

Депозитарий

Проф. Н. М. ФЕДОРОВСКИЙ

КУРС МИНЕРАЛОГИИ



НКТП
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА - ЛЕНИНГРАД - НОВОСИБИРСК

1932

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

Редактор инж. И. А. Любимов

Техн. редактор П. И. Корытин

О Т П Е Ч А Т А Н О

Калужск. типогр. Мособлиполиграфа.
Уполн. Главлита № В—33615. 1932.

Горгеолиздат № 159.

Тираж 20.000 экз.

Зак. № 4303.

Сдано в набор 17/IV—1932 г.

Подписано к печати 28/IX—32 г.

Печати. листов 28¹/₂.

Бумага 62×94¹/₁₆.

В бумажн. листе 52.000 печ. знак.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Минералогия в течение долгого времени имела сильный уклон в сторону кристаллографии. Это кристаллографическое направление отразилось на преподавании науки, так что курсы минералогии были часто в сущности курсами кристаллографии. Даже в описательной минералогии добрая половина (а то и две трети) приходилась на перечисление различных кристалло-оптических свойств минералов.

За это время минералогия утратила в значительной мере оторвалась от своих главных основ, — химии и геологии. Отрыв от химии был особенно болезнен, ибо минерал прежде всего рождается в химической лаборатории природы, в обстановке широких геологических процессов. Наука о минералах есть не столько статическая, неподвижная наука изучения их свойств, сколько наука, изучающая самую динамику явлений, самый процесс образования и видоизменения данного минерального тела.

Химизм явлений минералообразования должен стоять на первом плане.

Конечно химические процессы в природе чрезвычайно сложны и разнообразны, но выделить среди многообразия явлений главное, дать доминирующую реакцию — вот основная задача. Кроме того разве можно оторвать минерал от всего его окружающего — от породы, в которой он составляет или в которой он родился, от потока лавы, которые выбросили его из глубины, или от морской бухты или озерных вод, где он кристаллизовался как химический осадок?

В этом направлении надо воссоздать нераздельную связь минералогии с геологией вообще и петрографией в частности. Общая геологическая карта месторождений, разрез залегания данного минерала — все это порадо песней связано с минералогией, чем изучение тонкостей его кристаллографического строения. В настоящее время кристаллография нашла свое истинное место в ряду физических наук. Успехи применения рентгеновских лучей к изучению кристаллов выдвинули ее в последние годы на первое место физики, исследующую строение материи. Минералогия берет от нее учение о формах строения минералов, петрография — оптические методы исследования, но только инерция прошлого может соединять в одно целое эти разошедшиеся в разные стороны науки.

Поэтому в курсе минералогии автор старался в первую очередь влить химические процессы образования минералов и как можно ярче иллю-

стрировать общий геолого-петрографический фон явлений. Даны геологические разрезы и карты месторождений мирового значения и наиболее интересных в СССР. Подробный обзор литературы приведен во второй части «Генезис минералов».

В настоящем (четвертом) издании курса новыми являются главы: «Взгляд назад» (стр. 13—15);

«Методы исследования минералов—приборы, аппараты, реактивы, паяльная трубка» (стр. 22—65);

«Микроскоп и его применение в минералогических исследованиях» (стр. 67—95). Автор главы о микроскопе и его применении — проф. С. Ф. Глинка.

Дополнена глава о рентгенографическом исследовании минералов.

Все издание пересмотрено. В разделе «Генезис минералов» исключены типы метаморфизма по Лейту (схема Leith-Mead). Дана диаграмма метаморфизма по Гольдшмидту (рис. 280) и увеличено общее число рисунков.

Н. Федоровский.

Москва, Пыжевский пер., 7.

Научно-исследовательский
институт прикладной Минералогии

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
Предисловие	3

Часть I

ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

ВВЕДЕНИЕ

О значении минералогии для социалистической промышленности СССР.	11
Взгляд назад	13
Понятие о минерале	16
Связь минералогии с другими науками	18
Физические свойства минералов	19
Твердость минералов. Блеск. Цвет. Цвет черты. Прозрачность.	22
Спайность. Магнитность. Излом. Удельный вес	22
Методика исследования минералов. Приборы, аппараты и реактивы.	22
Паяльная трубка.	25
Список реактивов.	25
а) Сухие реактивы.	25
б) Жидкие реактивы	25
Работа с паяльной трубкой.	27
Пламя свечи.	27
Испытание на плавкость.	29
Проба с перлами буры и фосфорной соли; проба на угле; налеты на угле; налеты в запаянной с одного конца стеклянной трубочке.	30
Проба с перлами буры и фосфорной соли	30
Проба на угле	31
Налеты на угле.	32
Налеты в запаянной с одного конца стеклянной трубочке.	32
Получение металлического королька; окрашенные шлаки; серная печень.	33
Получение металлического королька.	33
Окрашенные шлаки	34
Серная печень	34
Проба на окрашивание пламени; реакция на хлор; определение воды в минералах	34
Окрашивание пламени	34
Реакция на хлор	39
Определение воды в минералах	39
Испытание с азотнокислым кобальтом	40
Открытие кремнезема	40
Способ открытия важнейших элементов	42

	<i>Стр.</i>
Справочные таблицы	55
а) Цветной перл ясно выражен	56
б) Цветной перл неясно выражен	57
Оптические свойства минералов	65
Микроскоп и его применение в минералогических исследованиях	67
1. Описание микроскопа	67
2. Применение микроскопа, поляризатора и анализатора	71
3. Значение исследований в сходящемся поляризованном свете	75
Поляризационные явления, которые могут служить для определения минералов, наблюдаемых на полированных их разрезах	88
1. Хроматические явления в белом свете. Двупреломляемость	89
Применение рентгеновских лучей к изучению минералов	95
Формы нахождения минералов в природе	108
Полиморфизм	113
Химия минералов	114
Вычисление формул из анализа. Изоморфизм. Изоморфные ряды элементов. Способы написания формул изоморфных смесей. Структурные формулы. Парагенезис. Псевдоморфизмы. Твердые растворы. Физико-химический анализ. Понятие о коллоидах	122
Классификация минералов	124
Общий обзор минералов по классам и группам	125

ОПИСАТЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

I класс. Элементы

Группа углерода	138
Алмаз, Графит, Антрацит, Сера, Мышьяк, Сурьма, Висмут, Золото, Серебро, Медь, Ртуть, Свинец, Амальгама, Платина, Обмистый иридий, Палладий, Железо	154

II класс. Сернистые соединения

Сульфиды полуметаллов	155
Реальгар, Аурипигмент, Стибнит, Висмутовый блеск, Тетрадимит, Молибденит	157

Сульфиды металлов	158

Моносulfиды

Галенит, Аргентит, Халькозин, Цинковая обманка, Кингварь, Метациннабарит, Ковеллин, Халькопирит, Борнит	164

Дисulfиды

Пирит, Марказит, Пирротин, Шнейсовый кобальт, Кобальтин, Арсениопирит	167

III класс. Сульфосоли

Темнокрасная сурьмяно-серебряная руда, Бурнонит, Блеклая медно-сурьмяная руда	168

IV класс. Галоидные соединения

Безводные хлориды и фториды	169
Каменная соль, Хлористый калий, Хлористое серебро, Плавленый шпат, Криолит, Атакамит	173
Водные хлориды	173
Карналлит, Бишофит, Тахидрит	174

V класс. Окислы

1. Окислы кремния	174
Кварц, Тридимит, Опал	179
2. Окислы полуметаллов	179
3. Окислы металлов	179

Безводные окислы

Куприт. Цинкит. Тенорит. Корунд. Красный железняк. Титанистый железняк. Магнитный железняк. Шпинель. Хромистый железняк. Хризоберилл	186

Двуокиси

Оловянный камень. Рутил. Ниролозит	18

Водные окислы

Манганит. Диапор. Гётит. Лимонит. Боксит. Брусит. Понломелан.	195

VI класс. Кислородные соли

Карбонаты (углекислые)	196

Безводные карбонаты

Кальцит. Доломит. Магнезит. Марганцовый шпат. Цинковый шпат. Сидерит. Арагонит. Витерит. Стронцианит. Церусит	203

Водные карбонаты

Малахит. Сода. Термонаитрит. Трона	205

Силикаты	205

Дисиликаты, полисиликаты

Камневый полевой шпат. Бариевый полевой шпат. Микроелит. Натровый полевой шпат. Кальцевый полевой шпат. Известково-напоровые полевые шпаты. Олигоклаз. Андезит. Лабрадор. Лейцит.	209

Метасиликаты

Эвстатит. Бровзит. Гиерстен. Диопсид. Авгит. Акмит. Сподумен. Жадеит. Волластонит. Кремнистый марганец. Тремолит. Нефрит. Горная кожа. Роговая обманка. Натровая роговая обманка. Берилл.	214

Ортосиликаты

Элеолит. Содалит. Гаюин. Нозеан. Лазуревый камень. Алемандин. Андрадит. Гроссуляр. Пирок. Спессартин. Уваровит. Спессартин. Оливин. Фенацит. Диоптаз. Маршалит. Мейонит. Скаполит. Везувиян. Циркон. Топаз. Андалузит. Датолит. Эпидот. Цонзит. Ортит. Пренит. Хондролит. Камамин. Турмалин. Ставролит . . .	226

Водные силикаты

Апофиллит. Гейландит. Десмин. Шабазит. Анальцит. Натролит. Сколецит. Томсонит. Мусковит. Парагонит. Лепидолит. Востит. Флогонит. Серпикит. Хлоритонд. Хлориты. Эмевит. Асбест эмевитовый. Тальк. Морская пенка. Гарнерит. Каолин	236

Минералы глины

Галлоизит. Пиромиллит. Волконскит. Аллофан. Кремнистая медь.	237

Титаносиликаты

Титанит. Церовскит.	238

Нитраты, танталаты	238

Пирохлор. Танталит-кolumбит. Самарскит. Эпинит	238

Фосфаты

Монацит. Апатит. Фосфорит. Зеленая свинцовая руда. Виванит. Вавейлит. Бирюза	243

Ураниты или урановые слюдки

Медный уранит. Известковый уранит	244

Нитраты	244

Селитра. Калиевая селитра	245

Вораты и уранаты	245

Ворацит. Бура. Боронатрокальцит. Урановая смоляная руда. Карнотит. Тюмунит	246

Сульфаты и хроматы	Стр 247
Барит. Целестин. Свинцовый купорос. Ангидрит. Крокоит. Бропан- тит. Глауберова соль	249
<i>Водные сульфаты</i>	
Гипс. Эпсомит	251
<i>Основные сульфаты</i>	
Алузит	251
Вольфраматы и молибдаты	
Вольфрамит. Шеезит. Вульфенит. Ванаденит	252

VII класс. Соли органических кислот

Меллит	253

VIII класс. Угледородистые соединения

Янтарь. Нефть. Асфальт. Горный воск. Каменные угли	257

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ МИНЕРАЛОВ СССР ПО ОБЛАСТЯМ И РЕСПУБЛИКАМ.

Центральная область	259
Север РСФСР	262
Поволжье	265
Центральная черноземная область	266
Украинская ССР	271
Крымская АССР	274
Кавказ	278
Урал Казахская АССР	293
Средняя Азия	296
Западная Сибирь	300
Восточная Сибирь и Якутия	303
Дальневосточный край	306

Часть II

ГЕНЕЗИС МИНЕРАЛОВ

Классификация минеральных групп	310
Земная кора	315
Химия земной коры	320
Минералогия процессов застывания магмы	333
Понятие о магме	338
Дифференциация магмы	340
Главнейшие минералы изверженных пород	345
Процессы пневматолитиза	353
Пегматитовые жилы	353
Минералы пегматитовых жил	357
Минералы вулканов	363
Минералогия жильных месторождений	369
Глубинные жилы	374
Жилы средней глубины	375
Минералы, образующиеся в жилах средней глубины	376
Поверхностные жилы	377
Минералогия процессов катаморфизма	381
Процессы выветривания	381
Минералы процессов механического выветривания	382
Химическое «выветривание»	385
Процессы карбонатизации	397

	Стр
Катаморфизм рудных жил	398
Водные растворы пояса выветривания	401
Речная вода	404
Морские и озерные воды	405
Химические осадки морей и озер	406
Минералы озер	414
Биолиты	416
Процессы аноморфизма	423
Минералогия области контактов	425
Минералы области контактов	430
Искусственное воспроизведение минералов	435
Воспроизведение минералов магмы	435
Воспроизведение минералов вулканов	439
Воспроизведение минералов из водных растворов зоны магмы	440
Воспроизведение минералов из холодных водных растворов зоны катаморфизма	441
Воспроизведение минералов зоны аноморфизма	443
Практическое значение синтеза минералов	443
Главнейшая литература	444
Главнейшие периодические издания	444
Приложение. Мировая добыча важнейших минералов, солей, металлических руд и выплавка металлов, с распределением по странам (диаграммы и статистика).	

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

ВВЕДЕНИЕ

О ЗНАЧЕНИИ МИНЕРАЛОГИИ ДЛЯ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

Почти все отрасли промышленности применяют полезные минералы или прямо как готовое сырье, или выделяют из них нужные составные части. Металлургия основана на переработке металлических руд; химическая промышленность в значительной части основана на переработке химического минерального сырья; даже такие отдаленные от неорганической природы отрасли, как пищевая, применяют минералы — каменную соль и селитру, — для консервирования продуктов. Сельское хозяйство теперь неминуемо без минеральных удобрений, к которым относятся калиевые минералы и минералы, содержащие фосфор. Огромнейшее дело, особенно важное для СССР в период гигантской социалистической стройки, основано на применении глина, песка, известняка и других так называемых неметаллических минералов.

Полезные минералы, как металлические, так и неметаллические, в очень редких случаях могут идти непосредственно в переработку. Нередко полезные минералы встречаются целыми группами, как например полуметаллические руды, где мы имеем смесь шпата, халькопирита и сфалерита. Эти сложные руды для их переработки необходимо предварительно разделять. Методы разделения полезных минералов основаны на детальном изучении каждого из них как составной части руды.

Кроме того некоторые полезные минералы входят в рудную массу лишь в незначительном количестве, и для их переработки необходимо сначала отделение полезных минералов от пустой породы. Эти процессы отделения пустой породы и разделения различных полезных минералов в руде друг от друга носят название процессов обогащения. Процессы обогащения применяются в настоящий момент во всем мире в каждом предприятии, употребляющем или обрабатывающем минеральное сырье. Процессы обогащения основаны, с одной стороны, на удельном весе минералов, а с другой — на их отношении к различным химическим реагентам, употребляемым в процессах так называемой селективной флотации, которая состоит в следующем. Мелко раздробленная руда смешивается с водой, содержащей те или иные масла и другие химические реагенты. Получающийся при непрерыв-

ном взбалтывании пена захватывает частицы руды, пустая же порода остается замуленной в воде. Непрерывно стекающая пена постепенно уносит из замуленной массы всю рудную часть.

Таким образом минералогическое изучение рудных масс является в настоящее время основой для предположений для промышленности строительства фабрик и заводов СССР, обрабатывающих минеральное сырье.

Помимо этого исключительно важное значение имеет изучение минералов для промышленности в вопросах обеспечения горнозаводских предприятий СССР достаточными запасами руды. Промышленная разведка и детальное изучение месторождений имеют практической целью установление обеспеченности предприятий рудой. Однако это невозможно без определения типа месторождения, т. е. изучения его генезиса. Протекхождение полезных минералов в данном месторождении, изучаемое при посредстве минералогии, дает нам единственно верный критерий для самого направления и хода промышленных разведок. Таким образом теоретические проблемы генезиса минералов имеют в настоящее время огромную практическую ценность.

Наконец необходимо отметить, что в последнее время технологии и химии обратились к минералогии как к источнику идей относительно метода обработки минерального сырья. Чтобы найти метод получения из природной глауберовой соли ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) необходимого промышленности безводного сульфата (Na_2SO_4), современные технические мысли обратили свое внимание, на то, как получается в природе такой безводный сульфат. Образование безводного сульфата в морях, в озерах и других водных бассейнах связано с температурными условиями и растворимостью ряда аналогичных солей в данном бассейне. Создавая те же условия для технического процесса обработки глауберовой соли, мы можем получить ее искусственно, применяя наши наблюдения над ее образованием в природе.

В последнее время особо важное значение имеет искусственное получение минералов (синтез) как с точки зрения теории (проверка опытом), так и с практической стороны. Искусственный графит в Америке играет уже значительную роль в графитовой промышленности. Искусственные алмазы широко применяются для очистки фабричных вод, применяемых для питания котлов, и т. п. Удачное получение искусственного алмаза сильно подвинуло бы вперед горную промышленность и особенно разведочное дело. Синтез алмаза дал бы в руки электротехнику ценный изоляционный материал, который сейчас с большим трудом извлекается из немногих и бедных природных залежей.

Таким образом минералогия является наукой, необходимой для работников как горной, металлургической, так и химической промышленности СССР. Овладение наукой и техникой, выдвинутое как боевой лозунг на ближайшие годы, ставит задачей в области минералогии — доведение ее достижений до всех работников промышленности и сельского хозяйства, где применяется минеральное сырье.

ВЗГЛЯД НАЗАД

История минералогии неразрывно связана с историей и развитием торного дела. Самое слово «минерал» значит камень, руда (от средневекового французского «mine» — рудник, шурф); понятие «минерал» возникло при первых попытках применения «камня», руды, для практических целей. Бурный рост науки начался лишь с развитием производительных сил эпохи начала капитализма. В этом отношении развитие минералогии было связано также с общим ходом развития естествознания. Этот период прекрасно изложен у Энгельса.²

Современное естествознание — единственное, о котором может идти речь (как о науке), в противоположность гениальным догадкам греков и спорадическим, случайным исследованиям арабов, начинается с той грандиозной эпохи, когда буржуазия сломала мощь феодализма, когда на заднем плане борьбы между горожанами и феодальным дворянством показалось мятежное крестьянство, а за ним революционные пионеры современного пролетариата с красным знаменем в руке и с коммунизмом на устах, — начинается с той эпохи, которая создала монархов Европы, разрушила духовную диктатуру папства, воскресила греческую древность, явившись вместе с ней зачинательницей периода высочайшего развития искусства в новое время, разбила границы старого мира (orbis) и впервые, собственно говоря, открыла землю; оно (современное естествознание) революционно, как и вся эта эпоха.

Это была величайшая из революций, какие до тех пор пережила земля. И естествознание, развивавшееся в атмосфере этой революции, было насильственно революционным, шла рука об руку с пробуждающейся новой философией великих итальянцев, посылая своих мучеников на костры и в темницы. Характерно, что протестанты соперничали с католиками в преследовании их. Первые сожгли Сервета, вторые — Джордано Бруно. Это было время, нуждавшееся в гигантах и породившее гигантов, гигантов духа, учености и характера, — это было время, которое французы правильно называли «ренессансом», протестантская же Европа — односторопно и ограниченно «реформацией».

И естествознание тоже провозгласило тогда свою независимость, правда, не с самого начала, подобно тому как и Лютер не был первым протестантом. Чем в религиозной области было возмущение Лютером папской буллы, тем в естествознании было великое творение Коперника, в котором он, хотя и робко, после 36-летних колебаний и, так сказать, на смертном одре бросил церковному суверену вызов. Начиная с тех пор, исследование природы освобождается по существу от религии, хотя окончательное выяснение всех подробностей затянулось до настоящего времени, все еще не завершившись во многих областях. Но с тех пор развитие естествознания пошло гигантскими шагами, увеличиваясь как бы пропорционально квадрату удаления во времени от своего исходного пункта, точно желая показать миру, что по отношению к движению высшего прота органической материи, человеческого духу, как и по отношению к движению неорганической материи, действует обратный закон.

Первый период нового естествознания заканчивается в области неорганического мира Ньютоном. Это — период овладения данным материалом; в области математики и астрономии, статике и динамике он дал великие достижения, особенно благодаря работам Кеплера и Галилея, из которых Ньютон извлек ряд следствий. Но в области органических явлений еще не вышли за пределы первых зачатков знания. Еще не было исследования исторически следующих друг за другом и сменяющих друг друга форм жизни, точно так же, как и исследования соответствующих им и изменчивых условий жизни, — не

Примечание: По объяснению этимологического словаря Таккалы (Taccalla) и др.

² Ф. Энгельс. Диалектика природы. Стр. 37—41. (Архив К. Маркса и Ф. Энгельса.)

существовало палеонтология и геология. Природа вообще не представлялась тогда чем-то исторически развивающимся, имеющим свою историю во времени. Интересовались только пространственной протяженностью; различные формы группировались не одна за другой, а одна подле другой; естественная история считалась чем-то неизменным, вековечным — подобно эллиптическим орбитам планет. Для более или менее основательного изучения форм органической жизни не доставало обоих основных наук: химии и науки о главной органической структурной форме — клеточке. Революционное по своему началу, естествознание оказалось перед насквозь консервативной природой, в которой и теперь все было таким же, как и в начале мира, и в которой все останется до окончания мира таким же, каким оно было и в начале его.

Характерно, что это консервативное воззрение на природу имело место как в неорганическом (сфера), так и в органическом мире.

Первая брешь — Кант и Лавуазье. Вторая — геология и палеонтология — Лайелль, медленное развитие. Третья — органическая химия, изготовляющая органические тела и показывающая применимость химических законов к иным телам. Четвертая (1842 г.) — механическая теплота, Гроте. Пятая — Дарвин, Ламарк, клетка и т. д. (борьба Кювье и Агассиса). Шестая — сравнительный элемент в анатомии; климатология; научные экспедиции и путешествия¹ с середины XIII в.

И далее непосредственная связь развития науки с развитием производства указана также Энгельсом в следующих словах¹:

„Если после темной ночи средневековья вдруг заново возрождаются с неожиданной силой науки, начинающие развиваться с чудесной быстротой, то этим чудом мы опять-таки обязаны производству. Во-первых, со времени крестовых походов промышленность колоссально развилась и добыла массу новых механических (ткачество, часовое дело, мельничное дело), химических (красильное дело, металлургия, алкоголь) и физических (очки) фактов, которые не только предоставили огромный материал для наблюдений, но доставили также сами собой совершенно иные, чем раньше, средства для экспериментирования и допустили построение новых инструментов. Можно сказать, что собственно систематическая экспериментальная наука стала возможной лишь с этого времени. До сих пор хвастали лишь тем, что производство обязано науке, но наука обязана производству бесконечно больше. Во-вторых, вся Западная и Центральная Европа, включая Польшу, развивается теперь во взаимной связи, хотя Италия, благодаря своей старинной цивилизации, продолжает стоять во главе. В-третьих, географические открытия, произведенные в погоне за барышом, т. е. в конечном счете под влиянием интересов производства, доставили бесконечный, до того недоступный материал“.

