде және де кальцит, доломит, борқышқылы қосылыстары (борацит) кездеседі. Бораттар кейде дербес тұнбалар жасап, олардың құрамында *гидроборацит*, *колеманит*, *пандермит*, *борнатрокальцит*, *бура*, *ашарит* (туынды жаралымдар түрінде) және басқалар болады. Оның мысалына Индер кенорны жатады. Сондай-ақ *сода* көлдері де белгілі. Битумды доломиттенген әктаспен және тастұзбен сүйемелденетін гипс пен ангидрит тұзды қатқабаттарында *сомтума күкірттің* ірі кенорындары орналасады. Онымен бірлестікте жиі кальцит, арагонит, доломит, гипс, кейде целестин, барит, опал, халцедон, қатты және сұйық битумдер анықталады.

Гипс пен ангидрит, одан басқа, жер шарының көптеген жерлерінде қалыңдығы үлкен дербес қатқабаттарды құрайды.

Шөгінді жаралымдарға зор өнеркәсіптік мәнге ие *каустобиолиттер* – көмір, мұнай және онымен байланысты газдар мен қатты битумдер, сондай-ақ шымтезек пен сапропель жатады. Олардың барлығы *биохимиялық*

жаралымдар болып табылады да өсімдік және кейде жануар организмдері бойынша пайда болады. Көмірлі түзілімдерде бейорганикалық минералдардан кластикалық материалдан басқа темір сульфидтері – *пирит*, *марказит*, өте сирек галенит, сфалерит және карбонаттар кездеседі. Көмірлі-сазды шөгінділерде *сферосидерит* конкрецияларының қабат тәрізді шоғырлары да жиі кездеседі, кейде олардың құрамында сульфидтер болады. Олар мұрыған кезде қошқыл теміртастар жаралады.

Метаморфталған таужыныстар мен руда кенорындарының минералдары. Осы кітаптың жалпы бөлігінде айтылып кеткендей, аймақтық метаморфизм деп аталатын кезінде эндогендік және әсіресе экзогендік жаралымдар тек қана құрамында емес, сондай-ақ таужыныстар рудаларының құрылымы мен физикалық қасиеттерінде де күшті өзгеріске ұшырайды. Метаморфизмнің физикалық-химиялық жағдайларына байланысты - тереңдігіне (қысымға), температураға, бастапқы таужыныстардың және метаморфтаушы постмагмалық ерітінділердің құрамына - құрамы бойынша сан қилы кристалды тақтатастар жаралады: далашпаттарға бай гнейстер, слюдалы тақтатастар, амфиболиттер, талькті тақтатастар, хлоритті тақтатастар, сондай-ақ серпентиниттер, мәрмәр және басқа метаморфтық таужыныстар. Осы барлық көптеген таужыныстардағы минералдық ассоциацияларды санамалауға біз тоқталмаймыз. Тек метаморфтық процестердің кейбір ерекшеліктеріне тоқталып, әдеттегі таужынысжасаушы минералдармен қатар, оларда кездесетін өзіндік сипатқа ие минералдарды атап өтеміз.

Ең алдымен айта кететіні, шөгінді жаралымдар бойынша жаралатын метаморфтық таужыныстардың құрамы өзгеше болады. Жоғарыда ол туралы айтылып кеткендей, шөгінді таужыныстар (саз, кремнийлі шөгінділер, әктас және басқалар) өзінің басты массасында құрамы бойынша өзара айтарлықтай айрықшаланатын эндогендік таужыныстардың мұру процесі кезінде босап шығатын қосылыстардың дифференциациялану өнімдері болып табылады. Құрамында сілті жерлер жоқ дерлік саз және сазды тақтатастар метаморфталған кезде тіпті өзгеше таужынысжасаушы минералдар пайда болады – алюминий силикаттары: *кианит*, *силлиманит*, *андалузит*, *стравролит*, *морт слюдалар* және басқалар. Тек сілтілер әкелінгенде ғана солар бойынша серицитті және слюдаұстамды тақтатастар жаралады. Кремнийлі шөгінділер метаморфизм процесіне тығыз кварц-халцедон таужынысқа (яшмаға) немесе кварцитке айналады. Негізінен карбонат таужыныстар метаморфизмінде Д.С. Коржинский көрсеткендей, онша үлкен емес тереңдік жағдайларында Са силикаттары орнықты бола алады: *воластонит*, *гроссуляр*, *диопсид* кальцитпен және доломитпен бірлестікте. Бірақ тереңдеу жағдайларда воластониттің орнына кварц пен кальциттің бірлестігі орнықтылау, ал одан да тереңдеу жағдайда гроссуляр да орнықсызға айналады да парциал қысымы тереңге қарай артатын көмірқышқылдың ыдырауына ұшырайды.

Тұзды шөгінділер (К, Na, Mg хлоридтері мен сульфаттары), сондай-ақ гипс, ангидрит, алунит және басқа сульфаттар тереңдік аймақтық

метаморфизм жағдайларында *толық* жойылады. Сомтума күкірт пен фосфориттер де сақталмайды. Әрине, бұл қосылыстардың элементтері постмагмалық ерітінділерде жылыстауға ұшырайды.

Темір мен марганецтің шөгінді кенорындары метаморфизм процесінде олар да айтарлықтай өзгерістерге ұшырайды. Экзогендік жағдайларда орнықты коллоид гидроокиселдер сусыз қосылыстарға айналады: мысалы, лимонит пен гетит – *гематит* пен *магнетитке*; темір гидросиликаттары – *кварц* пен *магнетит* қоспасына немесе сусыз силикаттарға; псиломелан мен манганит – *браунитке*, *гаусманитке* және кремнийтотық болғанда Mn силикаттарына - *родонитке*, *тефроитке*, *марганецті анартастарға* және сондайларға.

Көптеген метаморфталған кенорындарда әдетте рудалардың қабатты құрылысы сақталады. Күшті бір жақты динамикалық әрекеттен ұсақ қатпарлар жаралады. Көптеген кристалды тақтатастарда жаңажаралымдар ретінде жиі *анартастар* (альмандин, пироп және басқа) таралады, олар әдетте біршама ірі кристалдарда жақсы жаралады, сондай-ақ *кордиерит*, әр түрлі *пироксендер* мен *амфиболдар*, *шпинель*, *магнетит*, *рутил*, *графит* және басқалар жаралады.

Метаморфтық пайдалы қазба кенорындары. Кенорындардың бұл тобына жалпы бөлікте көрсетілгендей, метаморфизм процесінде оған дейін практикалық қызығушылыққа ие болмаған таужыныстардан және басқа жаралымдардан *пайда болғандар* жатады.

Мысалына оттөзімді шикізат ретінде пайдаланылатын *кианит* кенорыны жатады. Бұл кенорындар алюмототықа бай таужыныстар бойынша пайда болған, кианитке бай кристалды тақтатас түрінде жаралады. Кенорындарда дистенмен бірлестікте *слюда*лар, *андалузит*, *ставролит*, кейде *корунд*, рутил, турмалин және басқалар кездеседі

Осындай жаралымға *анартастың* (альмандин) түрлі шикізаты ретіндегі кейбір кенорындары ие болады, олар слюдалы тақтатастарда орналасады. Бұл тақтатастар құрамында слюда (әдетте биотит) мен анартастан басқа *кварц*, *дистен*, ставролит, кейде рутил, циркон, турмалин және басқалар болуы ықтимал.

Тас көмірдің метаморфизмі жолымен пайда болған *графит* кенорны да өзінше орын алады. Бұл жағдайда графит қайта жаралған минералдық шикізат ретінде енді жанғыш қазба болмайды, өйткені ол бастапқы қасиеттерін толықтай жоғалтады. Бұл кенорындарға графиттің тас көмірден жаралғандығын оның дербестік жазықтықтары бойынша өсімдік таңбаларының сақталуы дәлел бола алады.

Минералогиялық және практикалық жағынан айрықша қызығушылыққа альпілік типті желілер деп аталатындар (*60-суретте*) ие болады, олар аймақтық метаморфизм процесінде пайда болған жарықшақтар айрылымында орналасады. Бұл желілердің кеңдеу жерлеріндегі ірі друза қуыстарында («хрусталь жертөлелерінде») жақсы жаралған мынадай кристалдар назар аударады: *тау хрусталі*, оның кристалдары пьезоэлектрлік қасиетке ие, *хлорит*, *эпидот*, *актинолит*, *адуляр*, *альбит*, *брукит*, *рутил*,

анатаз, сфен, кальцит және басқалар. Аса назар аударатыны, бұл желілерде дамитын минералдар, олар таужынысжасаушылар ретінде метаморфтық таужыныстарды сыйыстыратындар құрамына қатысатындардың өзі болады. Бұл жағдай олардың кеңейетін қуыс жарықшақтарда таужыныстар метаморфизмімен бір мезгілде осы бір метаморфтанушы ерітінділердің қатысуымен жаралатынын көрсетеді.

Қорытындылау. Жаралуы бойынша әр түрлі таужыныстар мен рудаларда таралған сан қилы минералдық ассоциацияларды өзара салыстыру жолымен жалпылама қарастыру, химиялық элементтердің жер қыртысында *жылыстау тарихы* мәселелері бойынша маңызды қорытындыға әкеледі. Геологиялық құбылыстар дамуының әр бір берілген сатысында элементтердің минералжаралу процестері кезінде химия, кристалхимия және физикалық химия заңдарына толық сай өздерін өздері ұстаудың өзіндік заңдылықтары анықталады.

Шын мәнінде, егер бастапқы магмалық кезеңде барлық химиялық элементтер (петрогендік те, металлогендік те) жалпы массасында біршама біркелкі таралған болса, магманың дифференциациясы мен кристалдану кезеңінде, әсіресе тереңдік жағдайларда біз басқа көріністі байқаймыз. *Металлогендік* элементтер (Pt, Cu, Fe, Au, Ag, Zn, Pb, Bi және басқалар) шоғырлануға күшті бейімделген бағытын байқатады және магманың ұшпа компоненттерінің қатысуымен петрогендік элементтерден кеңістікте окшауланады да *руда* (магмалық, жапсарлық-метасоматоздық, гидротермалық) кенорындарын жасайды. Петрогендік элементтер, керісінше, магмалық таужыныстар таралған кезде біршама біркелкі таралу күйінде қалады, тек магманың дифференциациясы процесі кезінде ғана біршама байытылады. Тек қана иондық радиустары шағын және өте ірі өлшемді элементтер салыстырғанда айтарлықтай мөлшерде пегматит жаралымдарда жинақталуға қабілетті.

Экзогендік процестерде біз нағыз қарама-қарсы құбылыстарды байқаймыз. Бұл процестер Күн энергиясы бойынша күшті тотығу ахуалы жағдайларында жүреді де эндогендік минералжаралу процестерінде жасалғандардың барлығына теріс бағытта әсер етеді. Ақырғы сатысында шөгінді таужыныстардың зор қатқабаттары жаралуына әкеледі. Мұнда *металлогендік* элементтер өзінің басты массасында шөгінді таужыныстарда *сейілуге* ұшырайды (дара жағдайда Fe және Mn жатады, олар өздерінің қасиеті бойынша петрогендік пен металлогендік элементтер аралығында аралық жағдайдағы орында болады). Әрине, бастапқы кезеңде литосфераның ең жоғарғы жағында біз әлі кейбір металлогендік элементтердің тотығу және сульфид кенорындарының (Pb, Cu) қайта баю белдемдерінде шоғырлану құбылысын байқаймыз. Бірақ олардың экзогендік жаралымдардың барша массасы арасында мардымсыз мәні және ары қарайғы тағдыры (шөгіндіжаралу процестерінің даму барысында ұдайы сейілуі) оларға бір көріністі құбылыстар ретінде қарауға мәжбүрлейді. Керісінше, петрогендік элементтер (Na, K, Mg, Ca, Al, сондай-ақ C, Se, B, S, P, және басқалар) экзогендік процестер кезінде көптеген бейметалл пайдалы қазбалар (эктас,

гипс, тұзды көлдер түзілімдері, боксит, фосфорит, тас көмір, мұнай және басқа) жаралып, шоғырлануға айқын білінген бейімділігін білдіреді.

Өңірлік метаморфизм процестерінде шын мәнінде химиялық элементтердің қандай да бір айтарлықтай концентрациясы болмайды. Негізінен эндогендік процестер кезінде пайда болған минералдық өнімдердің тек түрленуі ғана орын алады.

МИНЕРАЛОГИЯ БОЙЫНША ӘДЕБИЕТТЕР

1. Оқулықтар және оқу құралдары

- Бати Х., Принг А.* Минералогия для студентов, М., 2001.
- Бери Л., Мейсон Б., Дитрих Р.* Минералогия. Теоретические основы. Описание минералов. Диагностические таблицы. М, 1987.
- Бокий Г. Б.* Кристаллохимия. М., 1971.
- Булах А. Г.* Минералогия с основами кристаллографии. М., 1989.
- Булах А. Г.* Общая минералогия. СПб., 1999.
- Булах А. Г., Золотарев А. А., Кривовичев В. Г.* Классификация, формулы и структуры минералов. СПб., 2003.
- Годовиков А. А.* Введение в минералогию. Н., 1973.
- Годовиков А. А.* Минералогия. М., 1983.
- Доливо-Добровольский В. В.* Кристаллохимия. СПб., 1999.
- Егоров-Тисменко Ю. К., Литвинская М. П.* Теория симметрии кристаллов. М., 2000.
- Егоров-Тисменко Ю. К.* Кристаллография и кристаллохимия. М., 2005.
- Козлова О. Г.* Рост и морфология кристаллов. М., 1980.
- Костов И.* Минералогия. М., 1971.
- Краснов И. И., Петрова Т. Г.* Генезис минеральных индивидов и агрегатов. СПб., 1997.
- Лазаренко Е. К.* Курс минералогии. М., 1971.
- Ляхович В. В.* Акцессорные минералы горных пород. М., 1979.
- Миловский А. В., Кононов О. В.* Минералогия. М., 1982.
- Попов Г. М., Шафраповский И. И.* Кристаллография. М., 1972.
- Пуцаровский Д. Ю.* Структура и свойства кристаллов. М., 1982.
- Пуцаровский Д. Ю., Урусов В. С.* Структурные типы минералов. М., 1990.
- Пуцаровский Д. Ю.* Рентгенография минералов. М., 2000.
- Смольянинов И. А.* Практическое руководство по минералогии. М., 1972.
- Станкеев Е. С.* Генетическая минералогия. М., 1986.
- Татарский В. Б.* Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов. М., 1965.
- Терехов В. Я., Егоров П. И., Баюшкин И. М., Минеев Д. А.* Минералогия и геохимия редких и радиоактивных металлов, М., 1987.
- Урусов В. С.* Теоретическая кристаллохимия. М., 1987.
- Эшкип В. Ю.* Поисковая минералогия и минералогическое картирование. Л., 1989.
- Беспяев Х.А.; Козловская З.А.; Митряева Н.М.* Минералы Казахстана. Алма-Ата 1989.
- Беспяев Х.А.; Козловская З.А.; Митряева Н.М.* Минералы Казахстана. Алма-Ата 1990.

2. Әдістемелік әдебиеттер

- Азаров Л., Бургер М.* Метод порошка в рентгенографии. М., 1961.
- Бахтин А. И., Горобец Б. С.* Оптическая спектроскопия минералов и руд и ее применение в геологоразведочных работах. Казань, 1992.
- Берлинский А. И.* Разделение минералов. М., 1975.
- Борнемаи-Старынкевич И. Д.* Руководство к расчету формул минералов. М., 1964.
- Биродаев Ю. С., Еремин П. И., Мельников Ф. П., Старостин В. И.* Лабораторные методы исследования минералов, руд и пород. М., 1988.
- Булах А. Г.* Руководство и таблицы для расчета формул минералов. М., 1967.
- Булах А. Г.* Методы термодинамики в минералогии. Л., 1968.
- Вотьяков С. Л., Краснобаев А. А., Крохалев В. Я.* Проблемы прикладной и интроскопии минералов. Екатеринбург, 1993.
- Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Посухова Т. В., Сергеева Н. Е.* Электроно-зондовые методы изучения минералов. М., 1987.
- Гинзбург А. И., Кузьмин В. И., Сидоренко Г. А.* Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. М., 1981.
- Глазов А. И.* Методы морфометрии кристаллов. Л., 1981.
- Грицаенко Г. С., Звягин Б. Б., Горшков А. И.* Электронная микроскопия минералов. М., 1969.
- Джонс М. П.* Прикладная минералогия. Количественный подход. М., 1991.
- Дриц В. А.* Структурные исследования минералов методами микро-дифракции и электронной микроскопии высокого разрешения. М., 1981.
- Ермаков И. П., Долгов Ю. А.* Термобарогеохимия. М., 1979.
- Жданов Г. С., Илюшин А. С., Никитина С. В.* Дифракционный и резонансный структурный анализ. М., 1980.
- Звягин Б. Б., Врублевская З. В., Жухлистов А. П. и др.* Высоковольтная электронография в исследовании слоистых минералов. М., 1979.
- Зевин Л. С., Завьялова Л. Л.* Количественный рентгенографический фазовый анализ. М., 1974.
- Липсон Г., Стилл Г.* Интерпретация порошковых рентгенограмм. М., 1972.
- Изоитко В. М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб., 1997.
- Ильинский Г. А.* Определение плотности минералов. М., 1975.
- Ильинский Г. А.* Методические указания по минералогическому анализу шлихов. Л., 1983.
- Кантор Б. З.* Коллекционирование минералов. М., 1982.
- Лебедева С. И.* Микротвердость минералов. М., 1977. *Ляхович В. В.* Методы сепарации акцессорных минералов. М., 1981. Методические основы исследования химического состава горных пород, руд и минералов. Под ред. Г. В. Остроумова. М., 1979.

Методы минералогических исследований. Справочник. Под ред, А. И. Гинзбурга. М., 1985.

Мокиевский В. А. Морфология кристаллов. Методическое руководство. Л., 1983.

Онтогенетические методы изучения минералов. Под ред. А. Г. Жабина. М., 1970.

Павлова Л. А., Белозерова О.Ю., Ларадина Л. Ф., Суворова Л. Ф. Рентгеноспектральный электронно-зондовый микроанализ природных объектов. Н., 2000.

Попов В. А. Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск, 1984.

Рид С. Электронно-зондовый микроанализ. М., 1979.

Руководство по рентгеновскому исследованию минералов. Под ред. В. А. Франк-Каменецкого. Л., 1975.

Саранчина Г. М., Кожевников В. И. Федоровский метод. Определение минералов, микроструктурный анализ. Л., 1985.

Сахарова М. С., Черкасов Ю. А. Иммерсионный метод минералогических исследований. М., 1970.

Соболев Р. Н. Методы оптического исследования минералов. М., 1990.

Стенина Н. Г. Просвечивающая электронная микроскопия в задачах генетической минералогии. Н., 1985.

Стойбер Р., Морзе С. Определение кристаллов под микроскопом. М, 1974.

Термический анализ минералов и горных пород (Сборник статей). Л., 1974.

Трофимов Н. И., Шумейко Б. Н., Драпцова М. А. Минералогический анализ шлихов. М., 1980.

Универсальный столик Е. С. Федорова (Сборник статей). М., 1953.

Фекличев В. Г. Универсальный теодолитный метод. М., 1967.

Фекличев В. Г. Микрокристалломорфологические исследования. М., 1970.

Фекличев В. Г. Диагностика минералов. Теория, методика, автоматизация. М., 1975.

Электронная микроскопия в минералогии. Под ред. Г. Р. Венка. М., 1979.

3. Анықтамалықтар

Вертушков Г. И., Авдонин В. Н. Таблицы для определения минералов по физическим и химическим свойствам. М., 1980.

Венерин П. П., Журавлев В. В., Квасков В. Б. Природные алмазы России: Научно-справочное издание. М., 1997.

Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. М., 1953.

Винчелл А. И., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов. М., 1967.

Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Я., Прохоров В. Г. Справочник по геохимии. М., 1990.

Горобец Б. С., Рогожин А. А. Спектры люминесценции минералов. М., 2001.

Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Д. Ж. Породообразующие минералы. М., Т. I, II, 1965, Т. III-V, 1966.

Дэна Д., Дэна Э., Пэлач Ч. и др. Система минералогии. М., Т. I-II. 1950-1954 (т. II, вып. 2 до сих пор является наиболее полным среди изданных на русском языке справочником по минералогии фосфатов, карбонатов, сульфатов и других кислородных солей (кроме силикатов)).

Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Фрондель К. Система минералогии. Минералы кремнезема. М., 1966.

Захарова Е. М. Атлас минералов россыпей. М., 2006.

Куликов Б. Ф., Зуев В. В., Вайншенкер И. А., Митенков Г. А. Минералогический справочник технолога-обогапителя. Л., 1985.

Ларсен Е., Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. М., 1965.

Лодочников В. Н. Главнейшие породообразующие минералы. М., 1974.

Малинко С. В., Халтурина И. И., Озол А. А., Бочаров В. М. Минералы бора. Справочник. М., 1991.

Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., 1957.

Минералогическая энциклопедия. Под ред. К. Фрея. Л., 1985.

Минералы. Справочник. Т. I-V. М., 1960-2003 (наиболее полный из числа изданных на русском языке фундаментальный справочник, охватывающий большинство классов минералов: простые вещества и халькогениды (Т. I); галогениды (Т. II/1); гидроксиды и простые оксиды (Т. II/2); сложные оксиды (Т. II/3); силикаты и алюмосиликаты (Т. III—V)).

Митчелл Р. С. Названия минералов. Что они означают. М., 1982.

Пятенко Ю.А., Курова Т. А., Черницова И. М. и др. Ниобий, тантал и цирконий в минералах. Кристаллохимический справочник. М., 1992.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., 1962.

Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты). Под ред. В. А. Франк-Каменецкого. Л., 1983.

Самсонов Я. П., Туринге А. П. Самоцветы СССР. Справочное пособие. М. 1984.

Семенов Е. И. Минералогический справочник. М., 2002.

Типоморфизм минералов. Справочник. Под ред. Л. В. Чернышевой. М., 1989.

Треггер В. Е. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. М., 1980.

Трушкова Н. Н., Кухареико А. А. Атлас минералов россыпей. М., 1961.

Фекличев В. Г. Диагностические спектры минералов. Справочник. М., 1989.

Флейшер М. Словарь минеральных видов. М., 1990.

Флейшер М., Уилкокс Р., МатцкоДж. Микроскопическое определение прозрачных минералов. М., 1987.

Юшко-Захарова О. Е., Иванов В. В., Соболева Л. И. и др. Минералы благородных металлов. Справочник. М., 1986.

ШтрунцХ. Минералогические таблицы. М., 1962.

Clark A. M. Heu's mineral index: Mineral species, varieties and synonyms. L, 1993.

DoeiterС. Handbuchder Mineralchemie. I—IV. Dresden — Leipzig, 1912-1934.

Farmer V. C. The infrared spectra of minerals. London, 1974.

Gaines B. 5. et al. Dana's new mineralogy: The system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana. NY etc., 1997.

Hintze С Handbuch der Mineraiogie. Leipzig, 1915.

MandarinoJ. A., Malcolm E, Back. Fleisher's glossary of mineral species. Tucson, 2004.

4. Жалпы, құрылымдық және генетикалық минералогия мәселелері бойынша жинақтар мен монографиялар

Асхабов А. М. Процессы и механизмы кристаллогенезиса. Л., 1984.

Барабанов В, Ф. Генетическая минералогия. Л., 1977.

Белов И. В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз. АН СССР, 1947.

Белов И. В. Очерки по структурной минералогии. М., 1976.

Белов И. В, Очерки по структурной кристаллографии и федоровским группам симметрии. М., 1986.

Белов Н. В. Очерки по структурной минералогии академика Н. В. Белова (составители Е. Н. Белова, Е. А. Победимская). Итоги науки и техники. Кристаллохимия. Т. XXX. М., 1995. (В сборнике представлены очерки, не вошедшие в издание 1976 г.)

Белов Н. В., Годовиков А. А., Бакакин В. В. Очерки по теоретической минералогии. М., 1982.

Бергер Г, С. Флотированность минералов. М., 1962.

Бергер М. Г. Терригенная минералогия. М., 1986.

Бетехтин А, Г., Генкии А. Д., Филимонова Л. А., Шадлун Т. Н. Текстуры и структуры руд. М., 1958.

Брэгг У., Кларингбулл Г Кристаллическая структура минералов. М., 1967.

Булах А. Г., Кривовицев В. Г., Золотарев А. А. Формулы минералов. Термодинамический анализ в минералогии и геохимии. СПб., 1995.

Верма А., Кришина П. Полиморфизм и политипизм в кристаллах. М., 1969.

Вернадский В. И. Кристаллография. Избранные труды. М., 1988.

Вернадский В, И. Минералогия. Избранные труды. М., 2002.

Власов К. А. и др. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. 1-III. М., 1964.

Воробьев Ю. К. Закономерности роста и эволюции кристаллов минералов. М., 1990.

Гаррелс Р. Минеральные равновесия. М., 1962.

Генезис минеральных индивидов и агрегатов (Сборник). М., 1966.

Годовиков А. А. Химические основы систематики минералов. М., 1979.

Годовиков А. А. Структурно-химическая систематика минералов. М., 1997.

Головин Ю. И. Введение в наноминералогия. М., 2003. *Григорьев Д. П.* Онтогенез минералов. Львов, 1961. *Григорьев Д. П.* Основы конституции минералов. М., 1966. *Григорьев Д. П., Жабин А. Г.* Онтогенез минералов. Индивиды. М., 1961. *Григорьев Д. П., Шафрановский И. И.* Выдающиеся русские минералоги. М.-Л., 1949.

Евзикова Н. З. Поисковая кристалломорфология. М., 1984.

Ермаков Н. И. Геохимические системы включений в минералах. М., 1972.

Жабин А. Г. Онтогенез минералов. Агрегаты, М., 1979.

Захарова Е. М. Минералогия россыпей. М., 1994.

Калюжный В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах. Киев, 1982.

Капустин Ю. Л. Минералогия карбонатитов. М., 1971.

Киевляк Е. Я., Чупров В. И., Драмшева Е. Е. Декоративные коллекционные минералы. М., 1987.

Коржинский Д. С. Физико-химические основы анализа парагенезиса минералов. М., 1973.

Кудрявцева Г. Р., Гаранин В. К., Жилева В. А., Трухин В. И. Магнетизм и минералогия природных ферромагнетиков. М., 1982.

Кухаренко А. А. Минералогия россыпей. М., 1961.

Лазаренко Е. К. Основы генетической минералогии. Львов, 1963.

Лазаренко Е. К. Опыт генетической классификации минералов. Киев, 1979.

Леммлейн Г. Г. Морфология и генезис кристаллов. М., 1973.

Малеев М. Н. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М., 1971.

Марфунин А. С. Введение в физику минералов. М., 1974.

Марфунин А. С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. М., 1975.

Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. Сборник статей. Под ред. А. И. Гинзбурга. М., 1980.

Никель Е. Х., Мандарино Д. А. Порядок рассмотрения материалов, представленных в комиссию по новым минералам и названиям новых минералов при Международной минералогической ассоциации и некоторые вопросы минералогической номенклатуры. Минер, журн. 1989. Т. II. № 1. С. 51.