Колыбелью минералогии являлась Саксония, игравшая огромную роль в горном деле, Саксония того времени, являвшаяся колыбелью современной горной промышленности. Саксония благодаря исключительным богатствам всевозможных ценных руд и минералов на протяжении столетий являлась источником новых минералогических идей и исследований. Оттуда вышли и методы анализа минералов, классификация, значительная часть номенклатуры, связанной с саксонскими месторождениями. Напомним, что вслед за Саксонией явилась шведская рудная промышленность, давшая новый толчок минералогической науке, изучению химии минералов. Наиболее плодотворные идеи в истории минералогии этого времени шли оттуда. Если мы возьмем развитие современной минералогии, то увидим, что наиболее интересные данные, наиболее интересные исследования, систематика огромного количества материалов обработаны в последнее десятилетие в Америке. Американская

¹ К. Энгельс. Диалектика природы. Стр. 71, (Архив К. Маркса и Ф. Энгельса.)

школа вошла в нашу практику, мы употребляем ее термины, работаем по ее систематике, исследуем по ее методу. Это опять-таки тесно связано с переходом центра горнорудной промышленности в течение последних трех десятилетий в Америку. Все наиболее крупные предприятия в области рудных и нерудных ископаемых являются предприятиями американскими. Минеральные богатства Америки явились для неисчислимого капитала, откуда черпал современный капитализм новые источники силы и средств для укрепления себя на международной арене борьбы различных капиталистических группировок. По добыче меди, железа, цинка, свинца Америка стояла на первом месте. Промышленность неметаллических ископаемых, можно сказать, выросла на американской почве.

Таким образом на протяжении своей истории развития минералогии была в самой тесной и непосредственной зависимости от успехов и развития горной промышленности.

Необходимо еще отметить огромную роль в истории науки, которую сыграла минералогия в эпоху создания материалистического понимания вообще и материалистического понимания природы в частности.

Энгельс говорит относительно геологии:

„Но позволительно усомниться, приняло ли бы естественные науки в голову заменить противоречие между учениями об изменяющейся земле и о существующих на ней неизменных организмах, если бы зарождавшемуся пониманию того, что природа не имеет „бытия“, а становится и погибает, не явилась помощь с другой стороны. Возникла геология, которая выявила не только наличие образованных друг после друга и расположенных друг над другом геологических слоев, но и сохранившиеся в этих слоях раковины и скелеты вымерших животных, стволы, листья и плоды несуществующих более растений. Пришлось признать, что историю во времени имеет не только земля, взятая в целом, но и ее теперешняя поверхность и живущие на ней растения и животные. Признание это произошло первоначально не без труда. Теория Кювье о претерпеваемых землей революциях была революционна на словах и реакционна на деле. На место акта божественного творения она поставила целый ряд подобных творческих актов и сделала из чуда существенный рычаг природы“.

Это идею самую мы должны сказать и о нашей науке, которая как раз в эту эпоху охватывала собой и геологические дисциплины, за исключением только палеонтологии. Изучение минералов, лежавшее в основе изучения горных пород, и следовательно и всей истории земли, разбивало средневековые догмы, господствовавшие в философии, и подрывало самую основу религии. Интересно, что все развитие кристаллографии, лежащее в основу понимания самого строения материи, вытекало из изучения кристаллов кальцита, кварца, и аббата Галон, установивший первые законы кристаллографии, нанес несомнимый удар метафизике XVIII в.

Новейшая химия, и особенно химия редких элементов, целиком вытекла из минералогии. Минералы стали объектом исследования химии, отыскивавшей в них все новые и новые элементы. Физико-химическая теория Вант-Гоффа, творца современной физической химии, выведена им из изучения Старесфуртских месторождений калийных солей. Химия высоких давлений и высоких температур, давшая такие большие интересные практические результаты, имела в своей основе изучение

минералогических процессов земной коры, т. е. те реакции, которые протекают в глубинах земли при высоких температурах и под большим давлением.

В настоящий момент минералогия служит сырьем исключительно для развития социалистического строительства СССР, как науке, которая дает возможность использовать производительные силы страны в виде ее минеральных богатств для всех участков социалистического строительства.

Отсюда и понятно бурное развитие минералогии в СССР на протяжении последнего десятилетия. Мы видим, как рождаются новые минералогические центры: организуется в 1919 г. Московская горная академия, в 1932 г. создается Институт прикладной минералогии, охватывающий своими работами почти все отрасли промышленности, использующие минеральное сырье и в конце концов послуживший основой для создания ряда отраслевых институтов. Из Института прикладной минералогии вышел Институт цветных металлов, исследующий руды меди, цинка, свинца, алюминия, магния и редких элементов. В 1930 г. из стен Института прикладной минералогии вышел Институт строительных материалов, в том же году создан институт, изучающий генезис минералов и горных пород при Комкадемии. Кроме Москвы центром развития минералогии явился Урал и Тифлис. В Тифлисе Закавказский институт прикладной минералогии, начавший работу с 1928 г., положил основу для создания новой горной промышленности Закавказья на исследованных месторождениях отбеливающих глин, мышьяковых руд, а также строительных и декоративных материалов. На Урале Уральский институт прикладной минералогии сделался центром исследования неметаллического сырья. На Украине, в Сибири, в Средней Азии — повсюду организованы и работают минералогические центры, исследующие минеральные богатства в этих интересных районах, дающих большие перспективы развития горного дела.

ПОНЯТИЕ О МИНЕРАЛЕ

Понятие о минерале и об объеме минералогии как науки сильно менялось исторически. В XVIII в. необходимость изучения минералогии в России усиленно пропагандировалась Ломоносовым.

В его сочинении «Первые основания металлургии или рудных дел» минералогия тесно связана с технологией.

Минералогия долго времени включала в себя изучение не только минералов, но и горных пород, а также и ископаемых остатков животных и растений.

Определение минералов в XVIII в. имели целью установление их принадлежности к телам неорганическим. Так И. Шлегель в своем труде «Минералогия или описание всякого рода руд и ископаемых из земли вещей» пишет: «Минералы подлежат до минералогии, которая есть знание о телах смешанных, составленных и неорганических, кои непрестанно увеличиваются и растут, не имея во внутренних своих частях или трубочках и жилах никакого сока. Тот, кто о сих делах довольно знания имеет, минералог называется».

Выдающийся минералог, академик В. М. Севергин (1765—1826) определяется следующим кратким определением:

«Минералогия есть часть естественной истории, которая научает нас познавать ископаемые тела, т. е. отличать оные от всех других по существенным их признакам, знать их свойства, месторождения, происхождение и все отношения их как между собой, так и к другим телам».

К середине XIX в. сильно выросли и развились геология и петрография. В распространеннейшем учебнике того времени М. Медведева¹ разграничены области исследования между науками о земле: «Например гранит состоит из кварца, полевого шпата и слюды. Исследования каждой отдельной смешанной части принадлежат области минералогии; исследованием самого гранита занимается геогнозия, а образование гранита должно быть объяснено геологией. Само собой разумеется, что изучение минералогии необходимо для геогнозии, и последняя не может быть изучаема без помощи первой, тогда как минералогия может быть изучаема и без помощи двух последних наук».

Понятие о минерале определяется Медведевым так: «Под словом «минерал» в строгом смысле разумеют всякое твердое или капельно-жидкое неорганическое тело, представляющее естественный продукт природы, происшедший без участия органических процессов и без действия человека».

К концу XIX в., когда сильно развилась кристаллография, минералогия охватывала следующие шесть крупных разделов²: первый отдел, изучающий форму кристаллов, это морфология, которая распадается на кристаллографию, или учение о правильных формах минералов, и на учение о строении минералов, т. е. об агрегациях минеральных недефектных. Вторая часть общей минералогии есть минеральная физика. Она занимается исследованием физических явлений в минералах. Третья часть есть минеральная химия, обнимающая собой учение о химическом составе минералов. Четвертая часть занимается теорией образования и метаморфизмом минералов. В пятой части общей минералогии излагается учение об образе нахождения минералов, а в шестой — классификация, или систематика минералов.

В течение последующих десятилетий, с одной стороны, развивалось чистое кристаллографическое направление, трактовавшее минерал по преимуществу как кристаллическое тело и изучавшее на нем законы симметрии, с другой стороны (именно у нас в СССР), выросла геохимическая школа, занимавшаяся минералом как продуктом химических процессов и поставившая себе задачу осветить эту наиболее темную область.

Минерал понимается уже не в узком смысле, только твердого или капельно-жидкого тела, но вообще вещества в любом из трех его состояний, однако непременно связанного с жизнью земной коры.

¹ В. М. Севергин. Царство ископаемых. Т. 2. СПб. 1791. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. Т. 2. СПб. 1798. Подробный словарь минералогический. Т. 3. СПб. 1807 и др.

² М. Медведев. Минералогия. 1863.

³ Г. Чермак. Учебник минералогии. 1884 (Пер. Лебедева).

«Минералогия представляет собой химию земной коры. Она имеет задачей изучение как продуктов природных химических процессов, так называемых минералов, так и самих процессов; она изучает изменения продуктов и процессов во времени в различных естественных областях земной коры и наконец исследует взаимные естественные ассоциации минералов (их парагенезис) и законности в их образовании»¹.

Это определение более отвечает современному состоянию науки. Оно расширяет понятие минерала не только как твердого или жидкого тела, но и как газообразного, давая ему единственное отличительное свойство, а именно — свойство быть продуктом природных химических процессов, происшедших или происходящих в земной коре. Это понятие и положено в основу настоящего курса. Мы рассматриваем минерал, во-первых, как элемент или химическое соединение элементов, представляющее собой химически и физически в общем однородное тело; во-вторых, это однородное тело есть составная часть земной коры, которая составляет горные породы литосферы, водные бассейны гидросферы и газы атмосферы.

Применяя диалектический метод к нашей науке, мы приходим наконец к понятию и самого минерала как процесса. То, что мы понимали раньше под словом минерал — как нечто простое и статическое, — принимается теперь нами условно как термин. Огромное количество минералов в сущности представляет собой различные мажущиеся физико-химические смеси, или одну точку в целой серии, соответствующую названию того или другого минерала.

Диалектика процессов минералообразования и положена в основу настоящего курса, особенно в его второй части.

СВЯЗЬ МИНЕРАЛОГИИ С ДРУГИМИ НАУКАМИ

Минералогия, изучая минерал как продукт химического процесса в земной коре, является теснейшим образом связанной с химией. Химия разъясняет нам состав минерала и химические законы процессов минералообразования. Эти процессы протекают в различных участках земной коры, образовавшихся в различные геологические периоды.

История земной коры переживала в своем развитии самые разнообразные формы: периоды бурных горообразующих процессов сменялись периодами медленного действия эрозии, денудации и невидимой работы морей. Поэтому геология, так же, как и химия, является основой для изучения минералогии в ее новейшем понимании.

Если мы подойдем поближе к процессам, совершавшимся при затывании расплавленной массы или к процессам кристаллизации отдельных минералов из морей и озер, то увидим, что здесь огромную роль играет физико-химия.

Внешний облик минералов и их физические свойства тесно связывают нашу науку с физикой. Здесь точно так же изучение кристаллов послужило огромным толчком к изучению вещества вообще с помощью

¹ В. И. Вернадский. Минералогия. 1910—1912.

рентгеновских лучей. Рентгеновская установка является одной из основных в каждом современном минералогическом кабинете. Таким образом мы приходим к минералогии через физику и кристаллографию, физико-химию, химию и геологию и ее основным ответвлением — петрографией.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Твердость минералов. Обычно различают по твердости 10 основных групп. Эти группы расположены в таком порядке, что минерал предыдущей группы царапается минералом последующей группы. Твердость возрастает, начиная от единицы до 10. Твердость минерала обозначается соответствующим номером десятичной шкалы, установленной Моосом. Образцовыми минералами, входящими в эту шкалу, являются: 1—тапак, 2—каменная соль, 3—известковый шпат, 4—плавиковый шпат, 5—апатит, 6—ортоклаз, 7—кварц, 8—топаз, 9—корунд, 10—алмаз.

Алмаз является самым твердым минералом, не имеющим себе подобного. Корунд тоже является единственным минералом твердости, равной 9. Однако твердость, определяемая шкалой Мооса, относительна и неточна. Более точное определение твердости производится при помощи склерометра.

По способу, применяемому Тула и Розивалем, некоторым количеством шлифовального порошка шлифуют пластинку из испытуемого тела до потери действия порошка и определяют потерю вещества тела. Оказывается, что если для корунда твердость принять равной 1000, то для топаза она—194, для кварца—175, известкового шпата—5,6, тапак—0,04, алмаза—140 000.

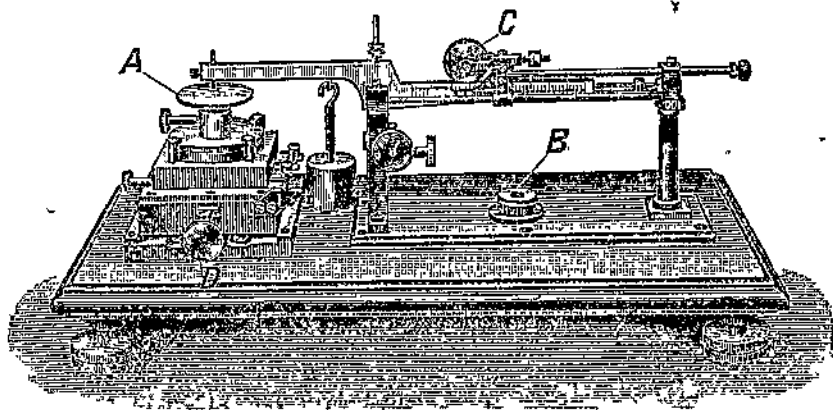


Рис. 1. Прибор для определения твердости минералов по Мартенсу.

Более точный метод количественного измерения твердости минералов разработан Мартенсом (Martens) и может производиться прибором, сконструированным фирмой Guss (рис. 1). Определение твердости на этом приборе сводится к следующим операциям:

- 1) испытуемый образец прикладывается к столу A;

2) его наружную поверхность шлифуется так, чтобы сделать ее параллельной плоскости столика *A*;

3) пользуясь винтами, прибор устанавливается горизонтально по круглому уровню *B*;

4) регулируют высоту столика *A* так, чтобы алмазная игла коснулась поверхности препарата;

5) противовес *C* с помощью стержня передвигают таким образом, чтобы нагрузка на иглу была около 3 г;

6) двигают препарат, вращая винт *D*, увеличивая нагрузку посредством передвижения противовеса *C* до момента появления черты, ясно различаемой при увеличении до 10—12 раз;

7) величина прочтенной на шкале нагрузки служит мерой твердости испытываемого минерала.

Блеск. 1. Металлический — сильный блеск, свойственный металлам; минералы, имеющие этот блеск, обыкновенно непрозрачны.

Типичные минералы с металлическим блеском: свинцовый блеск, магнитный железняк, серный и медный колчеданы, мышьяковый колчедан, молибденовый блеск и т. п. Из неметаллических минералов металлическим блеском обладает графит.

2. Алмазный — блеск, свойственный алмазу; алмазный блеск обуславливается отражением от внутренних плоскостей минерала и поэтому он свойственен минералам прозрачным или полупрозрачным с особенно большим показателем преломления. Типичными минералами с алмазным блеском являются: алмаз, куприт, сфалерит, перуссит, киноварь.

3. Жирный — блеск минерала, как будто намазанного маслом: сера, ефедит и др.

4. Стеклообразный — напоминающий блеск стекла, очень распространенный блеск среди прозрачных минералов: горный хрусталь, топаз, гипс и др.

5. Перламутровый — блеск, напоминающий перламутр; обуславливается отражением света изнутри минерала от плоскостей спайности: слюда, тальк, гейландит и др.

6. Шелковый — обуславливается волокнистым строением минерала: асбест, селенит.

Цвет. Различают восемь различных цветов (по Вернеру): 1) белый (снежно-белый); 2) черный (бархатно-черный); 3) серый (пепельно-серый); 4) синий (берлинно-синий); 5) зеленый (изумрудно-зеленый); 6) желтый (лимонно-желтый); 7) красный (кармино-красный); 8) бурый (каштаново-бурый).

Для обозначения цвета минералов, имеющих металлический блеск, обыкновенно к названию главного цвета прибавляют название соответствующего металла: медно-красный, латуно-желтый, оловянно-белый, свинцово-серый, железно-черный, томпаково-бурый.

Цвет черты. Многие минералы в раздробленном или в порошкообразном состоянии имеют другой цвет, нежели в сплошных массах (в куске); так например пирит в куске имеет цвет шпелсово-желтый, а в порошке — почти черный. Для определения цвета порошка проводят минералом по наглазированной фарфоровой пластинке — фарфоровому

блескиту; оставляемый минералом след (черта) и показывает цвет порошка.

Прозрачность. По степени прозрачности минералы разделяются следующим образом:

1. Прозрачные — предметы ясно видны сквозь минерал, и даже можно прочесть печатный шрифт: горный хрусталь, гипс, каменная соль и т. д.

2. Полупрозрачные — предметы можно лишь распознать сквозь минерал, но не ясно: халцедон, опал и т. д.

3. Просвечивающие (в массе) — свет хотя и проходит, но предметы не распознаются сквозь минерал, например нефрит, родонит, мрамор, алебастр и т. д.

4. Просвечивающие (в краях) — свет проходит только сквозь тонкие края минерала, например роговик, кремль, полевошпат и т. д.

5. Непрозрачные — свет вовсе не проходит сквозь минерал. К этой группе относятся самородные металлы: золото, платина и многие сернистые соединения металлов, как то: свинцовый блеск, пирит, арсенопирит, калькопирит и т. д.

Спайность. Спайностью называется свойство кристалла или неделимой кристаллической массы разделяться по известным, направлениям, так что при этом на плоскостях раскола являются ровные блестящие плоскости; эти направления называются «плоскостями спайности». Степень совершенства спайности у минералов бывает различная: а) весьма совершенная, когда минерал по определенному направлению делится очень легко на листочки или пластинки, и плоскости спайности получают ровные и зеркально-блестящие, например слюда, известковый шпат, топаз, гипс; б) совершенная, когда минерал делится на пластинки с меньшей чистотой, чем предыдущие, и плоскости спайности сравнительно менее блестящие, например плавленый шпат, роговая обманка, полевошпат; в) листовая, когда минерал по правильные пластинки вовсе не колется, а только местами бывают заметны небольшие гладкие площадки, параллельные между собой, например алмаз, изумруд; г) несовершенная, когда спайность вовсе не заметна, например горный хрусталь, турмалин, гранат. Чтобы отыскать в минерале спайность, его раскалывают молотком; часто спайность обнаруживается или рядом трещин в минерале, или случайным отколом при его добыче. Чтобы лучше видеть спайность, наблюдатель помещается между источником света и минералом несколько сбоку, поворачивая минерал в разные стороны; тогда будут видны плоскости спайности по отраженному свету от их зеркальной поверхности.

Магнитность. Магнитностью называется свойство некоторых минералов действовать (т. е. приводить в движение) на магнитную стрелку или притягиваться магнитом. Для определения магнитности употребляют или магнитную стрелку, помещенную на конце острого штифта, или же магнит в виде подковы или бруска.

Излом. При разламывании и разбивании минералов получают или ровные плоскости, которые мы называем плоскостями спайности, или неровные, называемые плоскостями излома. Чем совершеннее спайность, тем труднее наблюдать излом, но в неделимых с несовершенной спай-

ностью при разламывании обнаруживаются преимущественно плоскости излома, и спайные плоскости могут быть замечены только при внимательном наблюдении. Если принять во внимание кризису плоскостей излома, то оказывается, что большинство минералов имеет плоскости излома и углублениями и возвышениями, напоминающими собой подобные же неровности на внутренней поверхности раковин. Такой излом называется *раковистым*, причем различают плоский и глубокораквистый, крупно- и мелко-раковистый излом. Выражения «ровный» и «неровный» излом пошты без всякого объяснения. В отношении других свойств плоскостей излома различают кроме гладкого излома еще *заключистый*, когда на плоскостях излома замечаются мелкие полусвободные завозы, как например в кремне, затем *прючноватый*, когда поверхность излома покрыта тонкими проволоками, зачнутыми на своих концах, что наблюдается исключительно в тлущих минералах; наконец излом называют *землистым*, если поверхность его матовая и покрыта мелкой пылью, например глина, мел.

Удельный вес. Удельный вес минералов варьирует от 0,6 до 23,0.

При процессах обогащения, для разделения полезных минералов друг от друга и от пустой породы пользуются их различием по удельному весу.

Следующая таблица представляет восходящий ряд удельных весов наиболее важных минералов:

0,6 до	1,0—	нефть, озокерит, вода.
1,0 "	1,5—	смола, каменный уголь, самородная сода, самородная глауберова соль.
1,5 "	2,0—	квасцы, бура, селитра, нашатырь, железный купорос.
2,0 "	2,5—	гипс, лейпидит, цеолиты, графит, сера.
2,5 "	2,8—	кварц, полевые шпаты, нефелин, изумруд, серпентин, тальк, известковый шпат.
2,8 "	3,0—	арагонит, доломит, ангидрит, тремолит (роговая обманка), слюда.
3,0 "	3,5—	плавиковый шпат, апатит, роговая обманка, авгит, эпидот, турмалин, топаз, алмаз.
3,5 "	4,0—	сидерит, малахит, медная жазурь, желтая охра, корунд.
4,0 "	4,5—	тяжелый шпат, рутил, хромит, медный колчедан, цинковая обманка.
4,5 "	5,5—	железный колчедан, марказит (лучистый колчедан), сурьманный блеск, блеклая медная руда.
5,5 "	6,5—	магнитный железняк, красная медная руда, мышьяковый колчедан, медный блеск, красная серебряная руда.
6,5 "	8,0—	церуссит (углекислый свинец), оловянный камень, свинцовый блеск, серебряный блеск.
8,5 "	10,0—	киноварь, медь, висмут.
10,0 "	14,0—	серебро, свинец, ртуть.
15,0 "	20,0—	золото, платина.
21,0 "	23,0—	придий, осмий.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ. ПРИБОРЫ, АППАРАТЫ И РЕАКТИВЫ. ПАЯЛЬНАЯ ТРУБКА

Паяльная трубка (рис. 2) состоит из мундштука *a*, трубки *b*, барабана *c* и наконечника *d* и легко разбирается на эти составные части. Трубка *b* должна быть не слишком толстостенной, так как в противном случае она сильно нагревается при работе. Барабан *c* должен сниматься

с трубки и наконечника, чтобы от времени до времени можно было удалять накапливающийся в нем благодаря продуванию сырого воздуха воду.

Паяльная трубка служит для того, чтобы продувать этим воздух сквозь пламя в поперечном направлении и получать таким образом высокие температуры, которыми пользуются для определения плавкости, для реакций получения стекол или перлов (шариков) и вообще для нагревания небольших количеств веществ в окислительном или восстановительном пламени. При этом испытываемое вещество большей частью смешивается с известными реактивами и помещается или на приготовленном нижеуказанным способом угле, или в устье платиновой проволоки.

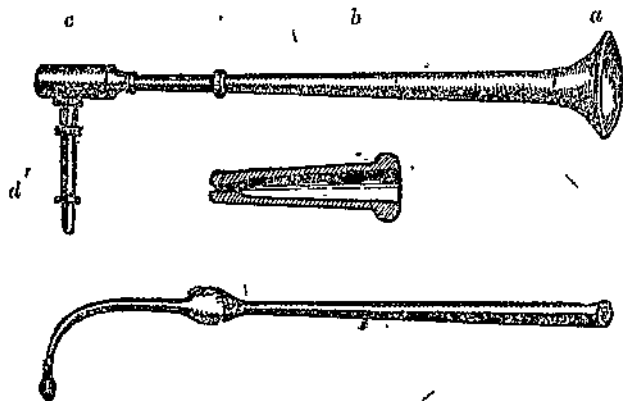


Рис. 2.

При работах с паяльной трубкой в лабораториях употребляют обыкновенно газовое пламя. Но ею можно пользоваться также, что особенно важно для минералогов и геологов в путешествиях, имея в распоряжении пламя обыкновенной масляной лампы или толстой свечи.

Если горящим материалом служит светильный газ, то для опытов с паяльной трубкой вставляют в бунзеновскую горелку металлическую трубочку, оканчивающуюся сверху узкой лосой щелью, и закрывают отверстия для притока воздуха.

Уголь. При выборе углей нужно смотреть, чтобы они хорошо были пережжены, так как в противном случае они трещат и выбрасывают пробу: Березовый, липовый, также ивовый уголь несравненно лучше углей из других древесных пород, более плотных и более богатых содержанием золы. Выбирают всегда гладкие куски, потому что сучковатые трескаются и выбрасывают испытываемое вещество. Лучше всего брать уголь, приготовленный из крупного, ровно расколотого основного дерева; такой уголь распиливают на куски, которым дают форму параллелепипедов; хорошо обдутые, они не марают рук. Употребляют только те стороны, где представляются в разрезе концентрические слои дерева, потому что на других сторонах пламени расклевываются по поверхности угля (Берцелиус).

Лампа для паяльной трубки. Лучшее всего получается пламя паяльной трубки от простой свечи. Но так как света быстро обтаивает с боков, то для нее необходим особый подсвечник. Этот подсвечник вытачивается обычно из меди, и света целиком заходит в него. В дно подсвечника вставлена пружинка, которая, надавливая на свечу снизу вверх, всегда держит ее на одном уровне при сгорании. Можно пользоваться также пламенем обыкновенной спиртовой, прибавляя только в спирт несколько капель бензина. Наконец можно устроить из небольшой склянки с широким горлом так называемую «масляную лампу», налив туда масла и вставив через пробку в склянку светильную в стеклянной трубочке.

Очень хорошо пламя светильного газа, горящего в горелке без доступа воздуха.

Пинцет. В минералогическом пинцете пружинящая часть устроена так, что концы пинцета все время плотно сжаты и могут держать кусочек минерала без помощи давления пальцев. Если же надавливать, то кончики расходятся (рис. 3). Обычные пинцеты, ботанические и зоологические, которыми можно держать кусочек минерала только сжимая пинцет пальцами, неудобны, так как при пробах на плавкость надо очень долго держать пинцетом осколок минерала; руки устают нажимать, пинцет расходится, и кусочек выпадает. Очень хорошо, если кончики пинцета платиновые или никелевые.

Пинцет необходимо держать в чистоте.



Рис. 3.

Платиновая проволока. Платиновая проволока берется длиной в 10—12 см при толщине 0,1—0,3 мм, и вдавливается в стеклянную палочку, или вставляется в особые держатели. На конце проволоки делается загиб в виде петельки, диаметром 2—3 мм, для того кончик проволоки обертывается вокруг острого карандаша.

Платиновую проволочку после употребления смачивают соляной кислотой и прокатывают.

Молоточек, наковальня и долотце. Все эти инструменты необходимы для откалывания осколков от испытуемого минерала. Все они должны быть сделаны из лучшей крепкой стали, иначе они быстро портятся. Молоточек обычно употребляется палтнеровского типа, небольшого размера.

Магнитная стрелка. Магнитной стрелкой может служить стрелка любого компаса, по необходимости вынуть стекло. Лучшее всего стрелку поместить на тонкую иглу на подставке, тогда чувствительность ее сильно повышается.

Список необходимых приборов.

1. Паяльная трубка; 2. Свеча с подсвечником или масляная лампа.
3. Пинцет минералогический. 4. Платиновая проволока и держалка.

и ней. 5. Апатовая ступка. 6. Ступка Абиха (стальная). 7. Молоток минералогический. 8. Стальная наковальня. 9. Серебряная пластина. 10. Магнит или магнитная стрелка. 11. Стеклённые трубки открытые и запаянные с одного конца. 12. Реактивные цилиндрики (пробирки). 13. Часовые стекла. 14. Роговая ложка. 15. Сверла для угля. 16. Угли. 17. Луна.

СПИСОК РЕАКТИВОВ

а) Сухие реактивы

Эти реактивы следует хранить в стеклённых бутылках с широкими горлышками.

Углекислый натрий, Na_2CO_3 , или *двууглекислый натрий*, NaHCO_3 . Широко применяется при разложении минералов. *Бура*, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. При плавлении в пинцете из платиновой проволоки служит для проб с получением перлов. Борное стекло есть сплавленная и измельченная в порошок бура. *Фосфорнонатроаммиачная соль*, «фосфорная соль», $\text{HNaNH}_4\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Также употребляется при пробах с получением перлов. После нагревания вода и аммиак освобождаются, и соль переходит в метафосфорнокислый натрий.

Реактивные бумаги. Синяя и красная лакмусовые бумаги для щелочных и кислых реакций. Желтая куркумовая бумага для открытия борной кислоты и циркония.

Кислый сернокислый калий, KHSO_4 . Употребляется при плавлении для разложения минералов.

Сплав, служащий для определения висмута. Тесная смесь одной части по весу KJ (подкислого калия), одной части KHSO_4 (кислого сернокислого калия) и двух частей S. При употреблении на гипсовых таблётках многие элементы дают сильно окрашенные иодистые возгоны (сплав Кобелля—von Kobell).

Сплав, служащий для определения борной кислоты. Состоит из трех частей измельченного KHSO_4 и одной части измельченного флюорита, CaF_2 . Употребляется для открытия бора в силикатах (сплав Тернера—Turner).

Азотнокислый калий, KNO_3 . При употреблении с применяемой для сплавления смесью ускоряет окисление.

Гранулированное олово и цинк. Употребляются в кислых растворах для восстановления.

Магнелиевая лента (или порошок). Для открытия фосфорной кислоты.

б) Жидкие реактивы

Работа в поле требует, чтобы количество реактивов, и особенно жидких, было доведено до минимума. В этих условиях возможно ограничить число жидких реактивов аммиаком, 10%-ным раствором азотнокислого кобальта и обычными кислотами: HCl , HNO_3 и H_2SO_4 . В лаборатории гораздо лучше увеличивать число реактивов, чтобы значительно расширить масштаб операций.

Алкоголь. 95%-ный этиловый спирт.

Гидроокись аммония, NH_4OH . 1 часть концентрированной щелочи, разбавленная 3 частями воды.

Молибденовокислый аммоний, $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$. Растворяется 50 г MoO_3 в смеси с 200 см³ воды и 40 см³ NH_4OH (уд. вес 0,90). Раствор должен всегда быть теплым. Жидкость затем фильтруют и выливают, непрерывно мешая, в смесь 200 см³ HNO_3 (уд. вес 1,42) и 300 см³ воды.

Щавелевокислый аммоний, $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 20 г растворяется в 500 см³ воды.

Хлористый барий, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 30,5 г растворяется в 500 см³ воды.

Гидроокись кальция (известковая вода), $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Приготавливается встряхиванием CaO с водой и отстаиванием чистой жидкости.

Азотнокислый кобальт, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. 1 часть кристаллизованной соли растворяется в 10 частях воды; раствор хранят в капельницах.

Диметилглиоксим, $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2\text{N}_2$. Приготавливается насыщенный раствор в 50%-ном спирто-воде, к которому прибавлено небольшое количество аммиака. Реактив на йодатину и иодат.

Двунафровая соль фосфорной кислоты, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 30 г растворяется в 500 см³ воды.

Железный купорос, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Раствор приготавливается в случае надобности.

Бромистоводородная кислота, HBr . Приготавливается пропусканием H_2S через раствор жидкого брома в воде до тех пор, пока не исчезнет красный цвет брома. Колбу следует охлаждать струей воды во время реакции. Раствор отфильтровывается.

Хлористоводородная кислота, HCl . Объем концентрированной кислоты разбавляется равным объемом воды.

Перекись водорода, H_2O_2 . 30%-ный раствор. Хранить в бутылке темного цвета.

Уксуснокислый свинец, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 47,5 г растворяется в 500 см³ воды.

Азотная кислота, HNO_3 . Употребляется или в концентрированном виде, или 1 часть кислоты разбавляется 2 частями воды.

Царская водка. Смесь трех частей концентрированной соляной кислоты и одной части концентрированной азотной кислоты. Обладает сильнейшей растворяющей и окисляющей способностью. Разлагается и потому, приготавливается в небольших количествах по мере надобности.

Железосинеродистый калий, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$; 27,5 г растворяется в 500 см³ воды.

Железистосинеродистый калий, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 26,5 г растворяется в 500 см³ воды.

Едкое кали, KOH . «Палочки» должны храниться в хорошо закупоренных бутылках и в случае надобности растворяться в воде.

Азотнокислое серебро, AgNO_3 ; 21 г растворяется в 500 см³ воды. Раствор следует хранить в бутылках темно-лилового цвета или заклеенных черной бумагой.

Нитропруссидный (нитрожелезистосинеродистый) натр. $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{NO})(\text{CN})_5$. Раствор следует готовить по мере надобности.

Серная кислота, H_2SO_4 . Иногда применяется концентрированная серная кислота, также и разбавленная в 6 частях воды. При разбавлении следует очень медленно прибавлять кислоту к воде.

Желтый сернистый аммоний, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$. Прибавить серного цвета к концентрированному аммиаку и насытить раствор сероводородом (H_2S). Разбавить двумя объемами воды. Колбу, при зарежении H_2S следует охлаждать струей воды.

Благодаря легкости получения реакций при помощи паяльной трубки и простоте требующегося оборудования, существует ряд различных комплектов, приспособленных для полевой работы. Один из лучших комплектов к паяльной трубке—Бутлера (Butler).

РАБОТА С ПАЯЛЬНОЙ ТРУБКОЙ

При работе с паяльной трубкой прежде всего надо научиться дуть, вбирая воздух не ртом, а через нос.

Воздух набирается в рот, немного, но столько, чтобы щечки были раздуты. В тот момент, когда втягивается воздух через нос, щеки сжимаются подобие мехов и дуют таким образом воздух в трубку. Этим достигается непрерывность и равномерность дутья.

Лучше всего пользоваться для паяльной трубки пламенем свечи или масляной лампы.

Пламя свечи

Пламя свечи состоит из трех частей (рис. 3а).

а) Наружный синеватый конус—очень мало светящийся, где происходит полное сгорание при избытке кислорода и где температура достигает своего максимума. Вещество, внесенное в этот бледный конус, будет накаливаться при доступе кислорода, оно будет вступать с ним в соединения—окисляться. Внесем кусочек серы в это пламя. Сера соединяется с кислородом—горит и образует белый удушливый сернистый газ.

Это пламя называется *окислительным*.

б) Второй конус—ярко светящийся, где происходит неполное сгорание горючих паров. Остающиеся частички угля, накаленные пламенем, и обуславливают собой яркий свет этого конуса.

В этом светящемся пламени вещество накаливается при недостатке кислорода, и кислород отнимается от вещества для сгорания газа. Происходит восстановление вещества, и самое пламя называется *восстановительным*.

в) Внутренний конус—темный, состоящий из горючих паров, но не сгорающих еще по недостатку кислорода.

Пламя свечи обладает невысокой температурой, и большинство минералов в этом пламени не изменяется. Для получения высокой температуры служит паяльная трубка. Вдувая поток воздуха, мы повышаем приток кислорода, усиливаем горения и можем получить пламя с температурой около 1000° .

Для этого наконечник трубки вводят в пламя свечи; мундштук плотно охватывают губами; щеки слегка надувают и гонят воздух, стараясь работать не легкими, а щеками.⁴ Одной рукой поддерживают трубку посредине.

Наконечник располагают так, чтобы дуть в направлении загнутой дуны светильни (рис. 3а, правый).

Если дуть в паяльную трубку, введя конец ее внутрь светового конуса на $\frac{1}{3}$ его, то мы тем самым удлиним конец наружного *а* окислительного пламени свечи и получим сильное *окислительное пламя* (рис. 3б). Минерал или перл (рис. 3б) помещается немного *вперед* чуть видимого «бесцветного» пламени.

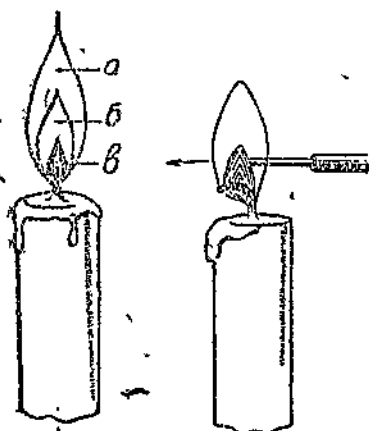


Рис. 3а.

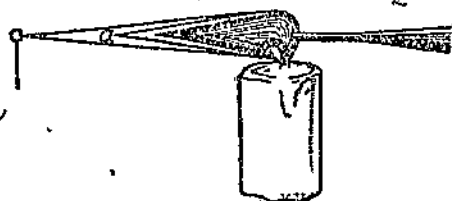


Рис. 3б.

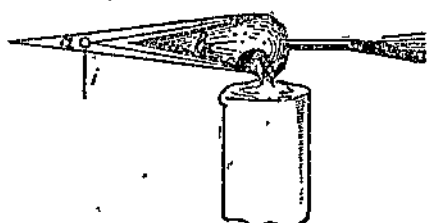


Рис. 3в.

Если же дуть, едва касаясь светящегося конуса свечи, то мы удлиним восстановительный конус ее *в* и получаем хорошее синее восстановительное пламя. Минерал или перл помещается приблизительно в конце синего восстановительного конуса (рис. 3в). При работе с восстановительным пламенем надо стараться, чтобы осколок минерала или перл *были внутри конуса* и не выдавались наружу.

Если конец синего конуса или часть «бесцветного» получаются с желтыми язычками, то значит: или держат конец трубки очень низко над светильней, или он запачкался в стеарине и его надо хорошенько вытереть. С желтыми язычками в пламени продолжать работу нельзя ни в коем случае, так как это пламя с низкой температурой и коптящее.

Уметь пользоваться окислительным и восстановительным пламенем и представляет первую задачу обучающегося владеть паяльной трубкой. Лучше всего навык приобретается при работе с перлами (см. ниже). Но первоначальное обучение лучше всего начать с работы по определению плавкости, где еще не надо строго разграничивать оба рода пламени.

Испытание на плавкость

По плавкости минералы могут быть разбиты на две больших категории: 1) минералы плавкие, 2) минералы неплавкие.

Обычно различают целую шкалу плавкости, и некоторые определители построены на этом признаке. Но нельзя сказать, чтобы этот признак был строго постоянным и ясно выражен: во-первых, потому что степень плавкости минерала изменяется от присутствия посторонних примесей, и одни и те же минералы, но из различных месторождений, обнаруживают иногда различную степень плавкости; во-вторых, степень плавкости зависит и от тех химических процессов, которые происходят при нагревании минерала. Например красный железняк в окислительном пламени не плавится, при обработке же его восстановительным пламенем он теряет часть своего кислорода и оплавляясь по краям.

Поэтому для наших целей совершенно достаточно различать плавкий минерал от неплавкого.

Производство опыта. Осколок минерала, по возможности с острыми краями, берется пинцетом так, чтобы какой-либо острый край выдавался наружу. Этот край вносят в пламя немного отступя от конца синего конуса (рис. 3г). Минерал может быстро сплавляться или только закругляться по краям. Если минерал не плавится, то край его останется таким же острым, какими и были раньше, причем надо подвергнуть его действию пламени не менее 2—3 минут.

Некоторые минералы при нагревании растрескиваются, что затрудняет определение плавкости. В таком случае осколок минерала осторожно прогревается в запаянной с одного конца трубочке; сначала в пламени

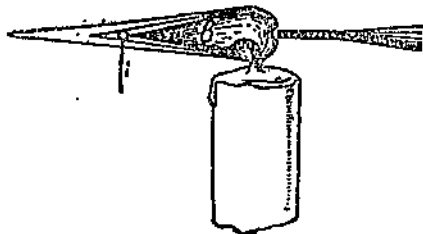


Рис. 3г.

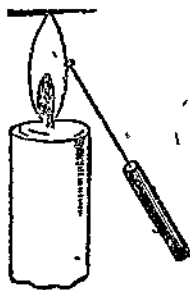


Рис. 3д.

свечи, потом немного паяльной трубкой. На дне трубки минерал, растрескиваясь, собирается жучей осколков. Высыпав их на бумагу и выбрав осколочек покрупнее, берут его пинцетом и смело подвергают действию пламени. Если же минерал рассыпается в мелкий порошок или он по природе землистый, то подвергают его прокаливанию на угле (см. ниже пробы на угле) и наблюдают, сплавляется ли он в шлак — совсем или частью, или же только спекается в неплавкую массу. В последнем случае минерал будет неплавкий.

Испытание на плавкость полезно сделать со следующими минералами: сурьмяный блеск, гранат-альмандин, малахит, свинцовый блеск, гипс, кварц, полевой шпат.

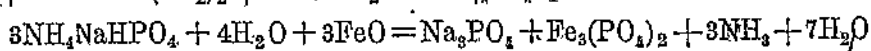
При пробе на плавкость минерал может улетучиваться, часто не плавясь. Такими легколетучими бывают мышьяковые и ртутные соединения.

ПРОБА С ПЕРЛАМИ БУРЫ И ФОСФОРНОЙ СОЛИ; ПРОБА НА УГЛЕ; НАЛЕТЫ НА УГЛЕ; НАЛЕТЫ В ЗАПАЯННОЙ С ОДНОГО КОНЦА СТЕКЛЯНОЙ ТРУБОЧКЕ

Проба с перлами буры и фосфорной соли

Сущность способа. Расплавленная бора и фосфорная соль обладают способностью растворять окислы металлов и окрашиваться в различные цвета этими окислами.

Так, закись железа растворится в буре по уравнению $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{FeO} = \text{Fe}(\text{BO}_2)_2 + 2 \text{NaBO}_2$ или в фосфорной соли:



При этом перл окрашивается в зеленый цвет.

Производство опыта. Платиновую проволоку в 6—7 см длиной впаивают в стеклянную палочку или трубочку. Существуют в продаже особые «держалки» для проволоки, где проволока придавливается к стенке внутри медной трубки винтиком. Конец проволоки загибают колечком в 2—3 мм в диаметре. Накаливают колечко и быстро погружают в порошок буры. Приставшую бору нагревают и, если ее мало, то погружают вновь в порошок, пока расплавленная бора не образует шарика на конце проволоки, величиною не более просыяного зерна. Шарик надо нагревать до тех пор, пока по охлаждению он не сделается совершенно прозрачным.

Для растворения в шарике исследуемого вещества поступают так: горячим или смоченным водой шариком прикасаются к порошку исследуемого минерала, чтобы захватить полую небольшую пробу; нагревают шарик в одном каком-либо пламени — или в восстановительном или в окислительном. Если окраска не наблюдается, то захватывают еще порошка, пока не получат окраску, или станет ясно, что вещество растворяется, не окрашивая перла. Попробовав таким образом на окрашивание в одном роде пламени (окислительном), стряхивают перл и пробуют точно таким же образом в другом пламени (восстановительном). Надо заметить, что, когда в минерале находится сера или мышьяк, то полезно, прежде чем делать испытание на окраску перла, тщательно обжечь порошок минерала на угле окислительным и восстановительным пламенем для удаления этих элементов, и потом уже приступить к пробе.

Чтобы очистить проволоку от перла по миновании в нем надобности, достаточно накалисть ее в пламени трубки и просто стряхнуть резким движением или ударом руки о стол.

Для первоначальных работ лучше всего брать минерал, содержащий марганец, например родонит, пиролюзит и пр. Марганец окрашивает перл буры в окислительном пламени в фиолетовый цвет. Если этот окрашенный перл подвергать действию восстановительного пламени, то окраска исчезает, и перл становится совершенно бесцветным.

Это — прекрасная проба на уменьше действовать строго определенным пламенем. Для занимающегося уменьше обесцветить фиолетовый перл марганца служит своего рода экзаменом для перехода к дальнейшим работам по получению налетов, королютов и пр. Надо остерегаться брать слишком много порошка минерала в перл буры, иначе обесцвечивание достигается с большим трудом.

Для этой же цели может служить молибденовый ангидрид. Если небольшое количество его сплавить в ушке платиновой проволоки с бурой в окислительном пламени, то получается прозрачный перл. Внося его в восстановительное пламя — он быстро бурее и при продолжительном дутье становится непрозрачным. Наоборот, этот же непрозрачный перл светлеет и делается опять прозрачным в окислительном пламени.

Перлы фосфорной соли. готовятся, совершенно так же, как и перлы буры.

Следует обращать внимание не только на цвет перла в холодном состоянии, но также и в горячем.

Элементы, дающие цветные перлы, расположены в таблице на стр. 55—58.

Проба на угле

При испытании минералов на угле мелко истертый порошок или осколок минерала помещается в углубление, сделанное на угле, и подвергается действию окислительного или восстановительного пламени алачной трубки.

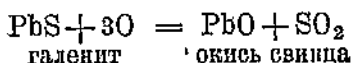
Порошок минерала часто смешивается предварительно с содой (тройное количество) или с другими реактивами для ускорения и облегчения реакции. При этом наблюдается следующее: 1) налет на угле; 2) налет на угле и выплавленный шарик металла, называемый королюком; 3) один королюк без налета; 4) королюк на выплавляется, но получается характерный, часто окрашенный шлак.

Уголь для работы лучше всего брать березовый. Предварительно необходимо нарезать и обточить его в виде небольших пластинок 4—7 см так, чтобы были хоть одна ровная и гладкая поверхность. Ямку делать неглубокую, плоскую, отступа не менее 1 см от края. Для проверки ямок существуют особые сверла, но в них нет необходимости, и легко можно напильником сделать ямки перочинным ножом. Уголь надо держать так, чтобы угол между его верхней поверхностью и пламенем был тупой, не менее 100°. Пламя должно едва только касаться взятой пробы, но ни в коем случае не раскалывать на большое расстояние вокруг лежащие части угля. В особенности надо следить во время образования налетов, чтобы часть угля впереди исследуемого вещества подвергалась наименьшему нагреванию и воздействию, иначе легко пропустить некоторые образующиеся налеты.

Налеты на угле

Многие металлы, содержащиеся в минералах, при накаливании окислительным пламенем, соединяясь с кислородом, образуют летучие окиси.