- Никифоров К. А., Ревнищев В. И.* Направленные превращения минералов. Н., 1992.
- Основные понятия минералогии. Сборник трудов. Под ред. Е. К. Лазаренко. Киев, 1978.
- Павлишин В. И., Юшкин Я. П., Попов В. Л.* Онтогенический метод в минералогии. Киев, 1988.
- Патнис А., Мак-Коннелл Дж.* Основные черты поведения минералов. М., 1983.
- Перчук Л. Л.* Равновесия породообразующих минералов. М., 1970.
- Платонов А. Я.* Природа окраски минералов. Киев, 1976.
- Поваренных А. С.* Твердость минералов. Киев, 1963.
- Поваренных А. С.* Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев, 1966.
- Поваренных А. С., Оноприенко В. И.* Минералогия: прошлое, настоящее, будущее. Киев, 1985.
- Попов В. А., Попова В. И.* Парагенезисы форм кристаллов минералов. Миасс, 1996.
- Сравнительная кристаллохимия (Сборник статей). М., 1987.
- Семенов Е. И.* Типохимизм минералов щелочных массивов. М., 1977.
- Семенов Е. И.* Систематика минералов. Л., 1991.
- Таращан А. Я.* Люминесценция минералов. Киев, 1978.
- Урусов В. С.* Энергетическая кристаллохимия. М., 1975.
- Урусов В. С.* Теория изоморфной смесимости. М., 1977.
- Урусов В. С., Дубровинская Н. А., Дубровинский Л. С.* Конструирование вероятных кристаллических структур минералов. М., 1990.
- Ферсман А. Е.* Избранные труды. Т. I-VII. М., 1952-1962.
- Франк-Каменецкий В. А.* Природа структурных примесей и включений в минералах. Л., 1964.
- Хисина И. Р.* Субсолидусные превращения твердых растворов породообразующих минералов. М., 1987.
- Хомяков А. П.* Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М., 1990.
- Челищев Я. Ф.* Ионнообменные свойства минералов. М., 1973.
- Шафрановский И. И.* Кристаллы минералов. Кривогранные, скелетные и зернистые формы. М., 1961.
- Шафрановский И. И.* Лекции по кристалломорфологии. М., 1968.
- Шафраговский И. И.* Очерки по минералогической кристаллографии. Л., 1974.
- Шафрановский И. И., Шафрановский Г. И.* Гармония мира минералов. СПб., 1992.
- Штукенберг А. Г., Путин Ю. О.* Оптические аномалии в кристаллах. СПб., 2004.
- Юшкин Я. П.* Механические свойства минералов. Л., 1971.
- Юшкин Н. Я.* Теория и методы минералогии. Избранные проблемы. М., 1977.

Юшкин Я. П. Топоминералогия. М., 1982.

Юшкин Я. Я., Шафрановский И. И., Янулов К. П. Законы симметрии в минералогии. Л., 1987.

5. Минералдардың жекелеген кластарының және топтарының минералогиясы бойынша жинақтар мен монографиялар

Андреев Б. С. Пирит золоторудных месторождений. М., 1992,
Афоница Г. Г., Макагон В. М., Богданова Л. А., Зорина Л. Д. Турмалин (рентгенография и типоморфизм). Н., 1990.

Белов Я. В. Кристаллохимия силикатов с крупными катионами. М., 1961,

Бенеславский С. И. Минералогия бокситов. М., 1963.

Бескрованов В. В. Онтогения алмаза. Н., 2000.

Бокий Г. Б. Систематика природных силикатов: Итоги науки и техники. Кристаллохимия. Т. XXXI. М., 1997.

Бокий Г. Б., Безруков Г. Я., Клюев Ю. А. и др. Природные и синтетические алмазы. М., 1986.

Боришанская С. С., Виноградова Р. А., Крутов Г. А. Минералы никеля и кобальта. М., 1981.

Буканов В. В. Горный хрусталь Приполярного Урала. Л., 1974. *Валуи Г. А.* Полевые шпаты и условия кристаллизации гранитоидов. М., 1979.

Вальтер А. А., Еременко Г. К., Квасница В. Я. Ударно-метаморфогенные минералы углерода. Киев, 1992.

Васильев В. И. Минералогия ртути. Ч. I. Самородные металлы и их твердые растворы, амальгамиды, арсениды, антимониды, теллуриды, селениды. Н., 2004.

Васильев Е. К., Васильева Н. П. Рентгенографический определитель карбонатов, Н., 1980.

Васильев Е. К., Катаев Г. М., Угцановская З. Ф. Рентгенометрический определитель минералов (класс фосфатов). Н., 1979.

Воган Д., Крейг Дж. Химия сульфидных минералов. М., 1981.

Волластонит (Сборник статей). Под ред. В. П. Петрова. М., 1982.

Волошин А. В., Пахомовский Я. А. Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. Л., 1988.

Воронков А. А., Шумящая Я. Г., Пятенко Ю. Л. Кристаллохимия минералов циркония и их искусственных аналогов. М., 1978.

Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Сошкина Л. Т. Ильменит из кимберлитов. М., 1984.

Генкин А. Д. Минералы платиновых металлов и их ассоциации в медно-никелевых рудах Норильского месторождения. М., 1968.,

Годовиков А. А. Висмутовые сульфосоли. Н., 1970.

Годовиков А. А., Рипинен О. И., Моторин С. Г. Агаты. М., 1987.

Гончаров В. И., Городинский М. Е., Павлов Г. Ф. и др. Халцедоны Северо-Востока СССР. М., 1987.

Горжевская С. А., Сидоренко Г. А., Гинзбург А. И. Титано-танталониобаты. М., 1974.

Добрецов Н. Л., Кочкин Ю. Я., Кривенко А. П., Кутолин В. А. Породообразующие пироксены. М., 1971.

Дымков Ю. М. Природа урановой смоляной руды. М., 1973.

Жердева А. Н., Абулевич В. К. Минералогия титановых россыпей. М., 1964.

Звягин Б. Б. Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов. М., 1964.

Зубков Л. Б., Галецкий Л. С., Металиди С. В. Минералы гельвиновой группы и их месторождения. Киев, 1976.

Зубов В. И. Кристалломорфология киновари и ее использование при поисках ртутных месторождений. М., 1976.

Иванов В. Г., Сапожников А. И. Лазуриды Сибири. Н., 1985.

Карбонаты. Минералогия и химия. Под ред. Р. Дж. Ридера. М., 1987.

Кондратьева В. В. Рентгенометрический определитель боратов. Л., 1969.

Костов И., Минчева-Стефанова Й. Сульфидные минералы: Кристаллохимия, парагенезис, систематика. М., 1984.

Крамаренко Н. К. Фазовый состав, пластинчатое строение и иризация плагиоклазов. Киев, 1975.

Краснобаев А. А. Циркон как индикатор геологических процессов. М., 1986.

Кузьмин В. И., Добровольская Н. В., Солнцева Л. С. Турмалин и его использование при поисково-оценочных работах. М., 1979.

Кумеев С. С. Полевые шпаты — петрогенетические индикаторы. М., 1982.

Лapidес И. Л., Коваленко В. И., Коваль П. В. Слюды редкометалльных гранитоидов. Н., 1977.

Либав Ф. Структурная химия силикатов. М., 1988.

Литвин А. Л. Кристаллохимия и структурный типоморфизм амфиболов. Киев, 1977.

Макеев А. Б. Изоморфизм марганца и кадмия в сфалерите. Л., 1981.

Максимюк И. Е. Касситериты и вольфрамиты. М., 1973.

Менчинская Г. И. Бирюза. М., 1981.

Минералогия карбида кремния. Под ред. А. П. Обухова. Л., 1972,

Мозгова Н. Н. Нестехиометрия и гомологические ряды сульфосолей. М., 1985.

Мозгова Н. Я., Цепин А. И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). М., 1983.

Новгородова М. И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М., 1983.

Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. М., 1984.

- Павлишин В. И.* Типоморфизм кварца, слюд и полевых шпатов в эндогенных образованиях. Киев, 1983.
- Пеков И. В., Турчкова А. Г., Ловская Е. В., Чуканов Я. В.* Цеолиты щелочных массивов. М., 2004.
- Петровская Н. В.* Самородное золото. М., 1973.
- Пирогов Б. И., Пирогова В. В.* Минералогическое исследование железистых и марганцевых руд. М., 1973.
- Платонов А. И., Таран М. Я., Балицкий В. С.* Природа окраски самоцветов. М., 1984.
- Плюснина И. И.* Инфракрасные спектры силикатов. М., 1967.
- Прохоров В. Г.* Пирит. Красноярск, 1970.
- Пушаровский Д. Ю.* Структурная минералогия силикатов и их синтетических аналогов. М., 1986.
- Пятенко Ю. А., Воронков А. А., Пудовкина З. В.* Минералогическая кристаллохимия титана. М., 1976.
- Самсонова Н. С.* Минералы группы нефелина. М., 1973. *Семенов Е. И.* Минералогия редких земель. М., 1963. *Семущин В. Н.* Рентгенографический определитель цеолитов. Н., 1986. *Сендеров Э. Э., Хитаров Н. И.* Цеолиты, их синтез и условия образования в природе. М., 1970.
- Сендеров Э. Э.* Процессы упорядочения каркасных алюмосиликатов, М., 1990.
- Сидоренко Г. А.* Рентгенометрический определитель урановых и урансодержащих минералов. М., 1960.
- Сидоренко Г. А.* Кристаллохимия минералов урана. М., 1978. *Скропышев А. В., Кукуй А. Л.* Исландский шпат. Л., 1973. *Смолеговский А. М.* Развитие представлений о структуре силикатов. М., 1979.
- Соболев Н. В.* Парагенетические типы гранатов. М., 1964.
- Соболев Н. Д.* Введение в асбестоведение. М., 1971. *Сутурин Я. Л., Замалетдинов Р. С.* Нефриты. Н., 1984. *Федькин В. В.* Ставролит. М., 1975.
- Харькив А. Д., Квасица В. В., Сафронов А. Ф., Зинчук Н. И.* Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. Киев, 1989. *Цицишвили Г. В., Андроникашвили Т. Г., Киров Г. П., Филизова Л. Д.* Природные цеолиты. М., 1985.
- Чернышева Л. В., Смелянская Г. А., Зайцева Г. М.* Типоморфизм магнетита и его использование при поисках и оценке рудных месторождений. М., 1981.
- Чуканов Н. В., Пеков И. В., Задов А. Е. и др.* Минералы группы лабунцовита. М., 2003.
- Чухров Ф. В., Горшков А. И., Дриц В. А.* Гипергенные окислы марганца. М., 1989.
- Шумилова Т. Г.* Минералогия самородного углерода. Екатеринбург, 2003.
- Юдин И. А., Коломенский В. Д.* Минералогия метеоритов. Свердловск, 1987.

Юшкин Н. Я. Минералогия и парагенезис серы в экзогенных месторождениях. Л., 1968.

Юшкин И. П., Волкова И. В., Маркова Г. А. Оптический флюорит. М., 1983.

6. Аймақтық минералогия бойынша топтамалар мен монографиялар

Белогуб Е. В., Щербакова Е. П., Никандрова Н. К. Сульфаты Урала. Миасс, 2005.

Бонштедт-Куплетеная Э. М. Минералогия щелочных пегматитов Вишневых гор. М., 1951.

Власов К. А., Кутукова Е. И. Изумрудные копи. М., 1960.

Евсеев А. А. Географические названия в минералогии. Краткий указатель. Части I и II. М., 2000.

Евсеев А. А. Атлас мира для минералога. М., 2004.

Еськова Е. М., Жабин А. Г., Мухитдинов Г. М. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М., 1964.

Загорский В. Е., Перетяжко И. С. Пегматиты с самоцветами Забайкалья. Н., 1992.

Иванов О.К. Минеральные ассоциации Сарановского хромитового месторождения. Екатеринбург, 1997.

Иванюк Г. Ю., Яковенчук В. Н. Минералы Ковдора. Ковдор — Апатиты, 1997.

Кобяшев Ю. С., Макагонов Е. П., Никандров С. Я. Минералы Вишневых и Потаниных гор. Миасс, 2000.

Кобяшев Ю. С., Никандров С. Н., Вализер П. М. Минералы Ильменских гор. Миасс, 1998.

Конев А. А., Воробьев Е. И., Лазебник К. А. Минералогия Муруйского щелочного массива. Н., 1996.

Костылева-Лабунцова Е. Е., Боруцкий Б. Е., Соколова Я. М. и др. Минералогия Хибинского массива. Т. I и II. М., 1978.

Кудрявцев В. И. Камнесамоцветное сырье республики Тыва. Кызыл, 1996.

Кухаренко А. А. Алмазы Урала. М., 1955.

Лабунцов А. И. Пегматиты Северной Карелии и их минералы (В серии: Пегматиты СССР, Т. II). М.-Л., 1939.

Лазаренко Е. К., Гершойг Ю. Г., Бучинская И. И. и др. Минералогия Криворожского бассейна. Киев, 1977.

Лазаренко Е. К., Лавриненко Э. А., Барашиников Э. К., Малыгина О. А. Минералогия Закарпаття. Львов, 1963.

Лазаренко Е. К., Лазаренко Л. Ф., Бучинская Н. И. и др. Минералогия Приазовья. Киев, 1981.

Лазаренко Е. К., Павлишин В. И., Латыш В. Т., Сорокин Ю. Г. Минералогия и генезис камерных пегматитов Волыни. Львов, 1973.

Лазаренко Е. К., Панов Б. С., Павлишин В. И. Минералогия Донецкого бассейна. Киев, 1975.

Лазаренко Е. К., Сребродольский Б. И. Минералогия Подолии. Львов, 1969. *Литошко Д. Н.* Минералогическая изученность Полярного Урала.

Сыктывкар, 1996.

Макеев А. Б., Дудар В. А. Минералогия алмазов Тимана. СПб., 2001. Минералогия Прибайкалья. Под ред. В. П. Петрова. Иркутск, 1978. Минералогия Урала: Элементы. Карбиды. Сульфиды (Т. I, часть 1). Свердловск, 1990; Арсениды и стибниды. Теллуриды. Селениды. Фториды. Хлориды и бромиды (Т. I, часть 2). Свердловск, 1991; Оксиды и гидроксиды (Т. II, часть 1). Под ред. Н. П. Юшкина. Миасс — Екатеринбург, 2000.

Минералы СССР. Гл. редактор акад. А. Е. Ферсман. Т. I (Элементы), 1940; т. II (Сульфиды, сульфосоли и им подобные соединения), 1940.

Мойсюк К. А. Коллекционные минералы Приморья. Владивосток, 2004.

Мусихин Г. Д. Минералы Оренбургской области: В серии «Природное разнообразие Южного Урала». Екатеринбург, 1996.

Пеков И. В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы. М., 2001.

Попов С. П. Минералогия Крыма. АН СССР, 1938.

Попова В. И., Попов В. А., Поляков В. О., Щербакова Е. Я. Пегматиты Ильменских гор. Свердловск, 1982.

Семенов Е. И. Минералогия щелочного массива Иллимаусак (Южная Гренландия). М., 1969.

Семенов Е. И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. М., 1972.

Силаев В. И. Минералогия фосфатоносных кор выветривания (Полярный Урал). СПб., 1996.

Смолин А. П. Самородки золота Урала. М., 1970.

Супрычев В. А. Крымские самоцветы. Симферополь, 1973.

Фрондел Дж. Минералогия Луны. М., 1978.

Юргенсон Г. А. Ювелирные и поделочные камни Забайкалья. Н., 2001.

Юшкин Я. Я., Иванов О. К., Попов В. А. Введение в топоминералогию Урала. М., 1986.

Яковевичук В. Н., Иванюк Г. Ю., Пахомовский Я. А., Меньшиков Ю. П. Минералы Хибинского массива. М., 1999.

Bernard J. H. Mineraly Ceske Republiky, strucny prehled. Praha, 2000.

Brogger W. C, Vogt Th., Scheteiig. Die Mineralien der Sudnorwegischen Pegmatitgange. Kristiania, 1922.

Cairncross B., Dixon R. Minerals of South Africa. Johannesburg. 1995.

Gramaccioli C. M. Minerali Alpini e Prealpini. Bergamo, 1975.

Haake R., Flach S., Bode R. Mineralien und Fundstellen Deutschland. Teil 2. 1994.

Kokscharow N. Materialien zur Mineralogie Russlands. Bd. I-XI. 1852-1892 (первые пять томов изданы также на русском языке).

- Lacroix A.* Mineralogie de Madagascar. Paris, 1922-1923.
- Lacroix A.* Mineralogie de la France et de ses anciens territoire d'outre mer. Paris, 1963.
- Langban: The Mines, Their Minerals, Geology and explorers (Edited by D. HolstamandJ. Langhof)- Muenchen, 1999.
- Mandarino J. A., Anderson V.* Monteregian Treasures. The Minerals of Mont Saint-Hilaire, Quebec. Cambridge, 1989.
- Panczner W. D.* Minerals of Mexico. NY, 1989.
- Pekov I, V,* Minerals first discovered on the territory of the former Soviet Union. Moscow, 1998.
- Reihard E.* Die Mineralien und Erzlagerstätten Oesterreichs. Vienna, 1993.
- Rivista Mineralogica Italiana.* Indice Generale. 1967-1994. Milano, 1995.
- Rose G.* Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere. Berlin. Bd. I, 1837; Bd. II, 1842.
- Weiss S.* Mineralfundstellen Atlas Deutschland-West. Munchen, 1990.
- Zambonxm F.* Mineralogia Vesuviana. Napoli, 1935.

7. Мерзімдік басылымдар

- Геохимия. Москва, 1956.
- Записки Всероссийского минералогического общества. Санкт-Петербург, 1866.
- Кристаллография. Москва, 1956.
- Минералогический журнал. Киев, 1979.
- Минералогический сборник. Львов, 1947.
- Труды Минералогического музея Российской академии наук (Новые данные о минералах). Москва, 1926.
- Acta crystallographica.* Copenhagen, 1948.
- American Mineralogist.* Wisconsin, USA, 1916.
- Canadian Mineralogist.* Toronto, 1957.
- European Journal of Mineralogy.* Stuttgart, 1988.
- Mineralogical Magazine.* London, 1877.

ЕҢ БАСТЫ МЕТАЛДАР (ЭЛЕМЕНТТЕР) БОЙЫНША ЕҢ МАҢЫЗДЫ МИНЕРАЛДАР ТІЗІМІ

Приводимый ниже список относится к группам некоторых минералов, содержащих в существенных количествах тот или иной важный для промышленности металл (или соединение, извлекаемое при переработке руд, например борная кислота из боратов). В число этих минералов включены и некоторые второстепенные природные химические соединения, не представляющие самостоятельного значения, но как спутники главных минералов могущие служить дополнительным источником данного металла или соединения при технологической переработке руд.

Главные минералы, служащие источником данного металла или соединения, набраны жирным шрифтом.

Минералы, используемые для тех или иных нужд промышленности в природном виде (а не с целью извлечения содержащихся в них металлов), помечены звездочкой (*).

Внутри каждой группы все эти минералы располагаются по типам соединений в порядке принятой классификации (начиная с самородных элементов и кончая силикатами).

АЛТЫН

Алтын сомтума – Au
Ауростибит – AuSb₂
Мальдонит – Au₂Bi
Калаверит – AuTe₂
Креннерит – AuTe₂
Сильванит – AuAgTe₄

АЛЮМИНИЙ

Алюминий сомтума
* Криолит – Na₃[AlF₆]
* Корунд – Al₂O₃
* Шпинель – MgAl₂O₄
Гиббсит, нордстрандит, байерит және дойлеит – Al[OH]₃
Бёмит – AlOОН
Диаспор – HAlO₂
* Квасцы – KAl[SO₄]₂·12H₂O
Алунит – KAl₃[SO₄]₂[OH]₆
* Топаз – Al₂[SiO₄][F,OH]₂
* Кианит – Al₂[SiO₄]O
* Андалузит – Al₂[SiO₄]O
* Силлиманит – Al[AlSiO₅]
* Дюмортьерит – Al₇(BO₃)(SiO₄)₃O₃
* Анартастар (алюмототықты) – R₃Al₂[SiO₄]₃
* Пирофиллит – Al₂[Si₄O₁₀] [OH]₂

* Мусковит – $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$,
 Маргарит – $\text{CaAl}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$,
 * Каолинит – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$
 * Галлуазит – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
 * Бейделлит – $(\text{Na}, \text{Ca})_{<0,5}\text{Al}_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
 Альбит-анортит – $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \cdot \text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$
 * Ортоклаз, микроклин – $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
Лейцит – $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$
Нефелин – $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$
 * Цеолиттер – сулы алюмосиликаттар

БАРИЙ

Витерит – $\text{Ba}(\text{CO}_3)$
 Баритокальцит және альстонит – $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$
Барит – $\text{Ba}(\text{CO}_3)$
 Санборнит – $\text{Ba}_2\text{Si}_2\text{O}_5$
 Цельзиан – $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

БЕРИЛЛИЙ

Бромеллит – BeO
 * Хризоберилл – BeAl_2O_4
 Гердерит – $\text{BeCa}(\text{PO}_4)[\text{F}, \text{OH}]$
 Гамбергит – $\text{Be}_2(\text{BO}_3)[\text{OH}]$
Фенакит – $\text{Be}_3[\text{SiO}_4]$
 * Эвклаз – $\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8[\text{OH}]$,
 Эвидимит – $\text{NaBeSi}_3\text{O}_7[\text{OH}]_2$
 Эпидидимит – $\text{NaBeSi}_3\text{O}_7[\text{OH}]$
 Гадолинит – $(\text{Ce}, -(\text{Y}) - (\text{Ce}, \text{Y})_2\text{FeBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{10})$
Бертрандит – $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{OH}]_2$
 * **Берилл** – $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
 Миларит – $\text{K}(\text{Be}, \text{Al})_3\text{Ca}_2[\text{Si}_{12}(\text{O}, \text{OH})_{30}]$
 Бавенит – $\text{Ca}_4\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_9\text{O}_{26}[\text{OH}]_2$
Гельвин – $(\text{Mn}, \text{Fe})_8[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$
 Даналит – $\text{Fe}_8[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$
 Чкаловит – $\text{Na}_2\text{BeSi}_2\text{O}_6$

БОР

Сассолин – $\text{B}[\text{OH}]_3$
 Еремеевит – $\text{Al}_6\text{B}_5\text{O}_{15}(\text{F}, \text{OH})_3$
Ссайбелиит – $\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_4(\text{OH})](\text{OH})$
Людвигит-вонсенит $\text{Mg}_2\text{Fe}[\text{BO}_3]\text{O}_2 - \text{Fe}_2\text{Fe}[\text{BO}_3]\text{O}_2$
Борацит – $\text{Mg}_3[\text{B}_7\text{O}_{12}]\text{OCl}$
Бура – $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Улексит – $\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Индерборит – $\text{CaMg}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Гидроборацит – $\text{CaMg}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Иньоит – $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Колеманит – $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \text{H}_2\text{O}$
Прайсеит – $\text{Ca}_2[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_7] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Датолит – $\text{CaBSiO}_4[\text{OH}]$
Данбурит – $\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$
 Манганаксинит-ферроаксинит – $\text{Ca}_2\text{MnAl}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}[\text{OH}]$ –
 $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}[\text{OH}]$
 *Турмалин тобы -
 $(\text{Na},\text{Ca})(\text{Mg},\text{Fe},\text{Mn},\text{Al},\text{Li})_3(\text{Al},\text{Fe}^{3+},\text{Cr},\text{V})_6(\text{BO}_3)_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{O},\text{OH})_4$

ВАНАДИЙ

Патронит – VS_4
Сульванит – Cu_3VS_4
Карелианит – V_2O_3
Кулсонит – FeV_2O_4
Тi-магнетит (V-үстамды) – $(\text{Fe},\text{Ti})(\text{Fe},\text{V})_2\text{O}_4$
Пухерит – BiVO_4
Ванадинит – $\text{Pb}_5[\text{VO}_4]_3\text{Cl}$
Деклуазит – $\text{Pb}(\text{Zn},\text{Cu})[\text{VO}_4] [\text{OH}]$
Фольбортит – $\text{Cu}_3[\text{V}_2\text{O}_7] [\text{OH}]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Карнотит – $\text{K}_2[\text{UO}_2]_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Тюямунит – $\text{Ca}[\text{UO}_2]_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Корвусит – $\text{V}^{4+}_2\text{V}_{12}\text{O}_{34} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Роскоэлит – $\text{K}(\text{V},\text{Al},\text{Mg})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10} [\text{OH}]_2]$
Навахоит – $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ВИСМУТ

Висмут самородный – **Bi**
Теллуровисмутит – Bi_3Te_3
Тетрадимит – $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$
Висмутин – Bi_2S_3 173
Галенит (Bi-үстамды) – PbS
Матильдит – AgBiS_2
Виттихенит – Cu_3BiS_2
Козалит – $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$
Галеновисмутит – PbBi_2S_4
Айкинит – CuPbBiS_3 195
 Прочие сульфовисмутиты
Бисмит и силленит – Bi_2O_3
Добреит-бисмоклит – $\text{BiO}(\text{OH})$ – BiOCl
Бисмутит – $\text{Bi}_2(\text{CO}_3)\text{O}_2$
Пухерит – BiVO_4
Эвлитин – $\text{Bi}_4[\text{SiO}_4]_3$

ВОЛЬФРАМ

Тунгстенит – WS_2

Тунгстит – H_2WO_4

Гюбнерит – $MnWO_4$

Ферберит – $FeWO_4$

Шеелит – $Ca[WO_4]$

Штольцит және распит – $Pb[WO_4]$

Ферритунгстит – $(K,Ca,Na)_2(W,Fe^{3+})_2(O,OH)_6 \cdot H_2O$

ГАЛЛИЙ

Галлит – $CuGaS_2$

Сонгеит – $Ga(OH)_3$

ГЕРМАНИЙ

Германит – $Cu_{26}Fe_4Ge_4S_{32}$

Аргиродит – Ag_8GeS_6

Аржютит – GeO_2

ИНДИЙ

Индий сомтума – In

Джалиндит – $In[OH]_3$

ИТТРИЙ ЖӘНЕ СИРЕК ЖЕРЛЕР (ЦЕРИЙ ТОБЫ)

Церианит – CeO_2

Флюоцерит-(Ce), -(La) – $(Ce,La...)F_3$

Гагаринит-(Y) – $NaCaY(F,Cl)_6$

Се-перовскит (*кнопит*) – $(Ca,Ce)(Ti,Fe)O_3$

Лопарит-(Ce) – $(Ce,Na,Ca...)(Ti,Nb)O_3$

Пирохлор – $(Na,Ca,Ce...)_2Nb_2O_6F$

Фергусонит-(Y) и форманит-(Y) – $(Y,Er,Ce...)(Nb,Ta,Ti)O_4$

Ферсмит – $(Ca,Ce,Na)(Nb,Ta,Ti,Fe)_2(O,OH,F)_6$

Эвксенит-(Y) – $(Y,Ce,Ca...)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$