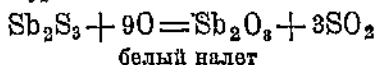
Например:



Эти окиси, садясь на холодные части угля, покрывают его тонким слоем — налетом. Налеты бывают разнообразного цвета и свойств.

Возьмем кусочек сурьмяного блеска, положим в сделанную имку на угле и подвергнем действию пламени (горячей его части). Скоро начнется итти дым — это летит окись сурьмы.

Реакция идет по уравнению:



Стараясь поставить уголь так, чтобы как можно больше «поймать» этот дым на поверхности угля, где он действительно и садится в виде белого налета. Проводим по налету окислительным пламенем — он быстро сгорается. Действуем на налет (непродолжительно) восстановительным пламенем — он исчезает, оставляя зеленый след.

Возьмем теперь кусочек висмутного блеска или самородного висмута (за неимением их можно взять металлический висмут, который продается в аптекарских магазинах). Нагреваем его пламенем паяльной трубки. Дыма мы не увидим, но на угле садится налет — окись висмута. Налет этот, сначала, пока еще горячий, — оранжевого цвета, но охлаждения же лимонно-желтый. Легко сгорается как окислительным, так и восстановительным пламенем, не оставляя цветного следа.

Еще более характерный налет для висмута получится, если мы растолчем нашу пробу и смешаем ее с подистым калием и серным шротом (1 часть пробы, 1 часть подистого калия и 1 часть серы). Обрабатываем эту смесь окислительным пламенем и получаем на угле красивую красную кайму. В данном случае летит и садится на уголь подистый висмут, который и дает характерный красный налет. Таблицу налетов см. в конце главы.

Налеты в запаянной с одного конца стеклянной трубке

Некоторые налеты на угле дополняются и контролируются налетами в стеклянной запаянной с одного конца трубке; ртутные соединения улетучиваются на угле сплошь и могут быть открыты только при работе со стеклянными трубками. Трубка берется с диаметром отверстия не более 0,5 см и длиной 8—10 см. С одного конца ее запаявают, что можно легко сделать паяльной трубкой. Желательно на запаянном конце иметь шарообразное углубление, как у термометра, для чего раскаляют запаянный конец и дуют в свободный, раздувая таким образом дно в шарик. Перед употреблением трубку прогревают для удаления влаги, вода медленно, начиная с шарика, над пламенем свечи.

Соскоблим белый налет от мыльяка с угля на лист бумаги, осторожно, стараясь меньше захватить угля. Возьмем соскобленного порошка на острие ножа, насыпем в запальную трубку и накалим самое дно ее на пламени паяльной трубки. Белая окись мыльяка от жара распадается, металлический мыльяк улетучивается и садится на холодной стенке трубки приблизительно на 1 см от нагреваемого места. Будем рассматривать теперь трубку *в отраженном свете*. Там, где сел мыльяк, мы заметим блестящий темнометаллический ободок. Он называется мыльяковым зеркалом. Накаливая это место, мы можем согнать зеркало выше.

Поступим точно так же с налетом от сурьмы и получим сурьмяное зеркало; но свойства его иные. Во-первых, оно ложится тут же около накаливаемого места; во-вторых, цвет его серебристо-белый и, в-третьих, оно не сползает с одного места на другое.

Для определения *ртути* порошок минерала смешивается с тройным количеством соды и нагревается в запальной с одного конца трубке. Ртуть собирается в холодных частях трубки в виде блестящих мелких шариков.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРОЛЬКА; ОКРАШЕННЫЕ ШЛАКИ; СЕРНАЯ ПЕЧЕНЬ

Получение металлического королька.

Из многих минералов, содержащих тяжелые металлы, можно выплавить на угле самый металл в виде шарика-королька.

Порошок минерала смешивается с тройным количеством соды. Щепотка смеси кладется в ямку на угле (см. выше пробы на угле) и обрабатывается восстановительным пламенем. Если смесь не держится в ямке, а распыляется от пламени, можно смочить ее водой, превратив в тестообразную массу.

Если реакция происходит, то масса сплавляется в сплошной шлак. Постепенно шлак округляется, уменьшается в размере и в нем появляется блестящий шарик металла.

Полезно перепорачивать шлак вилицом, перекалывать в новую ямку, а в затруднительном случае, когда металл долго не выплавляется, хорошо растолочь шлак и снова сплавить.

Когда корольек ясно виден среди массы шлака, для ускорения работы можно вынуть шлак, выковырять корольек и обрабатывать вновь до тех пор, пока не получится шарик, свободный от шлака.

Получив корольек, его исследуют.

1. Пробуют на ковкость; кладут его на железную или стальную пластинку и легко ударяют молоточком. Ковкие металлы сплюсываются в лепешку, хрупкие рассыпаются.

2. Пробуют на получение налета на угле.

3. Пробуют на окрашивание пламени.

Легче всего выплавляется корольек свинца. Поэтому первоначальные работы ведутся со свинцовыми рудами: церусситом, свинцовым блеском. Значительно труднее получить корольек меди. Требуется продолжительное непрерывное дутье. Получение королька меди и служит доказатель-

ством умения владеть паяльной трубкой. Материалом для этого обычно берется малахит.

См. таблицу свойств корольков в конце главы.

Окрашенные шлаки

Минералы, содержащие марганец или хром даже в значительном количестве, не дают на угле королька, но будучи смешаны в равных количествах с содой и селитрой, дают окрашенные шлаки.

Марганцевые соединения при сплавлении с содой и селитрой дают зеленый шлак.

Хромовые соединения дают желтый шлак. В последнем случае лучше сплавлять массу в ушке платиновой проволоки, так как уголь загрязняет шлак и маскирует его цвет.

Серная печень

Минералы, содержащие серу, при сплавлении с содой на угле (3 части соды, 1 часть минерала) дают шлак, который, положенный на серебряную пластинку (монету), дает черное пятно сернистого серебра при смачивании водой.*

Например: галенит $PbS + Na_2CO_3 = Na_2S + PbO + CO_2$; далее
 $Na_2S + 2Ag + H_2O + O = Ag_2S + 2NaOH$
черное пятно

(См. главу «Важнейшие реакции»). Редкие элементы, селен и теллур, также дают на серебряной пластинке темное пятно теллуристого или селенистого серебра, как и редкие минералы, содержащие эти элементы.

ПРОБА НА ОКРАШИВАНИЕ ПЛАМЕНИ; РЕАКЦИЯ НА ХЛОР; ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЫ В МИНЕРАЛАХ

Окрашивание пламени

Целый ряд соединений, и особенно соединений щелочей и щелочных земель, придает несветящемуся пламени горелки Бунзена или окислительному пламени паяльной трубки характерные окраски, которые могут служить для их распознавания. Вследствие того что интенсивность окраски пламени зависит от летучести употребляющейся соли, а также ввиду того, что хлориды вообще более летучи, чем другие соединения, лучшие результаты обыкновенно получаются смачиванием порошка соляной кислотой. В немногих случаях предпочтительнее смачивание серной кислотой. Порошок вводится в пламя горелки Бунзена при помощи чистой платиновой проволоки, или же очень тонкий осколок минерала, смоченный кислотой, держат пинцетом в несветящей части окислительного пламени паяльной трубки. Плавкие металлы и мышьяк не должны однако нагреваться в контакте с пинцетом, имеющим платиновые концы. Для открытия щелочей в силикатах можно произвести разложение смешиванием пробы с равным объемом истолченного в порошок гинса, до того как вводить ее в самую горячую часть пламени бунзеновской горелки.

Иногда бывает даже возможно открыть отдельные компоненты, когда имеются сразу несколько элементов, окрашивающих пламя. Это можно произвести употреблением: 1) спектроскопа, 2) пользуясь разницей в степени летучести составляющих частей или 3) пользуясь цветными экранами.

Спектроскоп. Для опытов с паяльной трубкой очень полезным является карманный спектроскоп à vision directe (для прямого рассматривания). Лучшие инструменты снабжены шкалой и призмой для сравнения, при помощи которых можно прямо сравнивать спектры неизвестного вещества со спектром известного. Если рассматривать окрашенное пламя через спектроскоп, видны светло окрашенные линии на темном фоне. Цвет, положение и группировка линий служат основой для распознавания элементов.

Опыты со спектроскопом. 1. Спектры улетучивающихся элементов в пламени паяльной трубки.

Малый спектроскоп à vision directe, (для прямого, непосредственного рассматривания спектра) представлен на рис. 3е.

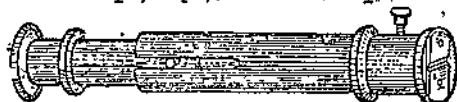


Рис. 3е.

Малый спектроскоп состоит из трубки, один конец которой закончен двумя небольшими подвижными частями, которые при помощи винта раздвигаются или сближаются таким образом, что между ними получается более или менее узкая щель. В этой трубке замкнута и движется с легким трением другая трубка, в которую вставлена призма и на конце которой помещается концентрирующая свет линза. Другой конец заканчивается стеклом и представляет собой окуляр.

Регулируется этот аппарат следующим образом.

Направить спектроскоп к небу. Точно установить спектр при помощи окуляра. Затем при помощи винта довести щель до такой ширины, чтобы фраунгоферовы линии были ясно видны. После этого надо действовать следующим образом.

1) Урегулировать спектроскоп.

2) Урегулировать пламя паяльной трубки, слегка приподняв барабан и действуя таким образом, чтобы получить правильное, мало светящее коническое пламя. Наместить пламя согласно со спектроскопом немного выше острой верхушки внутреннего конуса таким образом, чтобы не мешал спектр углерода (зеленые линии); желтая линия углекислого натрия должна быть единственной видимой. Она послужит исходной точкой для определения относительных положений линий, которые даются элементами.

3) Взять платиновую проволоку, слегка сплюснутую или загнутую на конце. Эта проволока должна быть совершенно чистой и при введении в пламя не давать никакой окраски.

4) Поместить в часовое стекло подлежащее испытанию вещество, истертое в мелкий порошок, в другое налить несколько капель хлористоводородной кислоты. После этого производить опыт таким образом.

Смотить конец проволоки кислотой, потом погрузить ее в испытуемое вещество. Направить спектроскоп над острой верхушкой голубого конуса и вводить мало-помалу проволоку, поддерживая вещество так, как было сказано при описании опытов окрашивания пламени; тщательно отмечать последовательное появление линий.

В частности в случае силикатов смачивать исследуемое вещество в несколько приемов фтористым аммонием, чтобы заставить улетучиться кремнезем, потом HCl до исследования спектроскопом.

В случае смеси линии появляются в порядке улетучивания элементов.

Э л е м е н т ы	С п е к т р а л ь н ы е л и н и и
Натрий	Единственная желтая блестящая линия
Калий	Блестящая красная линия в самой красной части спектра, трудно различимая фиолетовая линия и сплошной слабый спектр
Цезий	* Двойная линия в оранжевой части спектра и две блестящие синие линии, очень характерные
Рубидий	Две красные линии в самой красной части спектра и две характерные фиолетовые черты
Литий	Характерная красная барминная линия, расположенная дальше от линии углекислого натрия, чем линия углекислого кальция, и слабая желтая линия
Кальций	Зеленая и оранжевая линии на равном расстоянии от линии углекислого натрия
Стронций	Характерная голубая (синяя) линия и ряд блестящих линий в красной и оранжевой частях спектра
Барий	Спектр очень богатый полосами в зеленой части блестящая зеленая линия (Взять немного вещества, нагревавшегося в течение долгого времени)
Таллий	Единственная зеленая линия, расположенная дальше от линии углекислого натрия, чем зеленая линия углекислого кальция
Индий	Характерная голубая (синяя) линия, немного более удаленная от линии углекислого натрия, чем линия стронция, и слабая фиолетовая линия

2. Спектр поглощения. Многие минералы, содержащие неодим, при рассмотрении просто на свет при посредстве спектроскопа дают в красной, желтой и зеленой частях спектра широкие черные полосы (полосы поглощения), которые характерны для этого элемента. Примеры: монацит, бастнезит (гамарит), паризит (кыштым-паризит).

Если минерал достаточно прозрачен, эти полосы можно заметить, дав солнечному свету упасть на минерал и просто рассматривая этот последний в спектроскоп. Если преломленный свет достаточно проникнет в минерал, он может дать спектр поглощения.

Этот опыт окажется очень полезным при исследовании концентратов монацитовых песков.

Два других распространенных минерала, циркон и гранат-алмадин, дают характерные спектры поглощения.

Разница в летучести. Отдельные составные части смеси, окрашивающей пламя, часто можно бывает обнаружить без применения спектроскопа, отмечая разницу в степени летучести компонентов. Вообще щелочи (Na, K, Si) более летучи, чем щелочные земли (Ca, Ba, Sr); если держать платиновую проволоку на расстоянии около 1 мм от внешнего, несветящего пламени буценовской горелки, то получается достаточное количество тепла для того, чтобы заставить улетучиться щелочи; для открытия щелочных земель необходимо введение в более горячие зоны пламени.

Цветные экраны. Цветные экраны широко применяются для анализа смесей в пламени. Экраны, состоящие из окрашенного стекла или целлулоида, пропускают одни лучи, всецело поглощая другие. Так, синее стекло поглощает некоторые красные и зеленые лучи вместе с желтыми. Одним из самых применимых экранов является экран Мервина (Merwin Flame Colour Screen).

Этот целлулоидный экран состоит из трех цветных полос, одной синей, другой фиолетовой и третьей синей по фиолетовому. Полосы так окрашены, чтобы поглощать оранжевые и желтые части спектра. Следует производить наблюдения через все три полосы экрана. Нижеследующая таблица дает окраски пламени, видимые при помощи и без помощи цветного экрана Мервина. Цифры относятся к полосам экрана.

Окраска пламени

Элемент	Цвет пламени	Через экран Мервина	Примечание
Кальций	Желтовато-красный	1. Зеленовато-желтый 2. Висновозеленый 3. Малиновый	Невидим через зеленое стекло. После прокалывания кальциевые минералы становятся щелочными
Стронций	Малиновый	1. Невидим 2. Невидим 3. Малиновый	Стронциевые минералы становятся щелочными после прокалывания. Если прибавить к раствору стронциевой соли несколько капель $BaCl_2$, красный цвет Sr покажется после зеленого цвета Ba. Растворы Sr дают белый осадок, если прибавить несколько капель H_2SO_4 . (Отлично от лития)

Элемент	Цвет пламени	Через экран Марвина	Примечание
Литий	Карминный	1. Невидим 2. Невидим 3. Магниновый	Литиевые минералы не становятся щелочными после прокаливания. Если прибавить к раствору литиевой соли несколько капель $BaCl_2$, красный цвет Li покажется перед зеленым цветом Ba
Калий	Бледнофиолетовый	1. Сине-фиолетовый 2. Густокрасно-фиолетовый 3. Красно-фиолетовый	Пурпурно-красный через синее стекло. Спектроскоп необходим для того, чтобы различать калий, рубидий и цезий
Натрий	Интенсивно желтый	1. Невидим 2. Невидим 3. Невидим	Цвет пламени должен быть интенсивным и постоянным для того, чтобы указать на натриевый минерал. Невидим сквозь синее стекло
Оксид меди Иодистая медь	Изумрудно-зеленый	—	С оттенком лазурного при смачивании осляной кислотой
Хлористый марганец	Желтовато-зеленый	1. Изумрудный 2. Бледноглубовато-зеленый 3. Бледный цвет лаванды	Окраска скоро пропадает
Теллур Сурьма	Бледнозеленый	1. Зеленый 2. Невидим 3. Красно-фиолетовый	Следует смочить концентрированной серной кислотой. Цвет не очень ясно выражен
Таллий	Травянисто-зеленый		
Фосфор	Бледноглубовато-зеленый	1. Яркозеленый 2. Бледнозеленый 3. Бледнозеленый	Для борных соединений, разлагаемых серной кислотой: к минералу, помещенному в фарфоровую чашку, прибавить спирта и концентрированной серной кислоты, поднести спичку. Заметен желтовато-зеленый цвет пламени.
Бор	Желтовато-зеленый		Для борных соединений, не разлагаемых серной кислотой: смешать порошок с 3 частями плавня/ на борную кислоту (3 части $KHSO_4$, 1 часть CaF_2),

Элемент	Цвет пламени	Через экран Мервина.	Примечание
Барий	Желтовато-зеленый	1. Яркозеленый 2. Бледножелтый 3. Бледнозеленый	ввести в пламя при помощи горячей платиновой проволоки. Будет видна зеленая окраска, вызванная BF_3 . После прокалывания бариевые минералы становятся щелочными. Имеют довольно высокий удельный вес
Молибден	Бледный желтовато-зеленый	—	Если взять в форме окиси или сульфида, цвет не очень ясно выражен
Цинк	Голубовато-зеленый	—	Появляется в виде ярких полос в наружной части пламени
Хлористая медь	Лазурный	1. Яркозеленый 2. Голубовато-зеленый 3. Голубовато-зеленый	Пламя имеет оттенок изумрудно-зеленый
Селен	Синий (индиго)	—	Сопровождается характерным запахом
Мышьяк	Красно-голубой	—	Характерный запах чеснока
Свинец	Бледнолазурный	—	В наружных частях зеленый оттенок

Реакция на хлор

Для распознавания хлора осколок испытуемого минерала дестрируют в порошок. Затем берут перл буры и насыщают его окисью меди, присаживая порошок окиси меди к нагретому перлу, пока он не станет совсем черным. После этого перл нагревают и приплавляют к нему немного порошка испытуемого минерала. После этой присадки вносят перл в пламя палочкой трубки. Если в минерале есть хлор, то образуется летучая хлористая медь и пламя поэтому окрашивается в лазурно-синий цвет. Предварительно надо попробовать окись меди на чистоту.

Определение воды в минералах

В химический состав многих минералов входит вода. Иногда количество ее незначительно, всего несколько процентов, иногда же она является существенной частью минерала, и содержание ее доходит до 60%. Вода легко обнаруживается при накалывании минерала в запаянной с одного конца трубке: она испаряется и садится каплями на холодных частях ее.

Производство опыта. Берется стеклянная трубка, диаметром не более 0,5 см и длиной 8—10 см, запаянная с одного конца. Предварительно трубка прогревается. Прогревают ее над пламенем

свечи или масляной лампы, начинаю с запаянного конца. Трубка издает остыть. По остывании на дно бросается осколок минерала величиной с шпеничное зерно и дно накаливается в пламени паяльной трубки.

Вода быстро испаряется и осаждается на холодных стенках. Если капли ее начинают стекать вниз на дно, то говорят — минерал выделяет много воды. Если же на стенках осел мелкий пот в виде узкого кружка, то это признак, что воды только следы. В промежуточных случаях просто констатируется, что вода в минерале есть.

Определение воды полезно сделать со следующими минералами: *малахит, гипс, тальк, бурый железник.*

ИСПЫТАНИЕ С АЗОТНОКИСЛЫМ КОБАЛЬТОМ

Если минерал после прокаливания оставляет на угле белый остаток, то, сильно прокалив его, смачивают слегка (2—3 капли) раствором азотнокислой закиси кобальта и снова подвергают действию сильного окислительного пламени. По охлаждении массы наблюдают получаемую окраску. Если минерал бесцветен и сам по себе достаточно порист, то исследование можно вести, не измельчая его в порошок.

Реакция идет по уравнению (например в случае минерала с глиноземом: $Al_2O_3 + Co(NO_3)_2 = N_2O_5 + Al_2O_3CoO$
газ синего цвета

При избытке $Co(NO_3)_2$ получается от прокаливания: $3Co(NO_3)_2 = Co_3O_4 + 8NO_2$. Черный цвет маскирует реакцию, потому надо избежать

такого избытка азотнокислого кобальта.

Минерал, смоченный раствором азотнокислого кобальта и сильно прокаленный, по охлаждении дает:

1. *Синюю неплавящуюся массу.*

а) Проба, смоченная соляной кислотой и внесенная в бесцветное пламя паяльной трубки, не вызывает никакой окраски пламени, а минерал, растворенный в перле фосфорной соли, не обнаруживает скелета кремневой кислоты: *глинозем.*

б) Проба, смоченная соляной кислотой и внесенная в бесцветную часть пламени паяльной трубки, вызывает желтовато-зеленую окраску пламени: *фосфорнокислые земли.*

в) Минерал, растворенный в перле фосфорной соли, обнаруживает скелет кремневой кислоты: *кремнекислые земли.*

2. *Синее стекло.*

а) Минерал, смоченный серной кислотой и внесенный в бесцветное пламя паяльной трубки, вызывает интенсивную зеленую окраску пламени: *борнокислые щелочи.*

3. *Мясо-красную неплавкую массу: магнезия.*

4. *Фиолетовую массу: цирконовокислые земли.*

5. *Зеленую массу: окись цинка, олово и сурьма.*

ОТКРЫТИЕ КРЕМНЕЗЕМА

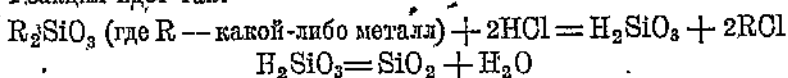
Сущность способа. Кремнекислота может при анализе давать характерный студенистый осадок или осадок хлопьевидный, так назы-

взвешенную нерастворимую SiO_2 . Из получения этих осадков и следует исходить при анализе.

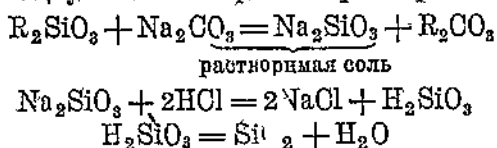
Производство опыта. Это одно из самых важных определений. Необходимо тщательно изучать его.

1. Студень. Тонко истертый порошок минерала (щепотку) всыпать в пробирочку и прилить соляной кислоты. Слегка нагревать. Порошок растворится совсем или отчасти. Тогда выпаривать осторожно на легком огне раствор. В конце выпаривания в пробирке образуется студень.

Реакция идет так:



2. Сплавление с содой. Надо тщательно истереть минерал в порошок, лучше всего в агатовой ступке. Щепотку порошка смешать в ступке с тройным количеством соды. Смесь сплавить в чашке платиновой проволоки или на угле, но тогда осторожно выпимать шлак, чтобы не захватить частиц угля и не загрязнить раствор. Реакции идут так:



Растереть сплав в порошок и растворить в пробирке в 2 см³ слабой соляной кислоты. Затем раствор выпаривается досуха, и остаток в пробирке растворяется в 5 см³ воды, подкисленных 1 каплей слабой HCl . В случае присутствия кремниевой кислоты в растворе плавают легкий хлопьевидный осадок белого или желтоватого цвета нерастворимой SiO_2 , легко определяемой даже при 3% содержания SiO_2 в минерале. Полезно прибавить каплю слабого раствора фуксина. Кремниевая кислота, особенно студенистая, жадно впитывает фуксин и удерживает его после промывания.

Проверка. Старый способ определения SiO_2 заключался в том, что осколок минерала растворялся в перле фосфорной соли и в случае присутствия SiO_2 в перле оставался «скелет кремнезема», т. е. скелет взятого осколка минерала. Однако метод определения кремневой кислоты — растворение испытуемого минерала в перле фосфорной соли и получение «скелета кремневой кислоты» — не всегда приводит к желанной цели, так как кремневая кислота отчасти растворима в фосфорной соли.

Если мы будем растворять вавеллит, монацит, апатит и многие другие минералы в виде тонких осколков в перле фосфорной соли до насыщения последней, то заметим остаток в виде изъеденной сетчатой массы, который легко принять за скелет кремневой кислоты.

Когда сплав соды с испытуемым минералом дает бесцветный перл, то, чтобы узнать присутствие кремневой кислоты, можно перл смочить раствором кобальта и нагреть в окислительном пламени пальной трубки. Шмальтово-синяя окраска перла ясно укажет на присутствие кремневой кислоты.

СПОСОБ ОТКРЫТИЯ ВАЖНЕЙШИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для удобства обращающихся за справками здесь дается сводка самых надежных испытаний для различных элементов. Мокрые химические пробы, включенные в эту сводку, нередко бываюи весьма полезными и служат дополнением к сухим реакциям.

Азот (N). (1) Нагревание в закрытой трубке. Нитраты, нагретые в закрытой трубке с KHSO_4 , выделяют красновато-бурые пары NO_2 .

(2) Испытание с бурым кольцом. Испытуемый раствор окисляют несколькими кубическими сантиметрами разбавленной H_2SO_4 , затем прибавляют вдвое больший объем крепкой H_2SO_4 . После охлаждения прибавляют свежий раствор FeSO_4 так, чтобы он образовал отдельный слой наверху. В случае присутствия нитрата на месте соприкосновения двух жидкостей образуется бурое кольцо. (Иодистые соединения дают кольцо свободного иода, который мешает производству опыта.)

Кислород (O). (1) Нагревание в закрытой трубке. Некоторые из высших окислов выделяют кислород, который воспламеняет тлеющую луинуу.

(2) Выделение хлора. Если к некоторым из высших окислов прибавить HCl , выделяется свободный хлор, который можно узнать по его запаху и отбеливающим свойствам.

Алюминий (Al). (1) Прокаливание с азотнокислым кобальтом. Неплавленные слегка окрашенные минералы алюминия при смачивании одной или двумя каплями азотнокислого кобальта и при сильном прокаливании принимают голубой цвет. Силикаты цинка дают подобную реакцию.

(2) Осаждение аммиаком. Когда кислый раствор, содержащий алюминий, становится щелочным под действием NH_4OH , образуется белый студенистый осадок Al(OH)_3 . Этот осадок легко растворяется в теплом растворе KOH .

Аммоний (NH_4). (1) Нагревание в закрытой трубке. При кипячении с раствором KOH или нагревании с Na_2CO_3 или CaO , выделяется аммиак, который узнается по его запаху, щелочной реакции и белым парам, которые выделяются при контакте с HCl .

Барий (Ba). (1) Испытание в пламени. При смачивании HCl многие бариевые минералы придают пламени желтовато-зеленую окраску. Окраска совершенно сходна с вызываемой бором.

(2) Щелочная реакция и высокий удельный вес. Соединения бария характеризуются довольно высокими удельными весами и щелочной реакцией при смачивании куркумовой бумажки после сильного прокаливания.

(3) Осаждение в виде сернокислого бария. Несколько капель разбавленной H_2SO_4 вызывают осаждение белого BaSO_4 , не растворимого в разбавленных кислотах. Благодаря этому испытанию можно отличить барий от бора и фосфорных минералов, которые также окрашивают пламя в зеленый цвет.

Бериллий (Be), называется также глицил. Соединения бериллия очень похожи на алюминиевые в отношении своих химических реакций. Нижеследующие являются удобными для определения:

(1) Реакция с хинализарином. Осадок гидратов окисей обработать $\frac{1}{4}$ нормального раствора NaOH ; к фильтрату прибавить несколько капель щелочного раствора хинализарина. В присутствии бериллия фиолетовая окраска перейдет в васильково-синюю (алюминий не мешает).

(2) Растворение гидрата окиси в кислом углекислом натрии. Насыщенный раствор NaHCO_3 растворяет гидрат окиси бериллия. Если минерал представляет собой силикат, предыдущим пробам должны предшествовать выщелачивание с Na_2CO_3 на угле и выпаривание досуха после обработки HCl для удаления кремнезема.

Бор (В). (1) Проба в пламени. Некоторые содержащие бор минералы без примесей при нагревании дают желтовато-зеленое пламя, но большая часть их требует предварительного разложения.

Если соединения бора разложить H_2SO_4 , прибавить CH_3OH , то они горят желтовато-зеленым пламенем благодаря образованию борнометилового эфира, $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$. Бораты, не разлагающиеся серной кислотой, следует смешивать с 3 частями плави на борную кислоту (3 части KHSO_4 , 1 часть CaF_2) и вводить в пламя на чистой платиновой проволоке. Яркий зеленый цвет указывает на выделение летучего фтористого бора, BF_3 .

(2) Проба с куркумовой бумагой. Если куркумовую бумагу смочить разбавленным раствором бора в HCl и высушить ее, она принимает красновато-коричневый цвет. Если затем смочить ее NH_4OH , получается синевато-черное, серовато-синее или голубое пятно, зависящее от количества присутствующих куркумы и борной кислоты. Рекомендуется в то же время производить пробу с одной HCl . Ввиду того что кислые растворы цинковой, титановой, танталовой, ниобиевой и молибденовой кислот также окрашивают куркумовую бумагу в коричневый цвет, эта проба на бор может производиться только в случае их отсутствия.

Бром (Br). (1) Нагревание в закрытой трубке с кислым сернистым камнем. Если бромистое соединение нагревать с KHSO_4 , выделяются тяжелые буровато-красные пары брома. (2) Осаждение в виде бромистого серебра. Желтоватый осадок AgBr (растворимый в NH_4OH) образуется при прибавлении AgNO_3 к разбавленному раствору бромистого соединения.

Ванадий (V). (1) Проба с перлам. Обычно ванадий может быть обнаружен при помощи окраски перлов. Перл бурый имеет желтовато-зеленый цвет в окислительном пламени и изумрудно-зеленый в восстановительном, тогда как перл фосфорнонатроаммиачной соли имеет светложелтую окраску в первом пламени и изумрудно-зеленую — во втором.

(2) Окисление перекисью водорода. Если к кислому раствору ванадата прибавить H_2O_2 , образуется перванадиевая кислота, HVO_4 , окрашивающая раствор в цвет от желтого до красновато-бурого, который не уничтожается HF (см. литат). Реакция очень чувствительная.

(3) Восстановление цинком. Цинк в кислой среде вызывает восстановление ванадиевой кислоты, так что раствор становится

голубым, потом зеленым и в конце концов фиолетовым. Это испытание не так чувствительно, как проба (2).

Висмут (Bi). (1) Возгон на гипсовой пластинке. При смешивании с плавленем, применяемым для определения висмута, и нагревании на гипсовой пластинке висмутовые минералы выделяют коричневого (шоколадного) цвета налет, который под действием сильных паров аммиака изменяется и переходит в яркокрасный.

(2) Сплав, служащий для определения висмута на угле. На угле минерал, смешанный с плавленем, служащим для определения Bi, производит желтоватый возгон с малиновой каймой.

(3) Восстановление на угле. Соединения Bi, смешанные с Na_2CO_3 , на угле дают лимонно-желтый налет с белой каймой и красновато-белые хрупкие шарики.

(4) Осаждение в виде хлорокиси висмута. Если прибавить воды к раствору Bi в HCl и выпарить почти досуха, образуется белый осадок BiOCl .

Водород (H). (1) Вода в закрытой трубке. Когда минералы, содержащие кристаллизационную воду или гидроксильный радикал, нагреваются в закрытой трубке, вода освобождается и спускается в холодных частях трубки. Для освобождения гидроксильной группы требуется более сильное нагревание. Вода, которая может быть нейтральной по отношению к реактивным бумажкам, часто дает кислую реакцию и редкую — щелочную.

Вольфрам (W). (1) Восстановление оловом. После сплавления с Na_2CO_3 вольфрамовокислый натрий растворяется в горячей воде (в отличие от инобитов, не растворимых в воде). Если профильтровать раствор и затем подкислить фильтрат соляной кислотой, на холоду образуется нерастворимый белый осадок гидрата вольфрамовой кислоты, $\text{H}_2\text{WO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, которая после кипячения переходит в желтую вольфрамовую кислоту, H_2WO_4 . После добавления металлического олова и кипячения получается темносиний коллоидальный раствор, содержащий $\text{WO}_3 + \text{WO}_2$. Если разбавить его водой, окраска не исчезнет (отличие от инобия). Продолжительное восстановление в конце концов дает бурый цвет (WO_2).

(2) Перл фосфорной соли. Бесцветный в окислительном пламени, голубой в восстановительном; после прибавления FeSO_4 становится красным.

Глицерин (G). См. Бериллий.

Железо (Fe). (1) Магнитное после прокаливании. Хотя некоторые минералы железа (магнетит, пирротит) являются магнитными до нагревания, большинство становится магнитными при нагревании в восстановительном пламени и последующем остывании. (Минералы кобальта и никеля дают одинаковые реакции.)

(2) Проба с перлом буры. В окислительном пламени железо окрашивает перл буры в желтый цвет в холодном состоянии. В восстановительном пламени получается бледнозеленый цвет.

(3) Осаждение в виде гидрата окиси железа. Если кислый раствор, содержащий окисленное железо, сделать щелочным

при помощи NH_4OH , образуется красновато-коричневый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Для получения окисного железа следует прибавить несколько капель HNO_3 в HCl при растворении минерала.

(4) **Проба на закисное и окисное железо.** Если минерал железа растворить в неокисляющей кислоте, как HCl или H_2SO_4 , валентность железа в растворе будет та же, что в первоначальном минерале. Если прибавить несколько капель калиевой соли железосинеродного-водородной кислоты к раствору закисного железа, образуется синий осадок. С другой стороны, окисное железо дает такой же осадок с калиевой солью железистосинеродного-водородной кислоты. Родан-истый калий, KCNS , при прибавлении к раствору окисного железа, дает кроваво-красное окрашивание, но не дает осадка. (Азотная и хлорноватая кислоты тоже дают красное окрашивание с KCNS , но нагревание уничтожает окраску.)

Золото (Au). (1) **Возгон на гипсе.** После интенсивного и длительного прокалывания на гипсовой таблетке золото дает возгон бледно-пурпурного до розового цвета, отлагающийся близ пробы. Лучшее всего возгон виден на холодной таблетке.

(2) **Проба на красное и пурпур.** Золото легко растворяется в царской водке с образованием треххлористого золота, AuCl_3 . Раствор выпаривают досуха и растворяют остаток в небольшом количестве воды. Если теперь прибавить несколько капель двуххлористого олова, образуется тонкий осадок с пурпурным оттенком в проходящем свете и с коричневым оттенком — в отраженном. Эта проба известна под именем пробы на красное и пурпур для золота и чрезвычайно чувствительна. Окраска вызывается смесью коллоидального золота и водной окиси олова. Железистые соли также осаждают золото при обычных температурах из нейтральных или кислых растворов (отличие от платины).

Иод (J). (1) **Нагревание с кислотным серно-кислым калием.** Иодистые соединения при нагревании в закрытой трубке с KHSO_4 выделяют фиолетовые пары, часто сопровождаемые металлическим возгоном иода.

(2) **Осаждение в виде иодистого серебра.** Несколько капель AgNO_3 , прибавленные к иодистому соединению в растворе разбавленной HNO_3 , осаждают AgI , почти не растворимый в аммиаке (отличие от Cl и Br).

Кадмий (Cd). (1) **Нагревание на гипсовой таблетке металлического кадмия.** Близ пробы образуется налет цветом от красновато-коричневого до зеленовато-желтого. На некотором расстоянии цвет его коричневатый-черный. Лучшее всего получается из металла.

(2) **Нагревание на угле.** При нагревании на угле кадмий дает налет красновато-коричневый около пробы и желтовато-зеленый на некотором расстоянии. Очень тонкие налеты (пленки) имеют радужный оттенок.

Калий (K). (1) **Проба в пламени.** Летучие соединения калия придают бледнофиолетовую окраску несветящемуся пламени. Если мешает натрий, следует смотреть на пламя сквозь толстое синее стекло или через цветной экран Мервина. Сквозь синее стекло пламя имеет пур-

пурно-красный цвет, а сквозь экран Мервина окраска голубовато-фиолетовая через полосу 1 и красно-фиолетовая через полосы 2 и 3. При испытании силикатов необходимо смешать пробу с истолченным в порошок гипсом и вводить ее в пламя на платиновой проволоке.

Кальций (Ca). (1) Проба в пламени. После измельчения в порошок и смачивания HCl многие кальциевые минералы окрашивают несветящееся пламя в желтовато-красный цвет. Не следует смешивать этого цвета с более красным и более постоянным пламенем стронция. При рассматривании через цветной экран Мервина кальций проявляется яркой зеленовато-желтой окраской, видимой через полосу 1 экрана (отличие от лития и стронция).

(2) Осаждение в виде щавелевокислого кальция. Щавелевокислый аммоний, прибавленный к нейтральному раствору кальция, дает белый осадок щавелевокислого кальция, CaC_2O_4 . Этот осадок также образуется в слегка кислом растворе. Осадок не растворим в уксусной кислоте.

(3) Осаждение в виде сернокислого кальция. Несколько капель разбавленной H_2SO_4 , прибавленной к кальциевой соли, растворенной в малом объеме разбавленной HCl, осаждает CaSO_4 . После прибавления воды и нагревания осадок растворяется (отличие от бария и стронция).

Кобальт (Co). (1) Пробы с получением перлов. Кобальт придает голубой цвет перлам буры и фосфорной соли, как в окислительном, так и в восстановительном пламени. Если мешают медь и никель, расплавляют перл на угле с частицей металлического олова. Cu и Ni восстанавливаются до металлического состояния, и появляется синий цвет, вызванный кобальтом.

Колумбий (Cb). См. Нпобий.

Кремний (Si). (1) Перл фосфорной соли. Кремнезем не легко растворится в соли перла фосфора, но образует нерастворимый просвечивающий скелет.

(2) Превращение в студень посредством кислоты. Измельченные в порошок силикаты, которые вполне растворимы в HNO_3 или в HCl, образуют студенистую массу кремневой кислоты при выпаривании почти досуха.

(3) Сплавление с углекислым натрием. Нерастворимые силикаты следует сплавлять с 3—4 частями Na_2CO_3 и растворять в HCl. Выпарить досуха и вновь растворить осадок в весьма концентрированной HCl; SiO_2 остается нерастворимой и может быть удалена фильтрованием раствора.

Литий (Li). (1) Проба в пламени. Литий окрашивает пламя в карминово-красный цвет. Цвет не так постоянен, как окраска, вызываемая стронцием. Если к раствору литиевой соли прибавить несколько капель BaCl_2 , красный цвет лития появится прежде зеленого цвета бария (стронций покажется после зеленого). Минералы лития не становятся щелочными после прокалывания (отличие от Sr). При испытании силикатов необходимо смешивать пробу с истолченным в порошок гипсом и вводить пробу в пламя на платиновой проволоке.

Магний (Mg). (1) Прокаливание с азотнокислым кобальтом. Нелавные и светло окрашенные минералы магния принимают розовый цвет при смачивании одной или двумя каплями азотнокислого кобальта и сильном прокаливании.

Иногда испытание оказывается неудовлетворительным, и следует применять следующую мокрую реакцию:

(2) Осаждение в виде фосфорноаммиачномagneзпальной соли. Если прибавить кислый фосфорнокислый натрий, Na_2HPO_4 , к сильно аммиачному раствору, магний осаждается в виде фосфорноаммиачномagneзпальной соли, NH_4MgPO_4 . Осадок белый кристаллический; его можно заметить только встряхнув раствор и дав ему отстояться короткое время. Для того чтобы удалить мешающие элементы, следует поступать таким образом: довести до кипения раствор HCl , содержащий несколько капель HNO_3 ; затем сделать его щелочным при помощи NH_4OH . После этого осадят (если они имеются) Fe , Al и Cr . К аммиачному фильтрату прибавить щавелевокислого аммония, для того чтобы удалить Ca , Ba и Sr . Затем к фильтрату добавляется Na_2HPO_4 для пробы на магний.

Марганец (Mn). (1) Испытание с перлом буры. Марганец окрашивает перл буры в красновато-фиолетовый цвет в окислительном пламени, но становится бесцветным в восстановительном. Фосфорная соль дает такую же реакцию, но проба не так чувствительна.

(2) Плавление с углекислой содой на платиновой проволоке. При растворении в перле Na_2CO_3 в окислительном пламени соединения марганца окрашивают сплав в голубовато-зеленый цвет благодаря образованию марганцевистокислого натрия. Если вместо применения платиновой проволоки поместить пробую на уголь, следует прибавить к Na_2CO_3 небольшое количество KNO_3 для того, чтобы нейтрализовать восстанавливающее действие угля.

(3) Нагревание в закрытой трубке. Некоторые из вышепк окисей выделяют кислород, или Cl при растворении в HCl .

(4) Окисление в марганцевую кислоту. Пытующийся раствор кипятят с HNO_3 и PbO_2 и дают осесть окиси свинца. Находящийся наверху раствор будет иметь пурпурный оттенок благодаря образованию марганцевой кислоты. Тот же результат может быть получен применением периодата калия в растворе азотной кислоты.

Медь (Cu). (1) Возгон на гипсовой пластинке. При смачивании HBr -и нагревании на гипсовой пластинке минералы меди дают летучий пурпурный возгон, смешанный с черным.

(2) Проба в пламени. Окиси меди окрашивают пламя в пурпурно-зеленый цвет, а смачивание HCl вызывает интенсивную лазурную окраску.

(3) Проба в потухшем перлов. Под действием окислительного пламени перлы буры и фосфорнонатрсааммиачной соли в холодном состоянии имеют зеленый, а в горячем — голубой цвет. В восстановительном пламени образуется Cu_2O , которая окрашивает перлы в красный цвет, делая их непрозрачными.

(4) Восстановление до металла на угле. При нагревании на угле со смесью Na_2CO_3 и буры минералы меди дают шарики

(королек) металлической меди. Сульфиды следует до восстановления обжигать.

(5) Голубой раствор с гидратом окиси аммония. Медный раствор, сделанный щелочным при помощи NH_4OH , принимает густой синий цвет. (Растворы никеля светлоголубые.)

Молибден (Mo). (1) Возгон на глицеровой таблетке. Если нагревать некоторые сложные соединения молибдена сами по себе в окислительном пламени, они выделяют MoO_3 , желтый в горячем и белый в холодном состоянии. При приспособлении восстановительного пламени белый возгон становится синим. Если применяется опора из угля, будет замечен также медно-красный возгон вокруг пробы, лучше всего видимый в отраженном свете.

(2) Применение концентрированной серной кислоты. Если на соединение молибдена подействовать несколькими каплями концентрированной H_2SO_4 в фарфоровой посуде и выпарить почти досуха, то масса после охлаждения окрашивается в интенсивно голубой цвет. По добавлении воды окраска исчезает. Молибденит (MoS_2) должен быть окислен кипячением и выпариванием досуха с HNO_3 или обжигом, прежде чем его можно испытывать описанным способом.

(3) Образование молибденовой соли тиоциановой кислоты. Расплавить с Na_2CO_3 и KNO_3 . Извлечь водой и окислить фильтрат: KCNS вызывает небольшую переменную, или совсем не вызывает ее при добавлении к раствору молибдена в HCl , но если на него потом подействовать цинком или SnCl_2 , получается кроваво-красная окраска. Реакция происходит в присутствии фосфорной кислоты (отличие от железа). Если к раствору немедленно после появления красной окраски прибавить H_2O_2 , окраска исчезает, и появляется опять, как только H_2O_2 будет восстановлена.

Мышьяк (As). (1) Возгон на глицеровой таблетке. Мышьяковые минералы, смешанные с висутом, служащим плавнем, и, нагретые на глицеровой таблетке, дают лимонно-желтый возгон. Капля $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ на таблетке производит желтое кольцо.

(2) Возгон на угле. Мышьяк, арсениды и сульфиды при нагревании в окислительном пламени на угле дают очень летучий белый палет As_2O_3 , который отлагается на некотором расстоянии от пробы. Пары имеют характерный запах чеснока.

(3) Нагревание в открытой трубке. Мышьяк, арсениды и сульфиды дают белый, летучий и кристаллический возгон As_2O_3 . Слишком быстрое нагревание может дать вместо окиси металлическое зеркало.

(4) Нагревание в закрытой трубке. Мышьяк и арсениды дают яркометаллическое зеркало. Если сломать трубку ниже зеркала и нагреть ее, станет замечен запах чеснока. Соли мышьяковой кислоты следует смешивать с истолченным в порошок углем (древесным) для восстановления.

(5) Осаждение в виде аммиачно-магнезической соли мышьяковой кислоты. За немногими исключениями мышьяковые минералы окисляются при кипячении с крепкой HNO_3 в мышьяковую кислоту, H_2AsO_4 . Сделать раствор щелочным при помощи NH_4OH

и отфильтровать. К фильтрату прибавить несколько кубических сантиметров магnezийной смеси ($MgCl_2$ и NH_4Cl), встряхнуть и дать отстояться. Осядут белые кристаллы $MgNH_4AsO_4$.

Никель (Ni). (1) Испытание с перлам. Никель окрашивает перл буры в окислительном пламени в красновато-коричневый цвет, тогда как перл фосфорной соли желтоватого цвета.

(2) Бледно-голубой раствор с гидратом окиси аммония. Кренкий, кислый раствор Ni становится бледно-голубым после прибавления избытка NH_4OH . Цвет не такой темный, как окраска, которую дает медь.

(3) Осаждение диметилглиоксимом. Растворяют минерал в HNO_3 , фильтруют, прибавляют винной кислоты для удержания в растворе Al и Fe, нейтрализуют NH_4OH и прибавляют к раствору несколько кубических сантиметров спиртового раствора диметилглиоксима. Выкрип-красный осадок указывает на никель.

Ниобий (Nb). (1) Восстановление оловом. Измельченные в порошок ниобиты разлагаются при нагревании докрасна в $KHSO_4$ в испытательной трубке. Когда произойдет полное разложение, вращают и наклоняют трубку, таким образом, чтобы расплавленное вещество могло затвердеть в виде тонкой корки на стенках трубки. Прибавляют HCl , некоторое количество металлического олова и кипятят. Происходит восстановление и получается светлоголубая окраска, вызванная ниобием. После прибавления воды окраска становится гораздо слабее. Если применять вместо олова цинк, голубой цвет заменяется коричневым.

Олово (Sn). (1) Восстановление на угле. Если сплавить минерал олова с равным объемом измельченного в порошок древесного угля и двумя объемами Na_2CO_3 , они восстанавливаются, образуя очень маленькие металлические шарики (жорытки). После продолжительного прокалывания олово улетучивается и осаждается в виде белого палета SnO_2 . Капля $Co(NO_3)_2$, прибавленная к палету и нагретая, образует голубовато-зеленую пятно.