Эшинит-(Ce), -(Nd), -(Y) – $(Ce,Nd,Y,Ca,Th)(Ti,Nb)_2O_6$

Самарскит-(Y) – $(Y,Er...)_3(Nb,Ta)_5O_{16}$

Иттротанталит – $(Y,U,Fe...)(Ta,Nb)O_4$

Бастнезит-(Ce), -(La), (Y) – $(Ce,La,Y...) [CO_3]F$

Синхизит -(Ce), -(Nd), -(Y) – $Ca(Ce,Nd,Y,La...) [CO_3]_2F$

Паризит-(Ce), -(Nd) – $Ca(Ce,Nd,La...)_2 [CO_3]_3F_2$

Анкилит – $Sr_3(Ce,La...) [CO_3]_7 [OH]_4 \cdot 3H_2O$

Лантанит-(La), -(Nd) – $(La,Nd...)_2 [CO_3]_3 \cdot 8H_2O$

Монацит – $(Ce,La...) [PO]_4$

Ксенотим – YPO_4

Бритолит – $(Ce,Ca,Na)_5 [PO_4, SiO_4]_3 [F, OH]$

Флоренсит – $CeAl_3 [PO_4]_2 [OH]_6$

Чёрчит-(Y) – (Y,Ce,Ca) [PO₄] · 2H₂O
Мозандрит – (Na,Ca,Ce)₃(Ti,Nb)[Si₂O₇] [F, OH,O]₂
Таленит – Y₃Si₃O₁₀[F,OH]
Иттриалит – (Y,Th)[Si₂O₇]
Гадолинит – (Ce), -(Y) - (Ce,Y)₂FeBe₂Si₂O₁₀
Кайнозит – Ca₂(Ce,Y)₂Si₄O₁₂[CO₃] · H₂O
Алланит-(Ce), -(Y) – (Ce,Y,Ca)₂(Al,Fe)₃[SiO₄] [Si₂O₇]O[OH,O]

КАДМИЙ

Кадмий сомтума – Cd
Гринокит және хаулеит – CdS
Cd-Сфалерит – (Zn,Cd)S
Монтепонит – CdO
Отавит – Cd[CO₃]

КАЛИЙ

Сильвин – KCl
Карналлит – KMgCl₃·6H₂O
Калиевая селитра – K[NO₃]
Калицинит – KH[CO₃]
Лангбейнит – K₂Mg₂[SO₄]₃
Пикромерит – K₂Mg[SO₄]₂·6H₂O
Полигалит – K₂MgCa₂[SO₄]₄·2H₂O
Каинит – KMg[SO₄] Cl · 3H₂O
Алунит – KAl₃[SO₄]₂[OH]₆
Калийлі ашугастар (квасцы) – KAl[SO₄]₂·12H₂O
Слюдалар (мусковит, флогопит, биотит)
Калийлі далашпаттар (ортоклаз, микроклин)
Лейцит – K[AlSi₂O₆]
Цеолиттер тобы (калийлі)

КАЛЬЦИЙ

Флюорит – CaF₂
Гр. перовскита – CaTiO₃
Гр. пироклора – (Na,Ca)₂(Nb,Ti)₂O₆[F,OH]
* **Кальцит**, арагонит и фатерит – Ca[CO₃]
* Доломит – CaMg[CO₃]₂
Ангидрит – Ca[SO₄]
* Гипс – Ca[SO₄]·2H₂O
Шеелит – Ca[WO₄]
Повеллит – Ca[MoO₄]
Апатит – Ca₅[PO₄]₃[F,Cl,OH]
Класс боратов (кальциевые)
Ларнит – Ca₂[SiO]
Монтичеллит – CaMg[SiO₄]

Анартас тобы (уграндиттер) $\text{Ca}_3\text{R}_2[\text{SiO}_4]_3$
 Везувиан – $\text{Ca}_{10}(\text{Mg,Al,Fe}^{2+})_2(\text{Al,Fe}^{3+},\text{B})_2[\text{SiO}_4]_5[\text{Si}_2\text{O}_7]_2[\text{OH,F}]_4$
 Титанит – $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$
 Манган- и ферроаксинит – $\text{Ca}_2(\text{Mn,Fe})\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}[\text{OH}]$
 Датолит – $\text{CaB}[\text{SiO}_4][\text{OH}]$
 *Волластонит – $\text{Ca}[\text{Si}_3\text{O}_9]$
 Пироксендер тобы
 Амфиболдар тобы
 Эпидот тобы
 Пумпеллиит – $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{11}[\text{OH}]_3$
 Пренит – $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}[\text{OH}]_2$
 Маргарит – $\text{CaAl}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$
 Плагиоклаздар (негізді)
 Скаполит тобы
 Цеолиттер (кальцийлі)

КОБАЛЬТ

Линнеит – CoCo_2S_4
 Карролит – CuCo_2S_4
 Катьерит – $\text{Co}[\text{S}_2]$
 Трогталит – CoSe_2
Со-пирит – $(\text{Fe,Co})[\text{S}_2]$
Кобальтин – $\text{Co}[\text{AsS}]$
Глаукодот – $(\text{Co,Fe})[\text{AsS}]$
 Саффорит – $\text{Co}[\text{As}_2]$
Скуттерудит – $\text{Co}_4[\text{As}_4]_3$
 Асболан $m(\text{Co,Ni})\text{O}\cdot\text{MnO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$
 Сферокобальтит – $\text{Co}(\text{CO}_3)$
 Эритрин – $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$

КҮМІС

Күміс сомтума – Ag
 Мошелландсбергит (күсіс амальгамасы) – Hg_3Ag_2
 Дискразит – Ag_3Sb
 Аргентит (акантит) – Ag_2S
 Штрмейерит – AgCuS
 Агвиларит – Ag_2SeS
 Науманнит – Ag_2Se
 Гессит – Ag_2Te
 Петцит – $(\text{Ag,Au})_2\text{Te}$
 Полибазит – $(\text{Ag,Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$
 Стефанит – Ag_5SbS_4
Пираргирит – Ag_3SbS_3
Прустит – Ag_3AsS_3
 Күмістің басқа сульфотұздары

Хлораргирит-бромаргирит – AgCl-AgBr
Иодирит – AgI
Аргентоярозит – $\text{AgFe}_3[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_6$

ҚАЛАЙЫ

Герценбергит – SnS
Тиллит – SnPbS_2
Станнин – $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$
Канфильдит – Ag_8SnS_6
Цилиндрит – $\text{Pb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$
Касситерит – SnO_2
Малайяит – $\text{CaSn}[\text{SiO}_4]\text{O}$
Стокезит – $\text{CaSn}[\text{Si}_3\text{O}_9]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

ҚОРҒАСЫН

Қорғасын сомтума – **Pb**
Галенит – PbS
Алтаит – PbTe
Клаусталит – PbSe
Буланжерит – $\text{PbSb}_4\text{S}_{11}$
Джемсонит – $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$
Галеновисмутит – PbBi_2S_4
Козалит – $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$
Қорғасынның басқа сульфостұздары
Котуннит – PbCl_2
Платтнерит – PbO_2
Сурик – Pb_3O_4
Церуссит – $\text{Pb}[\text{CO}_3]$
Фосгенит – $\text{Pb}_2[\text{CO}_3]\text{Cl}_2$
Ледгиллит – $\text{Pb}_4[\text{CO}_3]_2[\text{SO}_4][\text{OH}]_2$
Англезит – $\text{Pb}[\text{SO}_4]$
Крокоит – $\text{Pb}[\text{CrO}_4]$
Вульфенит – $\text{Pb}[\text{MoO}_4]$
Штольцит – $\text{Pb}[\text{WO}_4]$
Пироморфит – $\text{Pb}_5[\text{PO}_4]_3\text{Cl}$
Миметезит – $\text{Pb}_5[\text{AsO}_4]_3\text{Cl}$
Ванадинит – $\text{Pb}_5[\text{VO}_4]_3\text{Cl}$

ЛИТИЙ

Литиотантит – $\text{Li}(\text{Ta},\text{Nb})_3\text{O}_8$
Трифиллин – $\text{Li}(\text{Fe},\text{Mn}) [\text{PO}_4]$
Литиофиллит – $\text{Li}(\text{Mn},\text{Fe}) [\text{PO}_4]$
Амблигонит-монтебразит – $\text{LiAl} [\text{PO}_4]\text{F} - \text{LiAl}[\text{PO}_4] (\text{OH})$
Эльбаит – $\text{Na}(\text{Al}_{1,5}\text{Li}_{1,5})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}] (\text{O},\text{OH})_4$
Сподумен – $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Лепидолит – $\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5} [\text{Si}_4\text{O}_{10}] [\text{F}, \text{OH}]_2$
Циннвальдит – $\text{KLiFeAl} [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] [\text{F}, \text{OH}]_2$
Кукцит – $\text{LiAl}_4 [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] [\text{OH}]_8$
Петалит – $(\text{Li}, \text{Na})\text{Al} [\text{Si}_4\text{O}_{10}]$
Эвкрипит – $\text{Li} [\text{AlSiO}_4]$

МАГНИЙ

Магний сомтума – Mg
Селлаит – MgF_2
Карналлит – $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Бишофит – $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Периклаз – MgO
Гейкилит – MgTiO_3
* **Шпинель** – MgAl_2O_4
* **Магнезиоферрит** – MgFe_2O_4
Брусит – $\text{Mg}[\text{OH}]_2$
Гидроталькит – $\text{Mg}_6\text{Al}_2[\text{OH}]_{10}[\text{CO}_3] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
* **Магнезит** – $\text{Mg}[\text{CO}_3]$
Доломит – $\text{MgCa}[\text{CO}_3]_2$
Артинит – $\text{Mg}_2[\text{CO}_3][\text{OH}]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Гидромагнезит – $\text{Mg}_5[\text{CO}_3]_4[\text{OH}]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
* **Эпсомит** – $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Гексагидрит – $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Кизерит $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$
Вагнерит – $\text{Mg}_2[\text{PO}_4]\text{F}$
Ссайбелиит – MgHBO_3
Котоит – $\text{Mg}_3[\text{BO}_3]_2$
Борацит – $\text{Mg}_3(\text{B}_7\text{O}_{12})\text{OCl}$
Флюоборит – $\text{Mg}_3[\text{BO}_3][\text{F}, \text{OH}]_3$
Людвигит – $\text{Mg}_2\text{Fe}[\text{BO}_3]\text{O}_2$
* **Форстерит** – $\text{Mg}_2 [\text{SiO}_4]$
Норбергит – $\text{Mg}_3[\text{SiO}_4] [\text{F}, \text{OH}]_2$
Хондродит – $\text{Mg}_5 [\text{SiO}_4]_2 [\text{F}, \text{OH}]_2$
Гумит – $\text{Mg}_7[\text{SiO}_4]_3 [\text{F}, \text{OH}]_2$
Клиногумит-гидроксилклиногумит – $\text{Mg}_9[\text{SiO}_4]_4\text{F}_2 - \text{Mg}_9[\text{SiO}_4]_4[\text{OH}]_2$
Пироп – $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Энстатит – $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Антофиллит – $\text{Mg}_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$
Куммингтонит – $(\text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$
Тремолит – $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}][\text{OH}]_2$
* **Тальк** – $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}] [\text{OH}]_2$
* **Флогопит** – $\text{KMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] [\text{F}, \text{OH}]_2$
Клинохлор – $(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Al} [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$
* **Вермикулит** – $(\text{Mg}, \text{Fe})_3[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}] [\text{OH}]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
* **Серпентин** – $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}] [\text{OH}]_8$

* Сапонит – $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$

МАРГАНЕЦ

Алабандин – MnS

Гауерит – MnS_2

Манганозит – MnO

Гаусманит – $MnMn_2O_4$

Якобсит – $MnFe_2O_4$

Браунит – Mn_2O_3

Биксбиит – $(Mn,Fe)_2O_3$

Пирролюзит және рамсделлит – MnO_2

Пирохроит – $Mn[OH]_2$

Манганит – $Mn^{2+}Mn^{4+}O_2[OH]_2$

Романешит – $(Ba,H_2O)(Mn^{4+},Mn^{3+})_5O_{10}$

Родохрозит – $Mn[CO_3]$

Гюбнерит – $MnWO_4$

Пурпурит – $(Mn,Fe)[PO_4]$

Лауеит және стюартит – $MnFe_2[PO_4][OH]_2 \cdot 8H_2O$

Тефроит – $Mn_2[SiO_4]$

Спессартин – $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$

* Родонит – $CaMn_4[Si_5O_{15}]$

Бустамит – $(Mn,Ca)_3[Si_3O_9]$

Пьемонтит – $Ca_2(Al,Mn^{3+},Fe)_3[SiO_4][Si_2O_7]O[OH]$

МОЛИБДЕН

Молибденит – MoS_2

Молибдит – MoO_3

Повеллит – $Ca[MoO_4]$

Вульфенит – $Pb[MoO_4]$

Ферримолибдит – $Fe_2[MoO_4]_3 \cdot 8H_2O$

МЫРЬШ

Сфалерит, вюртцит и матраит – $(Zn,Fe)S$

Штиллеит – $ZnSe$

Цинкит – ZnO

Ганит – $ZnAl_2O_4$

Франклинит – $(Zn,Mn)Fe_2O_4$

Смитсонит – $Zn[CO_3]$

Гидроцинкит – $Zn_5[CO_3]_2[OH]_6$

Госларит – $Zn[SO_4] \cdot 7H_2O$

Адамин – $Zn_2[AsO_4][OH]$

Гопеит и парагопеит – $Zn_3[PO_4]_2 \cdot 4H_2O$

Виллемит – $Zn_2Si_2O_4$

Гемиморфит – $Zn_4Si_2O_7[OH]_2 \cdot H_2O$

МЫС

Мыс сомтума – Cu
Домейкит – Cu_3As
Халькозин – Cu_2S
Халькопирит – CuFeS_2
Борнит – Cu_5FeS_4
Ковеллин – CuS
Кубанит – CuFe_2S_3
Теннантит-тетраэдрит – $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ – $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
Энарцит и люционит – Cu_3AsS_4
Бурнонит – CuPbSbS_3
Айкинит – CuPbBiS_3
Мыстың басқа сульфотұздары
Атакамит – $\text{Cu}_2\text{Cl}[\text{OH}]_3$
Куприт – Cu_2O
Тенорит – CuO
*Малахит – $\text{Cu}_2[\text{CO}_3][\text{OH}]_2$
Азурит – $\text{Cu}_2[\text{CO}_3]_2[\text{OH}]_2$
Халькантит – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Брошантит – $\text{Cu}_4[\text{SO}_4][\text{OH}]_6$
Либетенит – $\text{Cu}_2[\text{PO}][\text{OH}]$
Оливенит – $\text{Cu}_2[\text{AsO}_4][\text{OH}]$
*Бирюза – $\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4[\text{OH}]_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Псевдомалахит, луджибаит және райхенбахит – $\text{Cu}_5[\text{PO}_4]_2[\text{OH}]_4$
Диоптаз – $\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Хризоколла – $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

МЫШЬЯК (КҮШӘЛА)

Күшәла сомтума – As
Аллемонтит – AsSb
Реальгар – As_4S_4
Аурипигмент – As_2S_3
Леллингит – $\text{Fe}[\text{As}_2]$
Арсенопирит – $\text{Fe}[\text{AsS}]$
Теннантит¹ – $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$
Энарцит² – Cu_3AsS_4
Арсенолит и клодетит – As_2O_3
Симплезит – $\text{Fe}_3[\text{AsO}_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Скородит – $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 343
Фармакосидерит – $\text{Fe}_5[\text{AsO}_4]_3[\text{OH}]_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

¹Мыс рудаларын балқытқанда «газ күшәланың» көзі болады.