(2) Реакция с металлическим цинком. Обломок касситерита (SnO_2) кладут с металлическим цинком и прибавляют разбавленной HCl . Через несколько минут минерал покрывается палетом тонкого серого слоя металлического олова.

Платина (Pt). (1) Буровато-красный раствор с иодистым калием. Несколько чешуек платины растворяют в концентрированной царской водке и выпаривают досуха. Вновь растворяют в HCl и выпаривают до состояния сухой тестообразной массы. Разбавляют водой и затем прибавляют несколько капель H_2SO_4 и кристалл KJ . Раствор принимает винно-красный цвет. Это испытание не открывает следов платины в присутствии больших количеств железа. (Медные растворы могут давать красные цвета с KJ , — реакция, которую легко смешать с реакцией на Pt).

(2) Осаждение калиевого хлороплатината. KCl , прибавленный к концентрированной части полученной тестообразной массы, как указано в (1), осаждает желтые кристаллы K_2PtCl_6 , не растворимые в 80%-ном спирте.

Ртуть (Hg). (1) Возгон на гипсовой пластинке. При смешении с плавнем, служащим для определения висмута, и нагревании на гипсовой опоре, минералы ртути дают возгон, который обычно представляет собой комбинацию багряно-красного, желтого и зеленовато-черного цветов.

(2) Нагревание в закрытой трубке. При смешивании с 3 частями сухого Na_2CO_3 и нагревании, металлическая ртуть улетучится и спадется в виде капелек по стенкам трубки.

(3) Осаждение медью. Чистая медная проволока, погруженная в раствор ртути, покрывается отложением металлической ртути.

Свинец (Pb). (1) Возгон на гипсовой пластинке. При смешивании с плавнем, служащим для определения висмута, и нагревании на гипсовой таблетке, минералы свинца дают хромово-желтый возгон. Капля $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ на налете дает черное пятно.

(2) Возгон на угле. На угле минералы свинца, смешанные с плавнем, служащим для определения висмута, дают зеленовато-желтый налет.

(3) Восстановление на угле. Смешанные с Na_2CO_3 на угле соединения свинца дают желтоватый налет и серые ковкие корольки.

(4) Осаждение в виде сернокислого свинца. Из раствора разбавленной HNO_3 можно осадить свинец в виде белого нерастворимого PbSO_4 , после добавления нескольких капель H_2SO_4 .

Селен (Se). (1) Возгон на гипсовой пластинке. Если нагревать селен на гипсовой пластинке, он дает возгон цвета от вишневого до малинового в тонких слоях и почти черного в толстых слоях. При улетучивании пары красноваты и имеют запах гнилой редьки.

(2) Испытание в пламени. При улетучивании селен придает пламени цвет индиго.

Сера (S). Сера присутствует в форме сульфидов:

(1) Нагревание в открытой трубке. Измельченные в порошок сульфиды окисляются при нагревании в открытой трубке. SO_2 освобождается и узнается по едкому, запаху и кислой реакции на лакмусовой бумажке.

(2) Нагревание в закрытой трубке. При нагревании в закрытой трубке некоторые сульфиды освобождают часть своей серы, которая конденсируется в виде темнокрасной жидкости и становится кристаллической, твердой и жирной в холодном состоянии.

(3) Сплавление с углеродистым натрием. Порошок испытуемого минерала сплавляют с 3—4 частями Na_2CO_3 и помещают часть сплава на серебряную монету, которую затем смачивают несколькими каплями воды. Пятно, цветом от темнубурого до черного, указывает на присутствие серы, при условии отсутствия селена и теллура. К другой части сплава, помещенной на часовое стекло, прибавляют несколько капель воды и одну или две капли свежеприготовленного нитропруссидного натра. Интенсивно пурпурный цвет указывает на серу.

(4) Окисление азотной кислотой. Горячая концентрированная HNO_3 окисляет сульфиды в сульфаты, освобождая некоторое

количество свободной серы, которая поднимается на поверхность. Несколько капель BaCl_2 , прибавленных к фильтрату, осаждают серу в виде белого BaSO_4 .

Сера присутствует в виде сульфатов:

(5) Сплавление с углекислым натрием. Смешивают сульфат с равным объемом измельченного, в порошкообразного древесного угля и тремя объемами Na_2CO_3 . Сплавливают и испытывают, как указано в (3).

(6) Осаждение в виде сернистого бария. Сульфаты, растворимые в HCl , осаждаются в виде BaSO_4 после прибавления BaCl_2 .

Серебро (Ag). (1) Восстановление на угле. Если минералы серебра нагревать на угле с 3 частями Na_2CO_3 , их легко восстановить в ковкие металлические корольки. Если присутствуют сера, мышьяк или сурьма, до восстановления следует произвести обжиг, для того чтобы улетучились эти компоненты.

(2) Осаждение в виде хлористого серебра. Если к раствору какого-нибудь минерала серебра в HNO_3 прибавить несколько капель HCl , образуется белый творожистый осадок AgCl . Этот осадок растворим в аммиаке.

Стронций (Sr). (1) Испытание в пламени. Стронций придает пламени малиновую окраску, которая держится дольше, чем окраска, вызванная Li , и невидима через 1-й раздел экрана Мервина (отличие от кальция). Если к раствору соли Sr прибавить несколько капель BaCl_2 , красный цвет (Sr) покажется после зеленого (Ba). Литий поглотит раньше зеленого.

(2) Щелочная реакция при прокаливании. За исключением силикатов и фосфатов минералы стронция после прокалывания дают щелочную реакцию на куркумовой бумажке (отличие от лития).

(3) Осаждение в виде сернистого стронция. Из раствора, заключающего SrSO_4 , осаждается после прибавления нескольких капель разбавленной H_2SO_4 (отличие от лития).

Сурьма (Sb). (1) Возгон на гипсовой пластинке. Минералы сурьмы, смешанные с висмутом, применяемые в качестве плавня и нагреваемые на гипсовой пластинке, дают возгон цветом от оранжевого до персиково-красного. Капля $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ на налете дает оранжево-красное кольцо.

(2) Возгон на угле. При нагревании окислительным пламенем на угле близ пробы образуется плотный белый возгон Sb_2O_3 . Налет легуч и в тонких слоях голубоват. Пары не имеют ясно выраженного запаха (отличие от мышьяка).

(3) Нагревание в открытой трубке. Большинство сурьмяных минералов выделяет густые белые пары, которые частью уходят, частью спускаются в белый порошок.

(4) Нагревание с концентрированной азотной кислотой. HNO_3 окисляет сурьму и ее сульфиды в метасурьмяную кислоту, которая представляет собой белый осадок, не растворимый ни в воде, ни в HNO_3 .

Теллур (Te). (1) Возгон на гипсовой пластинке. Теллуриды, нагретые без примесей или со сплавом, служащим для опре-

деления висмута, на типсе дают пурпурно-коричневый возгон. Капля концентрированной H_2SO_4 , прибавленная к налету и слегка нагретая, образует розовое пятно.

(2) Возгон на угле. При нагревании на угле около пробы образуется белый возгон Ta_2O_5 , похожий на Sb_2O_3 . Налет летуч и при прекращении восстановительного пламени окрашивает пламя в бледнозеленый цвет.

(3) Испытание с концентрированной серной кислотой. При легком нагревании с концентрированной H_2SO_4 измельченные в порошок теллуриды дают красновато-фиолетовый раствор. Слишком сильное нагревание или добавление воды вызывает исчезновение окраски. Марганец также может давать пурпурную окраску, которая является однако постоянной.

Титан (Ti). (1) Восстановление оловом. После сплавления с 3 частями Na_2CO_3 титан растворяется в HCl , образуя $TiCl_4$. После кипячения с металлическим оловом титан восстанавливается до $TiCl_3$, причём раствор принимает фиолетовый цвет. Если присутствует только небольшое количество титана, следует применять пробу (2).

(2) Определение цериексисью водюрода. Растворить сплав Na_2CO_3 в растворе воды и серной кислоты (1:1) и после остывания раствора прибавить воды и несколько капель H_2O_2 . Раствор окрашивается в цвет от бледножелтого до оранжево-красного, в зависимости от количества присутствующего в растворе титана. Эта реакция зависит от образования TiO_3 . Окраска уничтожается в присутствии иона фтора.

Углерод (C). (1) Нагревание в закрытой трубке. При нагревании гидрокарбонаты, как асфальт, альбертин или битуминозные угли, выделяют масла и смолистые соединения, которые конденсируются на стенках трубки. Остаток, если таковой есть, представляет собой главным образом углерод. Если углерод присутствует в виде карбоната, происходит разложение с выделением CO_2 , которая делает мутной каплю известковой воды на кончике платиновой проволоки.

(2) Образование пены с кислотами. Растворение карбонатов в разбавленных кислотах происходит с быстрым выделением CO_2 . В некоторых случаях следует погреть кислоту, но при этом остерегаться, чтобы не принять кипения за выделение CO_2 .

Уран (U). (1) Перл фосфорной соли. Уран окрашивает перл соли фосфора в желтовато-зеленый цвет в окислительном пламени и в яркозеленый — в восстановительном. В перле буры уран нельзя отличить от железа.

(2) Осаждение в виде ураната калия. Калиевая соль железистосинеродистоводородной кислоты дает бурый осадок $(UO_2)_2[Fe(CN)_6]$ в слабом кислом растворе, который по добавлении KOH переходит в желтый уранат калия, $K_2U_2O_7$ (отличие от железистосинеродистоводородной меди). Если присутствует железо, необходимо поступить следующим образом: растворить сплав в царской водке, затем сделать раствор щелочным, прибавив NH_4OH , который осадит железо и уран в виде

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$. Прибавить $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и взбалтывать: уран образует растворимую комплексную соль. Отфильтровать и подкислить фильтрат, прибавив соляной кислоты. Прибавляют NH_4OH до тех пор, пока раствор не станет щелочным и пока уран не осядет в свободном от железа виде. Испытать осадок, как указано в (1).

Фосфор (P). (1) Восстановление магниевой лентой. Фосфаты алюминия и тяжелых металлов должны сплавляться с Na_2CO_3 , и порошкообразный сплав должен прокаливаться в испытательной трубке с магниевой лентой. Фосфор превращается в фосфид, который, после прибавления нескольких капель воды освобождает фосфористый водород, PH_3 ; последний узнается по его неприятному чесночному запаху и способности давать черную окраску при соприкосновении с фильтровальной бумагой, смоченной AgNO_3 . Фосфаты щелочей и щелочных земель могут прокаливаться с магниевой лентой непосредственно без предварительного плавления. В случае присутствия мышьяка или сурьмы это испытание не удовлетворительно.

(2) Осаждение молибденовокислым аммонием. Фосфат растворяется в HNO_3 (если он нерастворим, то до растворения в кислоте следует произвести сплавление с Na_2CO_3) и часть фильтрата прибавляется к избытку раствора молибденовокислого аммония. После того как раствор отстоится или после легкого нагревания образуется желтый осадок фосфорномолибденовокислого аммония.

Фтор (F). (1) Травление стеклянной трубки. При смешивании с 4 или 5 частями KHSO_4 или метафосфорнокислым натрием (получаемых плавлением фосфорной соли) и последующим нагреванием в закрытой трубке многие измельченные в порошок соединения фтора выделяют HF , который травит стекло близ пробки. Кроме того в верхней части трубки может образоваться кольцо SiO_2 . Травление стекла лучше всего обнаруживается, если сломать закрытый конец трубки, вылить ее содержимое, вымыть и высушить ее над огнем; стекло окажется мутным близ пробки.

(2) Испытание с цирконализариновой бумажкой. Растворимые фториды, положенные на цирконализариновую бумажку (малинового цвета) и смоченные HCl , дают желтое пятно. Нерастворимые предварительно сплавляются с Na_2CO_3 .

Хлор (Cl). (1) Окраска пламени окисью меди. Если горящий перл фосфорной соли, насыщенный CuO , привести в контакт с хлористым соединением и затем нагреть в несветящемся пламени, образуется хлористая медь, окрашивающая пламя в лазурный цвет. (Подобную же реакцию дает бром).

(2) Выделение хлора. Если смешать какой-либо хлорид с KHSO_4 и небольшим количеством MnO_2 и затем нагреть в закрытой трубке, освобождается свободный хлор. AgCl и силикаты, содержащие хлор, требуют плавления с Na_2CO_3 .

(3) Осаждение в виде хлористого серебра. Несколько капель AgNO_3 , прибавленные к хлористому соединению в разбавленном растворе HNO_3 , осаждают белый творожистый AgCl , растворимый в NH_4OH . Эта проба очень чувствительна. Минералы, не растворимые в HNO_3 , должны сплавляться с Na_2CO_3 . (Бром дает подобную же реакцию,

Хром (Cr). (1) Проба с перлами. Хром окрашивает перлы бурый и фосфорнонатроаммиачной соли в изумрудно-зеленый цвет, как в окислительном, так и в восстановительном пламени.

(2) Плавление с углекислым натрием на платиновой проволоке. Когда соединения хрома растворятся в перле Na_2CO_3 под действием окислительного пламени, сплав окрашивается в бледножелтый цвет.

(3) Осаждение в виде хромовокислого свинца. Расплавить с Na_2CO_3 и KNO_3 на угле. Выщелочить водой, сделать слегка кислым при помощи уксусной кислоты и прибавить несколько капель уксуснокислого свинца. Образуется желтый осадок хромовокислого свинца.

(4) Окисление в надхромовую кислоту. Растворить сплав в воде и окислить его разбавленной H_2SO_4 . К холодному раствору прибавить H_2O_2 ; получится голубой цвет, вызванный H_2CrO_8 . Надхромовая кислота очень неустойчива, и цвет ее может держаться всего несколько секунд.

Церий (Ce). (1) Окисление перекисью водорода. Если соль церия обработать небольшим избытком NH_4OH , а затем H_2O_2 , белый осадок становится красновато-оранжевым. Для удаления мешающих элементов поступают следующим образом. Сплавляют с Na_2CO_3 , растворяют HCl и выпаривают досуха. Прибавляют разбавленный HCl и фильтруют. Затем из разбавленного кислого раствора осаждают щавелевокислый церий при помощи щавелевокислого аммония. Фильтруют и растворяют осадок в горячей концентрированной HCl . Прибавляют избыток NaOH , при этом образуется белый осадок $\text{Ce}(\text{OH})_3$. После окисления перекисью водорода его цвет изменяется и делается красновато-оранжевым.

(2) Окисление перекисью свинца и азотной кислотой. Порошок испытуемого минерала кипятят с перекисью свинца и азотной кислотой и дают ему отстояться; соли церия дают оранжевые растворы.

Цинк (Zn). (1) Возгон на угле. Если тонко измельченный минерал смешать с Na_2CO_3 и небольшим количеством древесного угля и прокалить его, цинк восстанавливается и затем быстро окисляется, образуя налет окиси около пробы, имеющий бледножелтую окраску в горячем состоянии и белую — в холодном. Капли $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, прибавленная в возгон и нагретая, производит зеленое пятно.

(2) Нагревание с азотнокислым кобальтом. При смазывании палочкой азотнокислого кобальта и сильным прокаливании несплавившейся и слегка окрашенные силикаты цинка обычно принимают голубой цвет. ZnO или минералы, образующие окись после нагревания, как ZnCO_3 , становятся зелеными.

Цирконий (Zr). (1) Проба с куркумовой бумагой. Сплавляют с Na_2CO_3 и растворяют в разбавленной HCl . Куркумовая бумажка, смоченная в этом растворе и высушенная, окрашивается в красновато-бурый цвет (см. бор). Хорошо сравнить куркумовую бумажку с другим кусочком, обработанным только соляной кислотой и затем высушенным.

(2) Осаждение в виде фосфата в кислом растворе. Растворить сгусток Na_2CO_3 в соляной кислоте, вскипятить и профильтровать. К кислому фильтрату прибавить несколько капель Na_2HPO_4 ; образуется белый осадок фосфорнокислого циркония. В присутствии Ti перед прибавлением фосфорной соли следует ввести избыток H_2O_2 .

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

1. Перлы буры или фосфорной соли.

При действии окислительного и восстановительного пламени на минерал, растворенный в перле буры, получается цветной перл; при этом:

- а) Цвет перла ясно выражен и вполне определенный как при слабом, так и при сильном насыщении перла испытуемым минералом.
- б) Цветной перл не ясно выражен.
- в) Цветная окраска перла не чиста и представляет смешение нескольких цветов.

а) Цветной перл ясно выражен

1. Перл в окислительном пламени горячий — зеленый.

"	"	"	"	холодный — синева-зеленый.
"	"	восстановительном	"	горячий — бесцветный.
"	"	"	"	холодный — бурый.

Медь. Проверка. Новая проба минерала сплавляется на угле с перлом фосфорной соли. При действии окислительного пламени полученный перл зеленый — в горячем и синий — в холодном состоянии. Восстановленный оловом, он принимает буро-красную окраску (непрозрачен). Если восстановленный перл имеет черную окраску, то надо предположить, что рядом с медью присутствует сурьма или висмут, т. е. проба была предварительно плохо обожжена, и потому следует удалить их, обрабатывая пробу борной кислотой в окислительном пламени.

2. Перл в окислительном пламени горячий — синий.

"	"	"	"	холодный "
"	"	восстановительном	"	горячий "
"	"	"	"	холодный "

Кобальт. Проверка. Восстановленный на угле металл обливается на бумаге азотной кислотой, причем образующийся азотнокислый кобальт оставляет на бумаге красное пятно, которое при смачивании соляной кислотой и высушивании принимает зеленый цвет. При смачивании водой цветная окраска пятна исчезает.

3. Перл в окислительном пламени горячий — фиолетовый, почти черный.

"	"	"	"	холодный — красно-фиолетовый.
"	"	восстановительном	пламени	горячий — бесцветный.
"	"	"	"	холодный — бесцветный (иногда розовый).

Марганец. Проверка. При сплавлении минерала с содой и селитрой получается зеленая масса.

4. Перл в окислительном пламени горячий — фиолетовый.
 " " " " холодный — красно-бурый.
 " " восстановительном " горячий — желтовато-серый.
 " " " " холодный — " "

Никель. Проверка. Восстановленный на угле и обработанный азотной кислотой на пропускной бумаге металл дает зеленый раствор, разлагаемый уксусным натром, получают пятно яблочно-зеленого цвета.

5. Перл в окислительном пламени горячий — красный (при слабом насыщении желтый).
 " " " " холодный — бесцветный.
 " " восстановительном " горячий — зеленый.
 " " " " холодный — бутылочно-зеленый.

Железо. Проверка. Восстановленный на угле металл дает на пропускной бумаге при смачивании соляной или азотной кислотой желтое пятно, которое принимает синий цвет при смачивании раствором желтой травяной соли.

6. Перл в окислительном пламени горячий — красный (при слабом насыщении желтый).
 " " " " холодный — бесцветный.
 " " восстановительном " горячий — зеленый.
 " " " " холодный — бутылочно-зеленый.

Уран. Проверка. Перл с фосфорной солью в окислительном пламени горячий — желтый, холодный — желто-зеленый; в восстановительном пламени горячий — травяно-зеленый, холодный — красновато-зеленый (отличие от железа).

7. Перл в окислительном пламени горячий — красный (при слабом насыщении желтый).
 " " " " холодный — бесцветный (при сильном насыщении опаловидный).
 " " восстановительном " горячий — бурый.
 " " " " холодный — бурый и мутный.

Молибден. Проверка. При обработке серной кислотой в пробирке или платиновой ложечке молибденовый ангидрид окрашивает кислоту в густосиний цвет. Прибавление аммиака ускоряет реакцию.

8. Перл в окислительном пламени горячий — красный (при слабом насыщении желтый).
 " " " " холодный — травяно-зеленый.
 " " восстановительном " горячий — зеленый.
 " " " " холодный — смарагдово-зеленый.

Хром. Проверка. При сплавлении хромовых соединений с содой и селитрой в платиновой проволочке получается желтая масса.

9. Перл в окислительном пламени горячий — желтый.
 " " " " холодный — зеленовато-желтый.
 " " восстановительном " горячий — бурый.
 " " " " холодный — смарагдово-зеленый.

Ванадий. Проверка. Минерал, сплавленный с содой и селитрой и растворенный в воде, подкисленной уксусной кислотой, дает желтый осадок с азотнокислым серебром.

10. Перл в окислительном пламени горячий — желтый.

"	"	"	"	холодный — бесцветный (при сильном насыщении эмалево-белый).
"	"	восстановительном	"	горячий — желтый.
"	"	"	"	холодный — желтовато-бурый.

Вольфрам. Проверка. Перл с фосфорной солью в окислительном пламени горячий и холодный бесцветный; в восстановительном пламени горячий — грязно-зеленый, холодный — синий. При прибавлении железа перл принимает кроваво-красную окраску.

11. Перл в окислительном пламени горячий — желтый.

"	"	"	"	холодный — бесцветный;
"	"	восстановительном	"	горячий — желтый до бурого.
"	"	"	"	холодный — буроватый (при долгом прерывистом дутье — синий).

Титан. Проверка. Перл с фосфорной солью в окислительном пламени горячий и холодный — бесцветный; в восстановительном пламени горячий — желтый, холодный — фиолетовый; при прибавлении железа — кроваво-красный.

б) Цветной перл не ясно выражен

Окраска перла не представляет собой строго определенного цвета, а является смешением нескольких цветов, что указывает на присутствие в исследуемом минерале двух или более элементов, дающих с бурой цветные перлы. Подобные перлы чаще всего получаются при одновременном присутствии окислов железа, марганца, никеля, кобальта и меди; поэтому для точного определения этих последних необходимо возможно полное их разделение. Для этого растворяют исследуемый минерал в нескольких перлах буры и восстанавливают их на угле помощью свинца. Обработав некоторое время исследуемый перл со свинцом чистым восстановительным пламенем, отделяют перл буры (а) от свинцового (б) и исследуют их отдельно.

а) Перл растирают в агатовой ступке, и частицы его растворяют в свежеприготовленном перле буры.

1. Перл в окислительном пламени горячий — синий.

"	"	"	"	холодный	"
"	"	восстановительном	"	горячий	"
"	"	"	"	холодный	"

Кобальт.

2. Перл в окислительном пламени горячий — зеленый.

"	"	"	"	холодный — синий.
"	"	восстановительном	"	горячий — зеленовато-синий.
"	"	"	"	холодный

Железо и кобальт.

3. Перл в окислительном пламени горячий — фиолетовый до сине-красного.
" " " " холодный — буровато-фиолетовый.
" " восстановительном " горячий — желтый.
" " " " холодный — бутылочно-зеленый.

Марганец и железо. Примечание. Перл, содержащий марганец и железо, при недостатке окислительного пламени, в горячем состоянии — желтый; в холодном — бесцветный. Будучи восстановлен на угле с оловом, принимает купоросно-зеленую окраску.

4. Перл в окислительном пламени горячий — сливочно-красный.
" " " " холодный — бордово-красный.
" " восстановительном " горячий — синева-желтый.
" " " " холодный — синий.

Марганец, железо и кобальт.

б). Свинцовый корольек подвергают действию окислительного пламени на угле. Для более полного и скорейшего окисления свинца прибавляют к пробе борной кислоты и усиливают окислительное пламя. Остаток после удаления свинца растворяют в перле фосфорной соли. Реакция производится на угле.

1. Перл в окислительном пламени горячий — зеленый.
" " " " холодный — синий.
" " восстановительном " горячий — темно-зеленый.
" " " " холодный — буро-красный

Медь. Примечание. Прибавка олова ускоряет реакцию восстановления окиси меди.

2. Перл в окислительном и восстановительном пламени горячий — красновато-желтый
" " " " пламени холодный — желтый.

Никель.

3. Перл в окислительном пламени горячий — темно-зеленый.
" " " " холодный — зеленый.
" " восстановительном " горячий — темно-зеленый.
" " " " холодный — красно-бурый.

Медь и никель. Реакции на угле. Около края угля делается небольшое углубление, и проба медленно нагревается окислительным пламенем, в то время как уголь поддерживается в наклонном положении, для того чтобы на него попал образующийся возгон. Если проба при нагревании растрескивается, ее следует измельчать в мелкий порошок и смочить каплей воды. Наметки, которые происходят при медленном нагревании, представляют собой главным образом окиси, как показано в нижеследующей таблице.

II. Возгоны на угле

Элемент	Цвет и характер возгона	Примечание
Мышьяк	Белый (As_2O_3), очень летучий налет	Отлагается на расстоянии от пробы. Часто замечен запах чеснока
Сурьма	Около пробы — белый плотный налет (Sb_2O_3 ; Sb_2O_4). На расстоянии — голубоватый	Менее летуч, чем налет мышьяка
Кадмий	Около пробы — от черного до красновато-коричневого (CdO). На расстоянии — желтовато-зеленый	Очень тонкие отражения радужны
Молибден	Бледножелтый (MoO_3) в горячем виде; желтый — в холодном (белый)	При прикосновении восстановительного пламени становится синим. Медно-красный (MoO_3) налет, окружающий пробу
Свинец	Темножелтый (PbO) в горячем виде; бледно-желтый — в холодном. На расстоянии голубовато-белый	Иногда смешан с сульфитом и сульфатом свинца
Висмут	Оранжево-желтый (Bi_2O_3) в горячем виде; лимонно-желтый в холодном. На расстоянии зеленовато-белый	Отличается от свинца испытанием с плавнем, служащим для определения висмута
Цинк	Канареечно-желтый (ZnO) в горячем виде; белый в холодном	При смачивании $Co(NO_3)_2$ и нагревании становится травянисто-зеленым
Олово	Бледно-желтый (SnO_2) в горячем виде; в холодном — белый	При смачивании $Co(NO_3)_2$ и нагревании становится голубовато-зеленым
Селен	Около пробы стального серого цвета, с металлическим блеском. На расстоянии белый (SeO_2) с оттенком красного (Se)	Налет окрашивает пламя в голубой цвет. Характерный запах
Теллур	Около пробы белый (TeO_2). На расстоянии серый (Te) или коричневатый	Придает пламени бледно-зеленую окраску
Таллий	Черный (Tl_2O_3), очень летучий	Налет окрашивает пламя в яркозеленый цвет

В дополнение к вышесказанному заметим, что возгоны могут получаться в результате улетучивания хлоридов меди, свинца, ртути, аммония и щелочей. Там, где уголь неудобен для применения жидкостей, часто употребляются такие твердые реактивы, как пламень, служащий для определения висмута, и углекислый натрий.

III. Изменение цвета веществ при нагревании в закрытой трубке¹

Первоначальный цвет	Цвет после нагревания		Вещества	Примечание
	Горячий	Холодный		
Зеленый или синий	Черный	Черный	Минералы, содержащие медь	Эти изменения обыкновенно являются, когда от разложения вследствие нагревания получается окисл металлов
Зеленый или бурый	Черный	Черный	Минералы, содержащие железо	
Розовый	Черный	Черный	Минералы, содержащие марганец и кобальт	
Темнокрасный	Черный	Темнокрасный	Железистая окись	
Белый или бесцветный	Темножелтый до бурого	Бледно-желтый до белого	Минералы, содержащие свинец и висмут	
Белый или бесцветный	Бледнокариеечно-желтый	Белый	Минералы, содержащие цинк	

IV. Возгоны в открытой трубке²

Цвет и характер	Вещество	Примечание
Черный улетучивающийся	Мышьяк и сульфид ртути	Эти возгоны часто получают при очень быстром нагревании минералов, содержащих мышьяк, ртуть, сурьму и серу; но они не образуются, когда опыт с открытой трубкой производится с достаточной тягой, так что получается полное окисление
Бурый	Оксисульфидоурьмы	
Желтый или оранжевый, легко улетучивающийся	Сера и сульфиды мышьяка	
Красный летучий	Селен	Часто сопровождается селеновой окисью (см. ниже)

¹ Трубку беретая такая же, как при определении содержания воды. На дно трубки всыпается порошок минерала и нагревается в пламени паяльной трубки.

² Открытая стеклянная трубочка 10—15 см длиной, лучше немного согнутая под тупым углом на середине. В месте сгиба помещается порошок минерала.

Цвет и характер	Вещество	Примечание
В горячем состоянии бледножелтый, в холодном—белый	Молибденовая тройная окись, MoO_3	Образуется медленно, когда молибденовая окись нагрета и собирается близ пробы в виде тонких кристаллов
Белый, легко улетучивающийся, кристаллический	Мышьяковалокись As_2O_3	Возгонки образуются в виде кольца и, отлагаясь на стекле, имеют ясное кристаллическое строение (октаэдры)
Белый, легко улетучивающийся, кристаллический	Селеновая окись SeO_2	Возгонка появляется в виде светящихся призматических кристаллов, часто сопровождаемых небольшими выделениями селена красного цвета
Белый и бледно-желтого летучий	Окись теллура, TeO_2	
Белый, слаболетучий, кристаллический	Окись сурьмы, Sb_2O_3	Получается из сурьмы и минералов, ее содержащих. Возгонка состоит из двух родов кристаллов—октаэдров и призм
Бледно-оранжево-желтый в горячем состоянии; белый—в холодном; неплавкий, летучий, аморфный	Соли сурьмяной кислоты, Sb_2O_4	Получается из сульфида сурьмы и серносурьмянистой кислоты соли в виде густого белого дыма, который поднимается по трубке и оседает большей частью на нижней стороне
Белый, летучий, неплавкий	Сернистокислая и серноокислая соли свинца	Получается из сульфида свинца как легкий осадок, собирающийся большей частью на нижнем боку трубки, близ испытываемого тела
Серые металлические шарики, летучие	Ртуть, Hg	Движением полоски бумаги мелкие шарики могут быть соединены

V. Возгоны в закрытой трубке

Цвет и состояние		Вещество	Примечание
Горячий	Холодный		
Бесцветная жидкость, легко улетучивающаяся	Бесцветная жидкость в виде капель на стекле трубки	Вода, H_2O	Выделяется из всех минералов, содержащих кристаллизационную воду и водный остаток (гидроксил). В чистом

Цвет и состояние		Вещество	Примечание
Горячий	Холодный		
Бледножелтая до бесцветного жидкость	Бесцветные до белого шарики	Оксид теллура, TeO_2	виде нейтральна, но может быть кислотой, благодаря фтористоводородной, серной, хлористоводородной или другой летучей кислоте. Редко щелочная от аммония
Красная до темно-желтого жидкость, быстро улетучивающаяся	Желтое кристаллическое тело. В небольших количествах почти белое	Сера	Из природной серы, а также некоторых сернистых соединений
Темнокрасная почти черная жидкость, быстро улетучивающаяся	Красновато-желтое твердое тело	Сульфиды мышьяка	Из желтого мышьяка; из минералов, содержащих серу и мышьяк. Кроме того возгоняется металлический мышьяк, дающий при рассмотрении в отраженном свете блестящее кольцо несколько выше нагреваемого места.
Черный, труднолетучий, твердый	Красновато-бурый. Так же, как мышьяк, дает серо-блестящий вогонь металлической сурьмы — сурмян. зеркало	Оксисульфид сурьмы, Sb_2OS_2	Из сульфида сурьмы и некоторых минералов, содержащих сурьму с металлическими сульфидами, и солей серно-сурьмянистой кислоты
Блестящее черное твердое тело	—	Сульфиды ртути, HgS	Если взять немного налета и тонко растереть, то получается красный порошок
Черные плавкие шарики. Самые мелкие имеют красноват. цвет	—	Селен	Из селена и селеновых соединений. Обычно сопровождается кристаллами селеновой окиси
Черные растворимые шарики	—	Теллур	Из теллура и некоторых его соединений. Обычно сопровождается расплавленными шариками окиси теллура

Цвет и состояние		Вещество	Примечание
Горячий	Холодный		
Серые металлические шарики, которые могут быть соединены движениями (растиранием) лоскута бумаги	—	Ртуть	Из природной ртути и амальгамы
Белое твердое тело	—	Хлориды и окиси свинца и сурьмы. Окиси мышьяка. Аммониевые соли	

VI. Окрашивание в пламени паяльной трубки ¹

Цвет	Оттенок или тон	Элемент	Примечание
Красный	Малиновый, карминный	Литий	Группа минералов лития, которые являются или силикатами или фосфатами, не дает щелочной реакции после прокалывания
Красный	Малиновый, карминный	Стронций	Карбонаты и сульфаты дают реакцию и делаются щелочными после прокалывания. Силикаты и фосфаты не дают стронциевого пламени
Красный	Желтоватый до оранжевого	Кальций	Только немногие минералы дают отчетливо этот цвет, когда нагреваются в чистом виде. Часто однако цвет этот виден ясно после предварительного пробного смачивания в соляной кислоте
Желтый	Интенсивный	Натрий	Этот опыт очень тонкий, требующий большого внимания. Желтый цвет исчезает при рассматривании через синее стекло. Содержащие натрий силикаты измельчают, смешивают с порошком гипса. Для нагрева помещают на платиновую пестилку, предварительно смочив ее, чтобы порошок мог пристать.
Зеленый	Желтоватый	Барий	Карбонаты и сульфаты дают реакцию и делаются щелочными после прокалывания. Силикаты и фосфаты не дают бариевого пламени

¹ Для получения окраски пламени осколок минерала смачивают соляной кислотой и вносят в щипчиках или на платиновой проволочке в бесцветный конус окислительного пламени.

Цвет	Оттенок или тон	Элемент	Примечание
Зеленый	Желтоватый	Молибден	Только в виде окиси или сернистых соединений
Зеленый	Яркий, иногда желтоватый	Вор	Следует отличать от окрашивания соединениями бария (проверять другими пробами)
Зеленый	Чистый	Таллий	
Зеленый	Изумрудный	Медь	После предварительного смачивания в соляной кислоте пламя светло-голубое с зеленым оттенком
Зеленый	Бледносиневатый	Фосфор	Цвет недостаточно определенный, но часто помогает в распознавании фосфорнокислой соли
Зеленый	Синеватый	Цинк	Является обыкновенно в виде ярких полос в пламени
Зеленый	Бледный	Теллур, сурьма, свинец	
Синий	Светлоголубой	Медь хлорная	Наружные края пламени окрашены в изумрудно-зеленый цвет
Синий	Светлоголубой	Селен	Сопровождается характерным запахом
Синий	Бледно-голубой	Свинец	Пламя заметно окрашено в зеленый цвет в наружных частях
Синий	Бледный	Мышьяк	В восстановительном пламени мышьяк улетучивается, давая пламя фиолетового цвета
Синий	Зеленоватый	Фосфор, сурьма	Фосфорнокислые минералы нередко окрашивают пламя в бледный голубовато-зеленый цвет (предварительно смачивать крепкой серной кислотой). Сурьма и сурьмянистые соединения дают в восстановительном пламени бледное зеленовато-голубое окрашивание (не применять платиновых наконечников)
Фиолетовый	Бледный	Калий, рубидий, цезий	
Фиолетово-пурпуровый	Бледный	Индий	

VII. Таблица свойств королек

Металл	Цвет королька	Ковкость	Примечание
Свинец	Серый (холодный) Серебряный, белый (горячий)	Ковкий	Дает зелено-желтый налет. При долгом дутье улетучивается це- ликом
Олово	Белый	Ковкий	Ясно различного налета не дает
Сурьма	Белый	Хрупкий	Белый налет Нагретый до красного каления королек по прекращении нагревания светится и выделяет белый дым
Висмут	Красновато- белый	Ковкий	Налет лимонно-желтый
Медь	Красный	Ковкий	Налета не дает
Серебро	Серебряно- белый	Ковкий	Налета не дает
Золото	Желтый бле- стящий	Ковкий	Не окисляется
Серебро и свинец	Белый	Ковкий	Налет свинца Частью улетучивается при долгом дутье. Остается маленький королек серебра, не дающий налета

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Для порообразующих минералов оптические их свойства играют существенную роль. Распространение света в среде кристаллов носит векторный характер, и оптические свойства могут быть неодинаковыми для различных направлений в кристалле.

В руководствах все минералы обычно делят по оптическим свойствам на группы:

Изотропные (оптические свойства одинаковы во всех направлениях).

Анизотропные (оптические свойства различны для разных направлений).

а) Одноосные — минералы квадратной и гексагональной систем.

б) Двухосные — минералы ромбической, моноклинной и триклинной систем.

Кроме этих общих для целого ряда минералов оптических свойств существуют определенные, постоянные свойства — константы, а именно: показатель преломления, сила двупреломления, угол между оптическими осями, плеохроизм (для анизотропных).

Средний показатель преломления по Ларсену (Larsen) для прозрачных минералов колеблется в пределах 1,309 (лед) — 3,22 (гематит).

Минералы с низким показателем преломления (1,309—1,6): флюорит, опал, карналлит, шабазит, содалит, лаурит, лейцит, гипс, микроклин, ортоклаз, альбит, кварц, биотит, клинохлор, тальк, мусковит.

Минералы со средним показателем преломления (1,6—1,7): флогопит, топаз, тремолит, актинолит, волластонит, апатит, барит, андалузит, роговая обманка, диоптаз, фенацит, кальцит, оливин, сподумен, диопсид, бронзит, турмалин.

Минералы с высоким показателем преломления (1,7 и выше): гиперстен, цинцит, авант, пироп, диаспор, иппинель, родонит, ставролит, хризоберилл, эпидот, азурит, корунд, уваровит, англезит, циркон, кивоварь, палмаз.

Двупреломление для прозрачных минералов меняется в широких пределах — от 0 до 0,656.

Минералы с низким двупреломлением (0—0,015): лейцит, пеннин, тридимит, везувин, апатит, нефелин, ортоклаз, цинцит, каолин, топаз, эпстатит, корунд, бронзит, альбит, кварц, гипс, ставролит, андалузит, анортит, гиперстен, волластонит.

Минералы со средним двупреломлением (0,015—0,035): роговая обманка, сподумен, глаукофан, алузит, силлиманит, бруксит, антофиллит, авант, турмалин, актинолит, тремолит, диопсид, ортит, пренит.

Минералы с высоким двупреломлением: оливин, эпидот, мусковит, биотит, флогопит, ангидрит, диаспор, тальк, циркон, касовтерит, титанит, арагонит, кальцит, доломит, магнезит, кивоварь.

Угол между оптическими осями (2V) меняется в пределах от 0 до 180°.

Плеохроизм. Плеохроизмом называется способность анизотропных минералов неодинаково поглощать лучи света в различных направлениях, в результате чего появляется в этих направлениях неодинаковая окраска.

Резким плеохроизмом обладают следующие минералы: биотит, роговая обманка, турмалин, хлорит, эпидот, ставролит, оттрелит и др.

Из других оптических свойств минералов для некоторых из них следует отметить флюоресценцию, термолюминесценцию и триболюминесценцию.

Флюоресценция — способность свечения минералов, вызываемая действием сильно преломляемых лучей, как например лучей, полученных от вольтовой дуги, искры, полученной от катушки Румкорфа, ультрафиолетовых лучей и т. д.

Флюоресценцией обладают минералы: виллемит (Zn_2SiO_4), смитсонит, гемиморфит и др. Под влиянием потока лучей Рентгена светятся флюорит, целестин, барит, стронцианит, апатит, англезит и др.

Термолюминесценция — способность свечения слабо нагретых минералов, например фосфорит, плазиковый шпат и др.

Триболюминесценция — способность свечения минералов при механическом воздействии: трении, раздавливании и т. п. Такие минералы, слегка поцарапанные лезвием ножа, дают светящуюся черту; например сфалерит (из Мексики).

Примечание. Латинское слово *tribo* означает трение (глагол — *tribui*); *lumen* — свет, свечение.

МИКРОСКОП И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ¹

I. ОПИСАНИЕ МИКРОСКОПА

Необходимыми частями сложного микроскопа являются оптические стекла, объектив и окуляр. Объектив (рис. 4) *cd* дает действительное и увеличенное изображение предмета *ab*, расположенного несколько дальше его фокуса, в *AB*; при помощи окуляра *LP* это изображение рассматривается в увеличенном виде; в *A'B'* таким образом увеличение микроскопа представляет результат увеличений объектива и окуляра. Для сильных увеличений употребляются объективы, составленные из нескольких оптических стекол, помещенных одно под другим в общей оправе; окуляр состоит из двух оптических стекол.

Объектив помещен в нижней части оптической трубы микроскопа, окуляр помещен в верхней ее части (рис. 5). Оптическая труба присоединена к штативу, она может быть поднимается и опускается при помощи зубчатого приспособления, но более тонкие поднятия и опускания производятся при помощи микрометрического винта, который у наиболее совершенных микроскопов дает возможность поднимать и опускать трубу на 0,001 мм, с отсчетом. Рассматриваемый предмет помещается на предметный столик, над отверстием в центральной его части, которое освещается снизу зеркалом; сверх того между зеркалом и предметом может быть помещено оптическое стекло, представляющее собой осветитель рассматриваемого предмета.

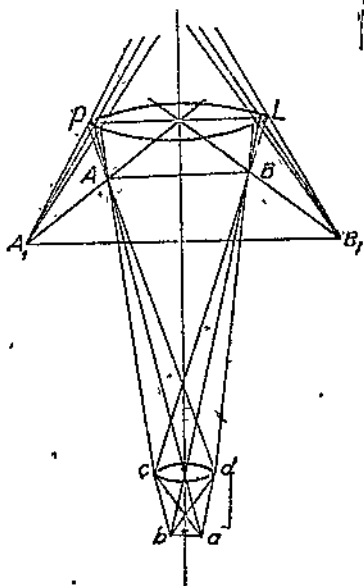


Рис. 4. Схематическое изображение хода лучей в сложном микроскопе.

Такое снаряжение микроскопа для минералогических исследований представляется недостаточным, так как минералы чаще всего подвергаются наблюдениям в поляризованном свете. Для рассматривания минерала в проходящем через его вещество поляризованном свете из него вышлифовывается тонкая пластинка, которая при рассматривании ее в микроскопе освещается снизу светом, выходящим из поляризатора, помещенного на пути световых лучей, отраженных от зеркала и освещающих рассматриваемую пластинку минерала. Таким поляризатором является призма Николя. Английский механик Николь для устройства этого прибора воспользовался прозрачным минералом кальцитом, известным под именем исландского шпата, у которого сильно выражена способность двойного преломления света.

¹ Глава специально для настоящего издания написана проф. С. Ф. Глинкой.

Представим себе, что перпендикулярно грани ромбоэдра прозрачного известкового шпата падает луч света (рис. 6). Войдя в этот кристалл, луч разделится на два луча, обладающие различными по-

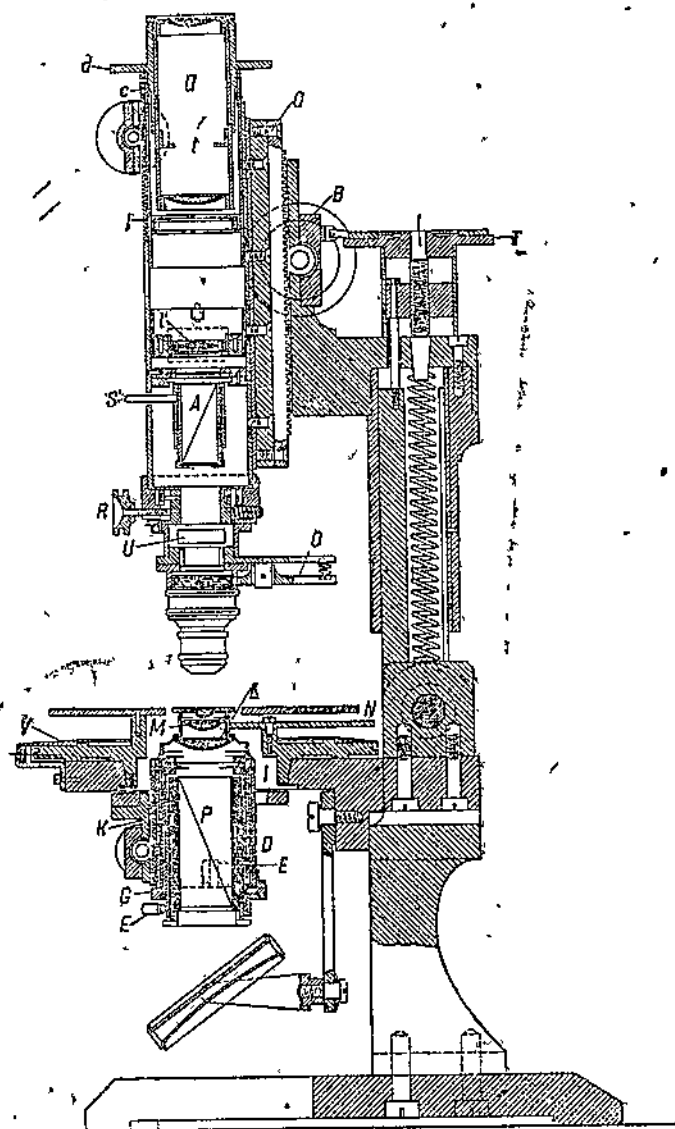


Рис. 5. Вертикальный разрез поляризационного микроскопа одного из обыкновенных типов.

казателями преломления, так что из кристалла выйдут два луча (справа на рис. 6 показан ход лучей в разрезе кристалла, слева на рис. 7 —

сплане). Грани кристалла AC и BD взаимно параллельны и при обыкновенных условиях луч, падающий перпендикулярно грани BD , должен выходить из кристалла, не преломляясь, что и имеет здесь место по отношению к лучу OS , который мы назовем лучом обыкновенным (O); другой луч преломляется, выходя из кристалла; мы назовем его лучом необыкновенным (E)¹. Плоскость, проведенная через ребра

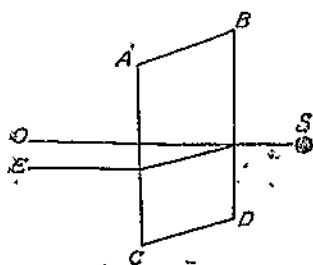


Рис. 6. Ход лучей в разрезе ромбоэдра исландского шпата.