²Мыс рудаларын балқытқанда «газ күшәланың» көзі болады.

НАТРИЙ

Галит – NaCl

Виллиомит – NaF

Криолит – Na₃AlF₆

Пироклор тобы

Натрий селитрасы – Na[NO₃]

Сода – Na₂[CO₃]₂·10H₂O

Трона – NaH[CO₃]₂·2H₂O

Тенардит – Na₂[SO₄]

Мирабалит – Na₂[SO₄]·10H₂O

Глауберит – Na₂Ca[SO₄]₂

Бура – Na₂[B₄O₅(OH)₄]·8H₂O

Эвдиалит – Na₄(Ca,Ce)₂(Fe,Mn,Y)(Zr,Nb)[Si₃O₉][Si₉(O,OH)₂₇]Cl

Пироксендер тобы (натрийлі)

Амфиболдар тобы (натрийлі)

Скаполит тобы (мариалит)

Анальцим – Na[AlSi₂O₆]·H₂O

Нефелин – KNa₃[AlSi₄O₄]₄

Содалит және канкринит тобы

Цеолиттер тобы (натрийлі)

НИКЕЛЬ (ТІНІКЕ)

Мелонит – NiTe₂

Маухерит – Ni₃As₂

Хизлевудит – Ni₃S₂

Пентландит – (Fe,Ni)₉S₈

Миллерит – NiS

Полидимит – NiNi₂S₄

Виоларит – FeNi₂S₄

Ваэсит – NiS₂

Бравоит – (Ni,Fe)S₂

Никелин – NiAs

Брейтгауптит – NiSb

Никельскуттерудит – Ni₄[As₄]₃₋₂

Раммельсбергит, парараммельсбергит и крутовит – NiAs₂

Герсдорфит – NiAsS

Ульманит – NiSbS

Бунзенит – NiO

Треворит – NiFe₃O₄

Заратит – Ni₃[OH]₄[CO₃]·4H₂O

Моренозит – Ni[SO₄]·7H₂O

Аннабергит – Ni₃[AsO₄]₂·8H₂O

Непуит – (Ni,Mg)₃[Si₂O₅][OH]₄

НИОБИЙ ЖӘНЕ ТАНТАЛ

Тантит – Ta_2O_5
 Ильменорутит – $(Ti, Nb, Fe)O_2$
 Тапиолит – $(Fe, Ta, Nb)_2O_6$
Колумбит-манганколумбит – $(Fe, Mn)Nb_2O_6$ – $(Mn, Fe)Nb_2O_6$
Ферротанталит-мангантанталит – $(Fe, Mn)Ta_2O_6$ – $(Mn, Fe)Ta_2O_6$
Лопарит – $(Ce, Na, Ca)(NbTi)O_3$
Пироклор – $(Na, Ca, Ce\dots)_2(Nb, Ti\dots)_2O_6[F, OH]$
 Микролит – $(Na, Ca\dots)_2(Ta, Ti\dots)_2O_6[F, OH]$
 Стибиоколумбит – $SbNbO_4$
 Стибиотанталит – $SbTaO_4$
 Торолит – $SnTa_2O_6$
 Фергусонит тобының басқа минералдары – эвксенита–самарскита
 (иттрийді қараңыз)

ПЛАТИНОИДТАР

Платина-изоферроплатина (қатты ерітінділер) – $Pt-Pt_2(Fe, Cu, Ni)$
 Тетраферроплатина – $PtFe$
Палладистая платина – (Pt, Pd)
 Палладий – Pd
 Рутений – Ru
 Родий – (Rh, Pt)
 Потарит – $PdHg$
 Стибиопалладинит – Pd_5Sb_2
 Мертиит и изомертиит – $Pd_{11}(Sb, As)_4$
 Иридий – (Ir, Os, Pt) ($Os > 80$)
 ***Иридосмин (невьянскит)** – (Os, Ir)
Осмирид (сысертскит) – (Ir, Os)
 Куперит – PtS
 Брэггит-высоцкит – $(Pt, Pd, Ni)S$ – $(Pd, Pt, Ni)S$
Сперрилит – $PtAs_2$
 Лаурит – RuS_2
 Черепановит – $RhAs$

РУБИДИЙ

Rb-мусковит – $(K, Rb)Al_2 [AlSi_3O_{10}] [OH, F]_2$
 Рубиклин – $(Rb, K) [AlSi_3O_8]$

СЕЛЕН

Селен – Se
 Науманнит – Ag_2Se
 Агвиларит – Ag_4SeS
Берцелианит – Cu_2Se
Галенит (селенистый) – $Pb(S, Se)$
 Клаусталит – $PbSe$
 Тиманит – $HgSe$

Клокманнит – CuSe
Ферроселит – FeSe_2
Халькоменит – $\text{Cu}[\text{SeO}_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

СИРЕК ЖЕРЛЕР (иттрийді қараңыз)

СКАНДИЙ

Тортвейтит – $\text{Sc}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
Бацит – $\text{Be}_3(\text{Sc}, \text{Al})_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
Каскандит – $\text{Ca}(\text{Sc}, \text{Fe}^{2+})_2[\text{Si}_3\text{O}_8][\text{OH}]$

СТРОНЦИЙ

Стронцианит – $\text{Sr}[\text{CO}_3]$
Анкилит-(Ce) – $\text{Sr}(\text{Ce}, \text{La} \dots)[\text{CO}_3]_2[\text{OH}] \cdot \text{H}_2\text{O}$
Целестин – $\text{Sr}[\text{SO}_4]$
Гойяцит – $\text{SrAl}_3[\text{PO}_2][\text{HPO}_4][\text{OH}]_6$
Сванбергит – $\text{SrAl}_3[\text{PO}_4][\text{SO}_4][\text{OH}]_6$
Лампрофиллит – $\text{Na}_2[\text{Sr}, \text{Ba}]_2\text{Ti}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_2[\text{F}, \text{OH}]_2$
Брюстерит – $(\text{Sr}, \text{Ba}, \text{Ca})[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

СҮРМЕ

Сүрме сомтума – Sb
Аллемонтит – AsSb
Антимонит – Sb_2S_3
Ульманит – NiSbS
Гудмундит – FeSbS
Тетраэдрит – $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
Фаматинит – Cu_3SbS_4
Буланжерит – $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$
Басқа сульфоантимониттер
Кермезит – $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$
Сенармонтит және валентинит – Sb_2O_3
Сервантит – Sb_2O_4
Стибиконит – $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}^{5+}_2\text{O}_6[\text{OH}]$
Стибиотанталит – SbTaO_4

СЫНАП

Киноварь, метациннабарит, суперцин-набарит – HgS
Тиманит – HgSe
Колорадоит – HgTe
Ливингстонит – HgSb_4S_7
Монтроидит – HgO

Каломель – Hg_2Cl_2
Терлингуаит – Hg_2ClO

ТАЛЛИЙ

Карлинит – Tl_2S
Врбаит – $\text{Tl}(\text{As},\text{Sb})_3\text{S}_5$
Лорандит – TlAsS_2
Марказит (таллийұстамды) – FeS_2
Авиценнит – Tl_2O_3

ТАНТАЛ

(ниобийді қараңыз)

ТЕЛЛУР

Теллур сомтума – Te
Верлит – Bi_2Te_2
Теллуrowисмутит – Bi_2Te_3
Тетрадимит – BiTe_2S
Гессит – Ag_2Te
Петцит – $(\text{Ag},\text{Au})_2\text{Te}$
Алтаит – PbTe
Колорадоит – HgTe
Креннерит және калаверит – AuTe_2
Сильванит – $(\text{Ag},\text{Au})\text{Te}$
Мелонит – NiTe_2
Монтанит – $\text{Bi}_2\text{TeO}_4[\text{OH}]_4$

ТЕМІР

Пирротин¹ – Fe_{1-x}S
Пирит² – $\text{Fe}[\text{S}_2]$
Марказит – $\text{Fe}[\text{S}_2]$
Лёллингит³ – $\text{Fe}[\text{As}_2]$
Арсенопирит⁴ – $\text{Fe}[\text{AsS}]$
Гематит және маггемит – Fe_2O_3
Грейгит – FeFe_2S_4
Ильменит – FeTiO_3
Магнетит – FeFe_2O_4
Гётит – HFeO_2
Лепидокрокит – FeOOH
Сидерит – $\text{Fe}(\text{CO}_3)$
Мелантерит – $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Кокимбит – $\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
*Ярозит – $\text{KFe}_3[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_6$
Вивианит – $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Скородит⁵ – $\text{Fe}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Штрэнгит – $\text{Fe}[\text{PO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Фаялит – $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$
* Альмандин – $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Андрадит – $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$
Ферросилит – $\text{Fe}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Геденбергит – $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Эгирин – $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Грюнерит – $\text{Fe}_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$
Аннит (биотит) – $\text{KFe}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH},\text{F}]_2$
Шамозит – $\text{Fe}_4\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

¹ Күкіртқызқыл өндірісінің шикізаты ретінде пайдаланылады.

² Күкіртқызқыл өндірісінің шикізаты ретінде пайдаланылады.

³ Күшәланың көзі болып табылады.

⁴ Күшәланың көзі болып табылады.

⁵ Күшәланың көзі болып табылады.

ТИТАН

Титан сомтума – Ti

Ильменит – FeTiO_3

Гейкилит – MgTiO_3

Пирофанит – MnTiO_3

Рутил – TiO_2

Брукит – TiO_2

Анагаз – TiO_2

Перовскит – CaTiO_3

Перовскит, пирохлор және фергусонит–эвксенит–самарскит тобының титанұстамды минералдары

Ti-андрадит (шорломит) – $\text{Ca}_3(\text{Fe},\text{Al},\text{Ti})_2[(\text{Si},\text{Al},\text{Fe})\text{O}_4]_3$

Титанит – CaTiSiO_5

Мурманит – $\text{NaTi}_2[\text{SiO}_4]_2[\text{OH}] \cdot \text{H}_2\text{O}$

Ферсманиит – $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Ti},\text{Nb})[\text{SiO}_4][\text{OH},\text{F}]_3$

Бенитоит – $\text{BaTi}[\text{Si}_3\text{O}_9]$

Лоренценит (рамзаит) – $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9$

ТОРИЙ

Торианит – ThO_2

Монацит (торийлі) – $(\text{Ce},\text{La},\text{Th})[\text{PO}_4,\text{SiO}]_4$

Торит – $\text{Th}[\text{SiO}_4]$

Иттриаллит – $(\text{Y},\text{Th})_2\text{Si}_2\text{O}_7$

Стисиит – $\text{Th}(\text{Ca},\text{Na})_2\text{K}_{1-x}[\text{Si}_8\text{O}_{20}]$

Одан басқа, торий изоморфты қоспа түрінде күрделі окиселдерде (титан-тантал-ниобаттарда) перовскит, пирохлор, фергусонит–эвксенит–самарскит топтарында жиі анықталады

УРАН

Уранинит – UO_2
Беккерелит – $\text{Ca}(\text{UO}_2)_6\text{O}_4(\text{OH})_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Скупит – $\text{UO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Кюрит – $\text{Pb}_2\text{U}_5\text{O}_{17} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Рёзерфордит – $(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]$
Шрекингерит – $\text{NaCa}_3[\text{UO}_2][\text{CO}_3]_3[\text{SO}_4][\text{F}, \text{OH}] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Циппеит – $\text{K}_4[\text{UO}_2]_6[\text{SO}_4]_3[\text{OH}]_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Иоганнит – $\text{Cu}[\text{UO}_2]_2[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Торбернит – $\text{Cu}[\text{UO}_2]_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Цейнерит – $\text{Cu}[\text{UO}_2]_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Метаторбернит – $\text{Cu}[\text{UO}_2]_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Метацейнерит – $\text{Cu}[\text{UO}_2]_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Отэнит – $\text{Ca}[\text{UO}_2]_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Тюямунит – $\text{Ca}[\text{UO}_2]_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Фосфуранилит – $[\text{UO}_2]_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Карнотит – $\text{K}_2[\text{UO}_2]_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Вальпургит – $\text{Bi}_4[\text{UO}_2][\text{AsO}_4]_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Складовскит – $(\text{H}_3\text{O})_2\text{Mg}(\text{UO}_2)_2[\text{SiO}_4]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Кучпроскладовскит – $(\text{H}_3\text{O})_2\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{SiO}_4]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Казолит – $\text{Pb}[\text{UO}_2][\text{SiO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$
Соддиит – $[\text{UO}_2]_2[\text{SiO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Коффинит – $\text{U}[\text{SiO}_4]_{1-x}[\text{OH}]_{4x}$
Умохоит – $\text{UO}_2[\text{MoO}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Браннерит – $(\text{U}, \text{Ca}, \text{Y}, \text{Ce}, \text{Th})(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6$

ХРОМ

Хром самородный – Cr
Эсколаит – Cr_2O_3
Хромшпинелиды – $(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$
Гвианаит, бресуэлит и гримальдит – $\text{CrO}[\text{OH}]$
Стихтит – $\text{Mg}_6\text{Cr}_2[\text{OH}]_{16}[\text{CO}]_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Тарапакаит – $\text{K}[\text{CrO}_4]$
Лопецит – $\text{K}_2[\text{Cr}_2\text{O}_7]$
Крокоит – $\text{Pb}[\text{CrO}_4]$
Фёникохроит – $\text{Pb}_2[\text{CrO}_4]\text{O}$
Вокеленит – $\text{Pb}_2\text{Cu}[\text{CrO}_4][\text{PO}_4]$
Уваровит – $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$
Cr-клинохлор (кочубейт) – $(\text{Mg}, \text{Fe})_5(\text{Al}, \text{Cr})[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$
Волконскоит – $\text{Ca}_{0,3}(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Al})_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

ЦЕЗИЙ

Родицит – $(\text{K}, \text{Cs})\text{NaLi}_4\text{Al}_4\text{Be}_3\text{V}_{10}\text{O}_{27}$
Воробьевит – $\text{Cs}(\text{Be}_2\text{Li})\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
Поллуцит – $\text{Cs}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$

ЦИРКОНИЙ

Бадделеит – ZrO_2

Циркелит – $(Ca, Th, Ce, Fe)Zr(Ti, Nb)_2O_7$

Циркон – $Zr[SiO_4]$

Кимцеит – $Ca_3(Zr, Ti)_2 [Al, Fe, Si] O_4]_3$

Эвдиалит – $Na_4(Ca, Ce)_2(Fe, Mn, Y)(Zr, Nb)[Si_3O_9][Si_9(O, OH)_{27}]Cl$

Эльпидит – $Na_2ZrSi_6O_{15} \cdot 3H_2O$

Вадеит – $K_2Zr[Si_3O_9]$

Катаплеит және гейдоннеит – $Na_2Zr[Si_3O_9] \cdot 2H_2O$

Цирконий изоморфты қоспа түрінде сілтілерге бай магмалық таужыныстарда кездесетін күрделі құрамды басқа силикаттарға, сондай-ақ пироклор и фергюсонит–эвксенит–самарскит тобының күрделі окиселдеріне кіреді

ПӘНДІК КӨРСЕТКІШТЕР

Указатель, кроме названий минералов, содержит термины, принятые в общей части курса.

Разновидности минеральных видов помечены сокращенно разн. (после названия минерала).

В скобках приводятся более употребительные или предпочтительные названия минеральных видов и разновидностей. Во всяком случае, следует отдавать предпочтение видовым названиям, избегая употребления синонимов, чтобы не вносить путаницу в и без того громоздкую номенклатуру минералов.

В указатель не вошли многие минеральные виды, приведенные лишь в поэлементном списке, но не описанные и не упомянутые в основной части курса.

Авантюрин, түрлестері 356, 360, 641

Авгит 560

Агальматолит, түрлесі 583

Агат, түрлесі 360

Адуляр, түрлесі 644

Адуляресценция 640

Азурит 420

Айкинит 268

Аймақтық метаморфизм 147

Айтас, түрлесі 640

Акантит 199

Аквамарин, түрлесі 544

Акмит, түрлесі 562

Аксинит тобы 531

Актинолит 568

Алабандин 86

Ала-құла мыс рудасы (борнит) 224

Александрит, түрлесі 325

Алланит тобы 541

Аллемонтит 159, 178

Аллофан 620

Аллохроматизм 81

Алмас 45, 185, 187

Алтаит 194

Алунит 445

Альбит 637

Альвит, түрлесі 503

Альмандин 524

Альпілік типті желілер 149

Алюминит 385

Алюмохромит, түрлесі 321
Амагутилит, түрлесі 503
Амазонит, түрлесі 645, 647
Амблигонит 470
Амезит 598-599
Аметист, түрлесі 360
Амиант, түрлесі 569
Амфиболдар тобы 566
Анальцим 653
Анартас тобы 523
Анатаз 332
Ангидрит 432
Англезит 429
Андалузит 519
Андезин 638
Андрадит 524
Анкерит 405, 407
Аннабергит 473
Аннит 587, 590
Анортит 637
Анортоклаз 647
Антигорит 605
Антимонит 232
Антофиллит 572
Апатит тобы 462
Арагонит 401
Аргентит 199
Арканзит, түрлесі 332
Арсенопирит 253
Арфведсонит 572
Асбест, түрлесі 94, 569, 609
Асболан (құспа) 696
Астрофиллит 534, 576
Ас тұз (галит) 283
Аурикуприд 159
Аурипигмент 228
Ауыр шпат (барит) 424
Ауэрлит, түрлесі 506
Ахроматалық түс 84
Ашарит (ссайбелиит) 484
Аширит (диоптаз) 547
Ащы тұз (эпсомит) 441

Б

Багратионит (ортит) 542

Бағалы опал 366
Базальттық мүйізалдамыш, түрлесі 570
Байкалит, түрлесі 559
Балқытқыш шпат (флюорит) 278
Барит 424
Барифлогодит, түрлесі 587
Баритоцелестин, түрлесі 425
Бастнезит 417
Бафертисит 534
Бацит 543
Бейделлит 626
Беккерелит 354
Беломорит, түрлесі 641
Бенитоит 493
Берилл 543
Бертонит (бурнонит) 267
Бертрандит 531
Бетафит 346
Бёмит 374
Биотит (аннит) 590
Бирюза 480
Бисмутинит (висмутин) 235
Битовнит 638
Бишофит 282
Боксит (қоспа) 373
Борацит 486
Борнит 224
Боронатрокальцит (улексит) 487
Борт, разн. 187
Браунит 313
Бронзит, түрлесі 564
Брукит 331
Брусит 369
Брушит 458
Брэггит 219
Буланжерит 272
Бура 486
Бурнонит 267

В

Вад (қоспа)
Ванадинит 468
Везувиан 537
Верделит, түрлесі 552
Вермикулит 623

Вивианит 471
Виджецит 348
Виллемит 512
Вилуит 537
Висмут 180
Висмутин 235
Висмутинит(висмутин) 235
Висмут жылтыры (висмутин) 235
Витерит 415
Вишневит 663
Волконскоит 627
Волканит (Se-сера), разн. 181
Волластонит 573
Волластонит тобы 556,573
Вольфрамит тобы 450
Воробьевит 543, 544
Вульфенит 456
Вюртцит 208

Г

Галенит 201
Галенобисмутит 202
Галит 283
Галлуазит 618
Галмей (гемиморфит) 532
Галотрихит 448
Ганит 316, 324
Гармотом 671
Гарниерит (қоспа) 607
Гарниерит-галлуазит (қоспа) 607
Гаусманит 323
Гаюин 660
Геденбергит 559
Гейкилит 331
Гейландиты 670
Гкссагидрит 442
Гексапирротин 212
Гелиодор, түрлесі 544
Гелиотроп, түрлесі 360
Гельвин 664
Гельвин тобы 664
Гематит 308
Гемиморфит 532
Гемоильменит, түрлесі 311
Гентгельвин 664

Герсдорфит 250
Герцинит 316
Гессонит, түрлесі 525
Гетеровалентті изоморфизм 58
Гётит 379
Гиалит (опал) 366
Гиалофан 648
Гиацинт, разн. 503
Гиббсит 371
Гидденит, түрлесі 563
Гидраргиллит (гиббсит) 371
Гидробиотит, түрлесі немесе қоспасы 591
Гидроборацит 488
Гидрогематит, түрлесі немесе қоспасы 308
Гидрогётит, түрлесі немесе қоспасы 379
Гидроксиканкринит 663
Гидрокситопаз 515
Гидролепидокрокит, түрлесі 375
Гидролиз 292
Гидромусковит (иллит) 623
Гидрослюдадар (сметтиттер) 621
Гидротермалық процестер 141
Гидрофан (опал) 366
Гиперстен (энстатит немесе ферросилит) 564, 565
Гипоморфизм 183
Гипс 434
Глаубер тұзы (мирабилит) 439
Глаукодот, түрлесі 253
Глауколит, түрлесі 649
Глауконит 592, 625
Глаукофан 571
Графит 186, 190
Графитит, түрлесі 190
Грейзендер 140
Гринокит 209
Гроссуляр 524
Гуммит (қоспа) 353
Гуссакит, түрлесі 461
Гюбнерит 450

Д

Данаит, түрлесі 253
Даналит 664
Данбурит 574
Датолит 631

Демантоид, түрлесі 525
Демидовит, түрлесі 548
Десмин (стильбит)
Джемсонит 273
Диаллаг, түрлесі 560
Диаспор 377
Дигенит 197
Дизаналит, разн. 342
Диккит 616
Диопсид 558
Диоптаз 547
Дистен (кианит) 517
Дихроит(кордиерит) 546
Доломит 405
Дравит 551
Друза 124

Ж

Жад 569
Жад калифорниялық 539
Жадеит 561
Жеода 126
Жылантас (серпентин) 605

З

Зандбергерит 264
Золото 166

И

Идиохроматизм 79
Известковый шпат (кальцит) 396
Изовалентный изоморфизм 58
Изоморфизм 56-62
Изоферроплатина 170, 172
Изумруд (зүмрат, зүбәржат), түрлесі 543
Иллит 623
Ильваит 536
Ильменит 311
Ильменрутил 328
Индиалит 546
Индиголит, түрлесі 552
Индия (калий) селитрасы 393
Ине темір рудасы (гётит) 379
Иньоит 488
Иолит (кордиерит) 546

Иридий 175
Иридийлі платина, түрлесі 172
Иридосмин 177
Иризацпя 641
Исланд шпаты, түрлесі 396
Иттроортит (алланит-(У)) 541
Иттротитанит, түрлесі 528

Й

Йохансенит 559

К

Кабриит 159
Кадмий алдамышы (гринокит) 209
Казолит 354
Каинит 441
Каламин (гемиморфит) 532
Каледонит 424
Калий селитрасы 393
Калий ашугас (квасцы) 447
Калий-натрий далашпаттары 643
Кальсилит 656
Кальцит 396
Камасит 171
Кандиттер, тобы 613
Канкринит 663
Канкринит тобы 662
Каолинит 613
Карбонадо, түрлесі 187
Карбонат-канкринит
Карбуран (қоспа) 352
Карналлит 288
Карнотит 479
Касситерит 333
Кварц 356
Кварц-қылды, түрлесі 330
Кварцин 358
Квасцы (ашугастар) 447
Квас тас (алунит) 445
Кеммерерит, түрлесі 600
Кен ағаш (пальгорскит) 611
Кераргирит (хлораргирит) 289
Кианит 517
Кианит тобы 47, 516
Кизерит 442

Киноварь 209
Кларк 32
Клаусталит 194
Клевеит, түрлесі 351
Клейофан, түрлесі 204
Клинопирротин 212
Клинохлор 601
Клинохризотил 609
Клиноцоизит 539
Клиноэнстатит 500
Кнопит, түрлесі 342
Кобальтин 249
Кобальт гүлі (эритрин) 473
Кобальт жылтыры (кобальтин) 249
Кобальтты пирит, түрлесі 242
Ковеллин 226
Когенит 172
Козалит 194
Колеманит 489
Колумбит-танталит, тобы 337
Конкреция 126
Кордиерит 546
Корунд 304
Кочубеит, түрлесі 601
Коэсит 355
Кремнийтотық модификациялары 355
Криолит 280
Кристобалит 365
Крокоит 449
Ксенотим 461
Ксонотлит 494
Кубанит 226
Кулсонит 318
Куммингтонит
Кунцит, түрлесі 563
Кристалдар кейпі 72-73
Кристалдардың келбеті 70
Кристалдар пішіні 71-75
Куприт 301
Куперит 219
Кутногорит 405
Күкірт колчеданы (пирит) 241
Күкірт сомтума 181
Күміс алдамышы 271, 289
Күміс жылтыры (аргентит, акантит) 199

Күміс кіреукесі, түрлесі 199
Күміс сомтума 164
Күн тас, түрлесі 641

Қ

Қалайы колчеданы (станпин) 223
Қалайы тас (касситерит) 333
Қатты ерітінділер 56,61-G3
Қатты псевдоерітінділер 61
Қорғасын жылтыры (галенит) 201
Қорғасынтас, түрлесі 201
Қошқыл теміртас (қоспа, лимонит) 379
Қошқыл шыны бас, түрлесі (гётит) 379

Л

Лабрадор 638
Лавровит, түрлесі 559
Лавсонит 536
Лазурит 661
Лампрофиллит 535
Лампрофиллит-сейдозерит тобы 534
Лаурит 196
Лед 298
Лейкосапфир, түрлесі 306
Лейхтенбергит, түрлесі 601
Лейцит 652
Леллингит 252
Лепидокрокит 375
Лепидолит 595
Лизардит 605
Лиеврит (ильваит) 536
Лимонит (қоспасы) 379
Литий слюдалары 595
Литионит (лепидолит) 595
Литиофилит 471
Ловчоррит, түрлесі 534
Ломоносовит 534
Лопарит 344
Люминесценция 112
Люционит 266

М

Маггемит 318
Магмалық процестер 136
Магнезиарфведсонит 572

Магнезиоферрит 316
Магнезийлі шпат (магнезит) 403
Магнезит 403
Магнезиохлоритоид 521
Магнетит 317
Магнитті теміртас (магнетит) 317
Магнитті колчедан (клинопирротин) 212
Магноколумбит 337
Магномагнетит (магнезийлі магнетит), түрлесі 318
Магнотанталит 337
Магнохромит 321
Маккинтошит, түрлесі 506
Малакон, түрлесі 503
Малахит 419
Мальдонит 159
Манганаксинит 531
Манганapatит (Mn-apatит), разн.
Манганит 382
Манганколумбит 337
Мангантанталит 337
Мангантапиолит 328
Марганецті брусит, түрлесі 369
Марганецті шпат (родохрозит) 409
Маргарит 597
Мариалит 649
Марказит 245
Марматит, түрлесі 204
Мартит, түрлесі 308
Матильдит 202
Мәрмәр (мономинералды таужыныс) 397
Мейонит 649
Мелаконит, түрлесі 303
Мелантерит 443
Метакристалл 121
Метамиктные вещества 52
Метасоматоз 120-121
Метастабильді күй 45-46, 49
Метаторбернит 476
Метациннабарит 209
Микрозондтық талдау 24, 110
Микроклин 645
Микролит 346
Миларит 493
Миллерит 216
Миметезит 467

Минерал агрегаттары 123
Минералдар парагенезисі 130
Минерал түрлесі 156
Минералдық түр 155
Мирабилит 439
Миспикель (арсенопирит) 253
Мозандрит 534
Молибденит 237
Молибден жылтыры (молибденит) 237
Монациттер 460
Монтебразит 470
Монтмориллонит 627
Моренозит 219
Морион, түрлесі 360
Мору 143
Морфотропия 48-49
Мусковит 592
Мүйізалдамыш 570
Мыс жасылы (малахит) 419
Мыс жылтыры (халькозин) 197
Мыс көгі (азурит) 420
Мыс колчеданы (халькопирит) 220
Мыс сомтума 161
Мысты индиго (ковеллин) 226
Мышьяк (күшәла) сомтума 178
Мышьяк (күшәла) колчеданы (арсенопирит) 253

Н

Накрит 617
Настуран, түрлесі 351
Натрий селитрасы 392
Натрий ашутастары (квасцы) 448
Натрит 421
Натролит 668
Натрон (сода) 421
Нахколит 385
Наэгит, түрлесі 503
Невьянскит (осмирид) 177
Непуит 607
Нефелин 656
Нефрит, түрлесі 568, 569
Нивенит, түрлесі 351
Нигглиит 159
Никель гүлі (аннабергит) 473
Никель колчеданы (никелин) 214

Никель жылтыры (герсдорфит) 250
Никелин 214
Никельді платина 172
Никельскуттерудит 256,257
Ниобозшинит 348
Нозеан 660
Нонтронит 629

О

Оливин тобы 507
Олигоклаз 638
Оникс, түрлесі 360
Оолит 127
Опал 366
Опалесценция 367
Оранжит, түрлесі 506
Орлец (родонит) 574
Ортит (алланит) 541
Ортоклаз 644
Ортохризотил 609
Осмирид 177
Осмийлі иридий тобы 175
Оттрелит 521
Отэнит 477
Оямалит, түрлесі 503

П

Палыгорскит 611
Пандермит (прайсеит) 489
Параморфоза 50
Парахризотил 609
Паризит 417
Патринит (айкинит) 268
Пегматиттер 137
Пеннин 600
Пентландит 218
Перидот (оливин тобы) 508
Перовскит 342
Перистериттер, түрлесі 641
Пертиттер, түрлесі 643
Пиларит, түрлесі 548
Пинноит 483
Пиральспиттер 523
Пираргирит 271
Пирит 241

Пирит тобы 240
Пироксеноидтар 573
Пироксендер, тобы 557
Пиролозит 340
Пиоморфит 466
Пироп 524
Пирофанит 311
Пирофиллит 583
Пирохлор 346
Пирротин әулеті және тобы 212
Питтицит (қоспа) 474
Плагиоклаздар 499, 637
Плагиоклаздар жоғары және төменгі 639
Плазма, түрлесі 360
Платина 172
Плеонаст, разн. 316
Плюмозит, түрлесі. 273
Пневматолиз 139
Пневматолиттік-гидротермалық процестер 139
Повеллит 453
Далашпаттар, топ 635
Полианит, түрлесі 340
Полибазит 272
Полигалит 440
Поликсен, түрлесі 172
Полиморфизм 45
Полисоматизм 63
Политипия 50, 585-586
Поллуцит 654
Полярит 159
Порпецит, түрлесі 166
Потарит 159
Празем, разн. 360
Прайсеит 489
Пренит 630
Примазки 129
Приорит (эшинит-(Y))
Прохлорит 602
Прустит 269
Пршибраммит, түрлесі 204
Псевдоморфоза 121
Псевдохроматизм 82
Псиломелан (қоспа) 383
Пушкинит, түрлесі 541

Р

Рамсделлит (полиморф. MnO_2) 384
Ратовкит, түрлесі 278
Раухкварц (түтін кварц), түрлесі 360
Рашлеит, түрлесі 480
Реальгар 230
Ревдинскит(непуит) 607
Рентгенметрикалық талдау 101
Рентгенқұрылымдық талдау 101
Рентгенспектрлік талдау 110
Рёзерфордит 394
Рётгерсит 219
Рибекит 505
Ринерсонит 348
Ринкит (мозандрит) 534
Ринколит (мозандрит) 534
Родонит 574
Родохрозит 409
Родохром, түрлесі 600
Рубеллит, түрлесі 552
Рубин (Сг-корунд), түрлесі 306
Рубин слюдкасы (лепидокрокит) 375
Рутил 328

С

Сагениит, түрлесі 329
Сакиит (гексагидрит) -442
Салит, түрлесі 558
Самарскит 349
Санидин 643
Сапфир (Fe, Ti-корунд), түрлесі 306
Сапфирин, түрлесі 360
Сардер, түрлесі 360
Сассолин 374
Саффлорит 252
Седовит 450
Секанинаит 546
Секреция 126
Селадонит 625
Селенді күкірт, түрлесі 181
Селенді галенит, түрлесі 201
Селитра 392-393
Сепиолит 611
Сердолик, түрлесі 360
Серицит (мусковит, иллит), разн. 592,623

Серпентиндер 605
Сидерит 407
Сидерофил элементтер 36
Силлиманит 520
Сильвин 287
Скаполит тобы 649
Скарндар 140
Сколецит 669
Скородит 474
Скуттерудит 256
Слюдалар, топ 584
Смальтин (скуттерудит немесе никельскуттерудит) 256, 257
Смектиттер, топ 691
Смитсонит 410
Сода 421
Содалит 658
Содалита группа 658
Соддиит 354
Солғын кендер, топ 262
Соссюрит, түрлесі 539
Спектрлік талдау 100
Спекулярит (гематит) 308
Сперрилит 196, 248
Спессаргин 524
Сподумен 563
Ссайбелиит 484
Ставролит 522
Сталагмит 128
Сталактит 128
Станнин 223
Стефанит 271
Стибнит (антимонит) 232
Стильбит 672
Стишовит 355
Стронцианит 414
Стрюверит 328
Сульванит 266
Сульфат-канкринит (вишневит) 663
Сульфидке қайта баю зонасы 144
Сульфотүздар 192, 258
Сүрме жылтыры (антимонит) 232
Сфалерит 204
Сфен (титанит) 528
Сферолиттер 125-127
Сыертскит (иридосмин) 177

Т

- Тальк 577, 581
- Танталит (ферротанталит, мангантанталит) 337
- Танталэшинит 348
- Тапиолиттер 328
- Тарапакаит 448
- Тас тұз (галит) 283
- Тау былғарысы (палыгорскит) 611
- Тау тығыны (палыгорскит) 611
- Тау хрусталі (кварц) 360
- Теллурлі висмут (тетрадимит) 236
- Темір жылтыры (гематит) 308
- Темір колчеданы (пирит) 242
- Темір қаймағы, түрлесі 308
- Темір слюдкасы, түрлесі 308
- Темір сомтума 171
- Темір телпек 144
- Темір шпаты (сидерит) 407
- Темірлі брусит, түрлесі 369
- Темір-тініке колчеданы (пентландит) 218
- Тенардит 438
- Теннантит 264
- Тенорит 303
- Термикалық талдау 105
- Тетрадимит 236
- Тетраферрифлогопит 501
- Тетраферроплатина 159, 172
- Тетраэдрит 264
- Тефроит 507, 511
- Тиманит 194
- Типоморфты белгілер 132
- Тиотұздар (сульфотұздар) 258
- Титанавгит (титанды авгит), түрлесі 560
- Титанды теміртас (ильменит) 311
- Титанит 528
- Титанмагнетит (титанды магнетит), түрлесі 318
- Тихит 387
- Топаз 514
- Торбернит 476
- Торит 506
- Торогуммит, түрлесі 506
- Тортвейтит 497
- Тремолит 567
- Тридимит 365

Триплит 471
Трифилит 471
Троилит 172
Тунгомелан (қоспа), 384
Тунгстенит 450
Турмалин тобы 550
Тухолит (қоспа) 352
Түтін кварц, түрлесі 360
Тэнит 171
Тюрингит 603
Тюямунит 478

У

Уваровит 524
Уграндиттер 523
Улексит 487
Ульвёшпинель 318
Уралит, түрлесі 571
Уранинит 350
Уран шайыры, түрлесі 351
Уран шайыр рудасы, түрлесі 351
Уран кіреукесі, түрлесі 351
Уран слюдкасы 475
Уранторит, түрлесі 506

І

Інжу, разн. 402

Ф

Фальэрц (соғын кен) 262
Фаматинит 266
Фармаколит 458
Фатерит ($\text{Ca}[\text{CO}_3]$, гекс.) 417
Фации 147
Фаялит 511
Фенакит 513
Ферберит 450
Фергюсонит 527
Ферримолибдит 457
Феррит (темір сомтума) 171
Ферриторит, түрлесі 506
Ферритунгстит 457
Ферроактинолит 568
Ферроаксинит 531
Ферробрусит (темірлі брусит), түрлесі 369

Ферросилит 565
Ферротапиолит 328
Филлипситтер 671
Флогопит 587
Флюорит 278
Форстерит 507
Фосфорит (қоспа) 465
Фрайбергит 264
Франклинит 325
Фторапатит 462
Фуксит, түрлесі 592

Х

Хагаталит, түрлесі 503
Халцедон, түрлесі 358
Халькантит 444
Халькозин 197
Халькопирит 220
Халькопирит тобы 219
Халькосидерит 480
Халькотрихит, түрлесі 301
Хатыркит 159
Хашимит 448
Хегвейтит, түрлесі 503
Хенномартинит 536
Хиастолит, түрлесі 519
Хлоантит (никельді скуттерудит) 256, 257
Хлорапатит 462
Хлораргирит 289
Хлоритоид 521
Хлориттер тобы 598
Хлоропал (қоспа) 629
Хлорошпинель, түрлесі (жасыл шпинель) 316
Хокуголит, түрлесі 425
Хондродит 510
Хризоберилл 325
Хризоколла 548
Хризолит (оливиндер), түрлесі 508, 510
Хризопраз, түрлесі 360
Хризотил 609
Хризотил-асбест 609
Хромдиопсид (хромды диопсид), түрлесі 558
Хроматит 448
Хромит 321
Хромофор 79

Хромпикотит, түрлесі 321
Хромшпинелидтер 321
Морт слюдалар 597

Ц

Целестин 428
Цельзиан 648
Цеолиттер, тобы 665
Церуссит 413
Цимофан, түрлесі 325
Цинкит 303
Мырыш алдамышы (сфалерит) 204
Мырыш шпаты (смитсонит) 410
Циннвальдит 596
Циркон 503
Цирголит, түрлесі 503
Цитрин, түрлесі 360
Цоизит 539

Ч

Чералит 459
Чилениит (Ві-күміс), түрлесі 164
Чили (натрий) селитрасы 392

Ш

Шабазит-Са 667
Шамозит 603
Шашты колчедан (миллерит) 216
Шашылымдар 145
Швацит 264
Шеелит 454
Шерл 551
Шлих талдау 113
Шмальтин (никельскуттерудит), түрлесі 256, 257
Шорломит 523
Шөгінді процестері 145
Шпинелидтер 314
Шпинель 316
Шпинель қалыпты және бұрылған 315
Шунгит, түрлесі 190

Э

Эвдиалит 549
Эвколит, түрлесі 549
Эвкриптит 563

Эгирин 562
Эгирин-авгит, түрлесі 560, 562
Экзогендік процестер 134, 143
Электронмикроскоптық зерттеулер 114
Элеолит (нефелин) 656
Эльбаит 551
Эмболит, түрлесі 289
Энаргит 266
Эндогендік процестер 134, 135
Энстатит 564
Эпидот 540
Эпидот тобы 539
Эпсомит 441
Эритрин 473
Эритроцинкит, түрлесі 208
Эшинит 348

Я

Якобсит 319
Ярозит 446

Оқулық басылым

Анатолий Георгиевич БЕТЕХТИН

КУРС МИНЕРАЛОГИИ

Ғылыми редакторлары Б.И. Пирогов және Б.Б. Шкурский

Қазақшаға аударған Әділхан Бекділдаұлы БАЙБАТША