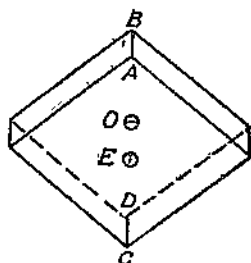


Рис. 7. Ход лучей в ромбоэдре исландского шпата в плане.

кристалла AB и CD , перпендикулярная грани, является одной из главных оптических плоскостей ромбоэдра; в ней расположены два луча: обыкновенный и необыкновенный. В дальнейшем нам удобнее будет представить себе явления, наблюдаемые в поляризованном свете, если мы остановимся здесь на короткое время, не вдаваясь в подробности, которые отвлекли бы нас от ближайшей цели, на сравнении физической природы обоих лучей, которую легче всего объяснить, предполагая, что луч света представляет собой результат колебательных движений эфира, распространяющихся от светящегося тела подобно тому как волны в бассейне, наполненном водой, распространяются от центра их колебаний, например от места, куда упал камень. С этой точки зрения луч света натуральный, неполяризованный, рассматривается как результат колебаний частиц светового эфира в плоскостях, перпендикулярных его распространению, но не приуроченных к какому-либо определенному направлению в этих плоскостях. Луч поляризованный обыкновенный рассматривается как результат колебаний частиц эфира по направлению, перпендикулярному его распространению и также перпендикулярному главной оптической плоскости ромбоэдра известкового шпата. Луч необыкновенный образован колебаниями, перпендикулярными его распространению, но проходящими в главной оптической плоскости ромбоэдра известкового шпата. Так как оптическая природа этого ромбоэдра различна по различным направлениям, то в связи с этим различаются между собою показатели преломления лучей обыкновенного и необыкновенного. Для луча обыкновенного показатель преломления имеет величину постоянную.

¹ Начальные буквы от французских слов: ordinaire—обыкновенный; extraordinaire—необыкновенный.

Для устройства поляризационного прибора Николь выбил по спайности из ромбоэдра прозрачного известкового шпата кусок призматической формы, как это показано на рис. 8. Соплифовав грани AB и CD



так, чтобы они образовали с ребрами AC и BD соответственно углы, равные 68° , он распилил призму по плоскости mn , образующей прямые углы с AB и CD по продолжении их, затем склеил канадским бальзамом обе эти части по той же плоскости разреза. При таких условиях луч натурального, неполяризованного света S , вступая в призму, делится на два луча— S_o , колебания эфира в котором в проекции обозначены точками, как перпендикулярные главной оптической плоскости $ABCD$,—это луч обыкновенный, и S_e —луч необыкновенный, колебания эфира в котором по направлению совпадают с главной оптической плоскостью, направления их обозначены линиями, перпендикулярными направлению луча. Луч необыкновенный выходит из призмы, но луч обыкновенный, показатель преломления которого больше, нежели показатель преломления луча необыкновенного у исландского шпата и более показателя преломления у канадского бальзама, отражается от слоя последнего в mn и уходит в сторону. Устроенная таким образом призма Николь для, как говорят для краткости, «николь», помещается в медную оправу, в трубку, внутренние стенки которой покрыты черной краской. Поляризатор этот помещается под столиком микроскопа, на пути лучей от зеркала в трубу.

Рис. 8. Призма Николь в разрезе и ход лучей в ней.

Другой такой же николь помещается или непосредственно в трубу микроскопа или же надевается на окуляр. Этот николь называется анализатором, так как назначением его является исследование, анализ света, выходящего из поляризатора и проходящего через исследуемую пластинку, минерала или горной породы.

Таким образом поляризатор и анализатор расположены по оси трубы микроскопа. При одинаковом, или, как принято говорить, при параллельном положении главных оптических плоскостей у обоих николей и при отсутствии какого-либо объекта исследования на предметном столике микроскопа луч света, поляризованный в первом николе, проходит без изменения через второй николь—анализатор. Но если анализатор повернуть таким образом, чтобы положение его главной оптической плоскости было перпендикулярно направлению главной оптической плоскости поляризатора, то луч света, входящий в анализатор, гаснет, и поле зрения делается темным.

Для объяснения этого явления нужно припомнить то, что было сказано выше относительно разделения лучей обыкновенного и необыкновенного в поляризаторе: мы видели, что тот луч, колебания эфира в котором происходят по направлению, перпендикулярному главному оптическому сечению, вполне отражается от слоя канадского бальзама и из николя не выходит. Когда мы повернем анализатор, верхний николь, на 90° около оси микроскопа, его главное оптическое сечение

займет положение, перпендикулярное направлению колебаний эфира в луче, выходящем из поляризатора, нижнего николя; луч этот в верхнем николе будет поставлен в те же условия, в каких находится обыкновенный луч в нижнем николе, и подобно этому последнему он погаснет.

2. ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСКОПА, ПОЛЯРИЗАТОРА И АНАЛИЗАТОРА

Для примера рассмотрим случаи применения микроскопа последовательно: 1) без поляризатора и анализатора, 2) с одним поляризатором или с одним анализатором, 3) с поляризатором и анализатором вместе.

1. На гладкой стеклянной пластинке проведем тонкую черту каким-либо твердым предметом, например обломком топаза, поместим эту пластинку на стол микроскопа и установим его при сильном объективе так, чтобы ясно видеть эту черту. Поместив в поле зрения на эту черту пластинку, полученную по спайности из прозрачного кристалла каменной соли, толщиной например 0,25 мм; мы увидим, что нужно поднимать трубу микроскопа на некоторую высоту для того, чтобы вновь ясно видеть черту на этом месте. Поднимая трубу при помощи микрометрического винта, мы видим, что это поднятие трубы равно 0,09 мм.

Нетрудно вывести зависимость между толщиной пластинки, показателем преломления вещества ее и величиной поднятия трубы: если d — толщина пластинки, e — величина, определяющая поднятие трубы, n по-

казатель преломления, то $\frac{d}{d-e} = n$; в нашем примере $d = 0,25$ мм; $e = 0,09$ мм; n определяется $0,25 : 0,16 = 1,56$; более точное определение дает для каменной соли показатель преломления, равный 1,54; во многих практических случаях такая степень точности является достаточной.

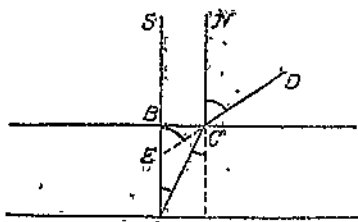


Рис. 9. Ход лучей в пластинке прозрачного тела при определении его показателя преломления помощью микроскопа.

Пусть $AB = d$ — толщина пластинки; $AE = e$ — поднятие трубы, необходимое для отчетливого видения черты, проведенной в A ; E — положение изображения точки A как место взаимного пересечения лучей AS и ACD , поступающих в объектив.

Имеем

$$\begin{aligned} BC &= AB \cdot \operatorname{tg} \angle BAC \\ BC &= BE \cdot \operatorname{tg} \angle BEC \\ AB \cdot \operatorname{tg} \angle BAC &= BE \cdot \operatorname{tg} \angle BEC \end{aligned}$$

Отсюда:

$$\frac{AB}{BE} = \frac{\operatorname{tg} BEC}{\operatorname{tg} BAC} \text{ и } \frac{d}{d-e} = \frac{\operatorname{tg} NCO}{\operatorname{tg} \frac{ACM}{\sin i}}; \quad \begin{array}{l} NCO - \text{Угол падения луча} \\ ACM - \text{Угол преломления луча} \end{array}$$

$$n = \frac{d}{d-e} = \frac{\sin i}{\sin r} = n$$

При малой величине углов BAC и BEC отношение тангенсов можно заменить отношением синусов.

В пластинках такой же толщины, выбитой по спайности из кристалла цинковой обманки, величина e определяется равной 0,145 мм; по формуле $n = \frac{d}{d-e}$ мы определяем $n = 2,38$, что близко к величине, определяемой другими способами.

Толщина пластинки d может быть определена при помощи того же микрометрического винта, если мы установим трубу микроскопа на ясное видение черты, проведенной на стекле, где лежит пластинка, а затем установим трубу на ясное видение верхней поверхности пластинки или края ее. Очевидно для получения удовлетворительных результатов необходимо иметь точный ход микрометрического винта микроскопа, совершенно прозрачную пластинку, вполне параллельные между собой верхнюю и нижнюю поверхности пластинки, опытность и ясное зрение наблюдателя.

2. Будем рассматривать при помощи микроскопа с анализатором (но без поляризатора) прозрачный кристаллик лучистого камня, который в натуральном свете представляется зеленым. Повернув столик микроскопа на некоторый угол, мы увидим, что кристаллик представляется желтым, затем при последовательных поворотах столика на углы, равные 90° , мы замечаем, что кристаллик делается то зеленым, то желтоватым, то опять зеленым и т. д. Явление это, называемое плеохроизмом, объясняется следующим образом: подобно многим другим минералам лучистый камень обладает способностью двойного преломления света, хотя и не в такой сильной степени, как мы это видели у известкового шпата. Натуральный луч света, падая, по отражении его от зеркала микроскопа, на рассматриваемый кристаллик, и проходя через него, разделяется на два луча, поляризованные, как это мы имели в случае известкового шпата. Вещество лучистого камня поглощает в одном из этих лучей все цвета спектра, кроме желтого, в другом — все цвета, кроме зеленого. Когда плоскость колебаний частиц светового эфира в желтом луче будет совпадать по направлению с главной оптической плоскостью анализатора, тогда кристалл нам будет представляться желтым; при повороте столика на 90° с главной оптической плоскостью анализатора будет совпадать направление плоскости колебаний частиц светового эфира в другом луче, и кристалл будет представляться зеленым. Если удалить анализатор, то глаз наш получает впечатление одновременно от обоих лучей, неразделенных; мы видим при этом, что здесь зеленый цвет имеет преимущество перед желтым, и кристалл будет зеленый, быть может со слабым желтым оттенком.

То же самое мы будем наблюдать, если, удалив анализатор, поместим под столик микроскопа поляризатор; в этом случае из поляризатора выходит луч, колебания которого происходят в направле-

нии главной оптической его плоскости; в зависимости от поворотов столика микроскопа поляризованный луч будет проходить через кристалл по тому и другому направлению в нем и мы получим при этом соответствующую окраску луча, желтую или же зеленую.

При повороте столика на 45° , например относительно положения, соответствующего желтому цвету в кристалле, колебательное движение луча, который выходит из поляризатора, разлагается по параллелограмму сил на два взаимно перпендикулярные, и глаз наш получает впечатление от смешанного света. То же будет и в случае юдного анализатора: там обе системы колебаний, соответствующие двум лучам, желтому и зеленому, выходящим из кристалла, суммируются — складываются — в анализаторе.

Аналогичное явление, особенно резко выраженное, наблюдается у густо окрашенного в зеленый или коричневый цвет кристалла турмалина: пластинка, вырезанная из кристалла турмалина по направлению, перпендикулярному одной из главных его оптических плоскостей и параллельно его главной кристаллической оси, при падении на нее натурального луча преломляет его двояко, поляризует оба луча, но пропускает лишь тот из них, колебания которого совпадают по направлению с главной оптической плоскостью; другой луч, колебания которого перпендикулярны этому направлению, поглощается, поглощается, веществом турмалина настолько, что при достаточной толщине пластинки она, при соответствующем повороте столика микроскопа относительно направления главной оптической плоскости анализатора (или поляризатора, соответственно), представляется непрозрачной. Два таких пластинки турмалина, до построения поляризационных призм николем, употреблялись в качестве поляризатора и анализатора света в оптических приборах. Неудобством их является густая окраска. Кристаллы турмалина более слабо окрашенные обнаруживают явления плеохроизма, но не абсорбции.

3. Наконец рассмотрим случай одновременного применения поляризатора и анализатора в микроскопе. Если они поставлены таким образом, что главные оптические плоскости их взаимно перпендикулярны, то поле зрения представляется, как мы знаем, совершенно темным. Поместив в поле зрения пластинку, сделанную из стекла или же из каменной соли, минерала кубической системы, мы увидим, что картина не изменится, аморфное вещество — стекло и минерал кубической системы — каменная соль — на поляризованный свет не действует, не обнаруживая способности двойного лучепреломления, тогда как пластинки, полученная по спайности из кристалла известкового шпата, при тех же условиях представляется светлой. Таким образом мы получаем возможность отличать тела оптически изотропные, т. е. аморфные, и кристаллы кубической системы от кристаллов всех остальных систем, которые являются оптически анизотропными. Если нам удастся получить из ромбоэдра известкового шпата по спайности тонкую пластинку в виде более или менее правильного ромба, то, рассматривая ее под микроскопом при николях, поставленных на темноту, мы заметим, что при поворотах столика она делается темною каждый раз, когда направление главной оптической плоскости ее, совпадающее с направлением короткой диагонали ромба, перпендикулярно

или же параллельно главной оптической плоскости анализатора. Такое положение пластинки является симметричным по отношению к элементам ее ограничения, так как оно совпадает с соответствующим положением диагоналей ромба. Но и в тех случаях, где симметричное положение отсутствует, можно найти полезные соотношения между направлением погасания и элементами ограничения пластинки; так, на пластинке, получаемой по спайности из натрового асимметрического полевого шпата, альбита, мы определяем угол погасания, относительно места пересечения направлений двух характерных для него спайностей, равным 4° при повороте вправо; для такой же пластинки, полученной из кальцевого полевого шпата, анортита, при тех же условиях, угол погасания определяется в 36° при повороте влево.

Из этих немногих примеров видно, какое существенное значение имеет поляризационный микроскоп, как обыкновенно называют такой прибор, для изучения минералов и других кристаллических тел.

Для ясного представления о том, как взаимно расположены части поляризованного микроскопа, мы даем его изображение (рис. 5).

Друба микроскопа длиной в 16 см, несет сверху, окуляр *O*, снизу объектив. Зубчатка *C*, приводимая в движение рукояткою *B*, служит для перемещения трубы вверх и вниз; для микрометрических перемещений ее служит винт *T*, головка, которого для определения поднятия трубы, разделена по окружности, соответствующей полному обороту винта. Поляризатор *P* в оправе помещен в трубку *D*, которая может быть поднимается и опускается при помощи зубчатки *K*. Оправа николя с ним вместе может быть поворачиваема в трубке *D* при помощи кольца *G*, разделенного на градусы, что дает возможность ставить главную оптическую плоскость поляризатора под каким угодно углом. Оптическое стекло *L*, обладающее большим фокусным расстоянием, помещенное над поляризатором, сообщает лучам, которые проходят через поляризатор, очень слабую сходящуюся, так что, если при помощи диафрагмы *I* будут выделены лишь средние лучи из всего пучка лучей, их можно будет рассматривать как параллельные. Диафрагма регулируется помощью *F*. Столик микроскопа разделен на градусы, которые отсчитываются при помощи ползунка *V*.

Когда над поляризатором помещается оптическое стекло *L*, микроскоп служит для исследования в параллельном свете; для перехода к сходящемуся свету достаточно ввести добавочный конденсатор *M* при помощи рычажка *N*. Объективы в микроскопах этого типа укрепляются при помощи пружинных щипцов *O*, которые могут быть передвигаемы по двум взаимно перпендикулярным направлениям винтами *R* для центровки объектива. В трубе помещается анализатор *A*, который можно поворачивать около оси микроскопа при помощи рычажка *S'* и выдвигать из трубы через соответствующее боковое отверстие. Кружок *d* в верхней части трубы служит для анализатора другого типа, надеваемого на окуляр. Отверстие *U* над объективом сделано для движения в трубку гипсовой, кварцевой и слюдяной пластинок, имеющих при исследованиях вспомогательное значение.

3. ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В СХОДЯЩЕМСЯ ПОЛЯРИЗОВАННОМ СВЕТЕ

Исследования в сходящемся поляризованном свете имеют значение в следующих случаях: кристаллы квадратной и гексагональной систем имеют одно направление, называемое оптической осью, по которому свет проходит в них, не испытывая двойного лучепреломления; у ромбоэдра известкового шпата эта ось совпадает с осью симметрии 3-го порядка, и пластинка, вырезанная ей перпендикулярно, при рассмотрении ее в параллельном поляризованном свете, при николях, поставленных на темноту, представляется темною, тогда как в свете сходящемся она обнаруживает типичную интерференционную фигуру, состоящую из концентрических радужных колец, пересеченных двумя черными взаимно перпендикулярными линиями, проходящими через общий центр этих кругов.

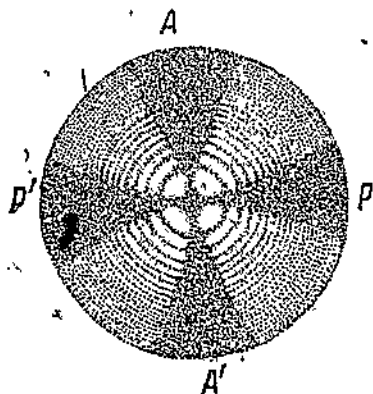


Рис. 10. Интерференционная фигура, наблюдаемая в пластинках, вырезанных из кристаллов квадратных и гексагональных перпендикулярно оптической оси.

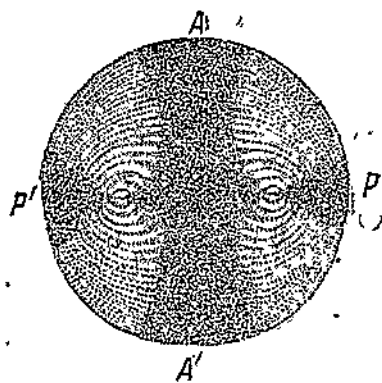


Рис. 11. Интерференционная фигура, характерная для кристаллов оптически двуосных.

Кристаллы ромбической, моноксимметрической и асимметрической систем имеют по две оптические оси: пластинка, вырезанная из кристалла по направлению, перпендикулярному линии, делящей пополам угол между оптическими осями, в сходящемся поляризованном свете дает характерную для оптически двуосных кристаллов фигуру, состоящую из продолговатых цветных колец, в местах, определяющих положение осей, окруженных вытянутыми кольцами, имеющими форму цифры 8, повернутой на 90° . Вся эта система пересекается двумя взаимно перпендикулярными черными линиями.

Рис. 10 представляет интерференционную фигуру кристалла, оптически одноосного, при освещении поля зрения микроскопа однородным, например желтым или красным, светом: в первом случае получаются желтые и черные концентрические кольца, во втором случае красные и черные концентрические кольца и т. д. В случае белого света, кольца получают радужные цвета.

AA' и PP' соответствуют направлениям главных оптических плоскостей анализатора и поляризатора.

Рис. 11 представляет интерференционную фигуру, характерную для кристаллов оптически двуосных. AA' и PP' — направления, параллельные направлениям главных оптических плоскостей у анализатора и поляризатора. Пластинка вырезана перпендикулярно линии, делящей пополам углы между оптическими осями, называемой биссектрисой. Рис. 12 представляет интерференционную фигуру, наблюдаемую в той же кристаллической пластинке после поворота на 45° столика микроскопа вместе с пластинкой; черные линии разделились на два гиперболические луча, пересекающие кольца в местах, соответствующих оптическим осям.

Можно определить под микроскопом, с большей или меньшей точностью, в зависимости от условий наблюдения, величину угла между оптическими осями; например у кальевых слюд видимый угол между оптическими осями около $60-80^\circ$, у слюд магnezияльных вообще гораздо меньше: иногда немного более 0° .

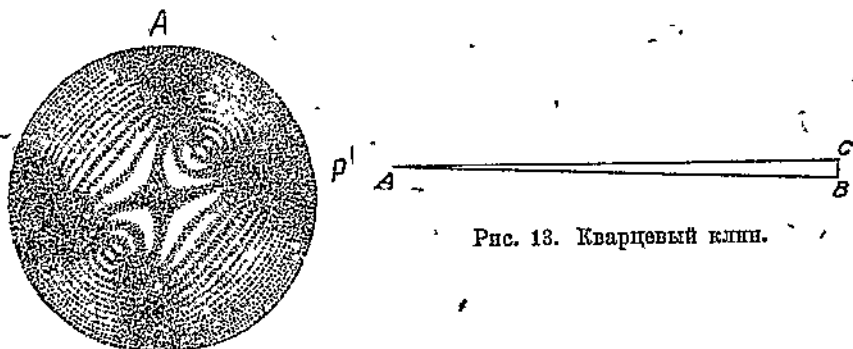


Рис. 13. Кварцевый клин.

Рис. 12. Та же пластинка, повернутая на 45° вместе со столиком микроскопа.

Неудобством при исследовании минералов в проходящем свете является то обстоятельство, что при этом часто нельзя бывает определить цвет непрозрачных минералов. Для устранения этого неудобства, особенно существенного при изучении минералов, образующих руды, построены микроскопы для исследования минералов в отраженном свете, о чем подробнее будет сказано в своем месте.

Возьмем прозрачный кристалл гипса и, пользуясь незначительной его твердостью, отделим при помощи ножа тонкую пластинку по направлению наиболее совершенной его спайности. Рассматривая эту пластинку под микроскопом в параллельных лучах поляризованного света при николях, поставленных на темноту, мы замечаем, что при последовательных поворотах столика микроскопа пластинка эта делается то темной, то светлой или же ярко окрашенного цвета: если нам удалось отделить очень тонкую пластинку гипса, то она представляется

нам в данном случае, при повороте столба, то темную, то прозрачную, но при более значительной толщине она будет представляться то темной, то окрашенной например в яркокрасный цвет; увеличивая последовательно толщину отделяемых от того же кристалла пластинок, мы замечаем, как окраска их под микроскопом изменяется в таком порядке: после яркокрасной она представляется пурпуровой, фиолетовой, синей, голубой, зеленой, желтой с переходом между этими цветами. При более значительных толщах пластинок цвета эти делаются более бледными, наконец исчезают — пластинки пропускают белый цвет высшего порядка.

Явление это свойственно лишь кристаллам, двояко преломляющим свет, причем оно зависит также от величины двупреломляемости, т. е. от разницы между показателями преломления обыкновенного и необыкновенного лучей, на которые разделяется луч света, падающий на кристалл. Таким образом две пластинки, сделанные из двух различных минералов, имея одинаковую толщину, под микроскопом, при одинаковых прочих условиях, могут обнаруживать различную окраску. Явление это, называемое хроматической или цветной поляризацией, представляется одним из средств для определения минералов в тонких пластинках, особенно, если удастся выразить отношение окраски определяемого минерала к окраске известного минерала при одинаковых условиях. Для этого можно пользоваться кварцевым клином следующего устройства (рис. 13): из прозрачной разности кварца, горного хрусталя, вырежем клин по направлению, параллельному главной оси призматического его кристалла, так, чтобы острый край клина в A был ей перпендикулярен. Зная величину угла CAB (на рисунке она очень преувеличена) и имея масштаб, нанесенный от A до B на стекле, к которому приклеен клин, мы можем без труда вычислить толщину клина для каждого деления масштаба. Устанавливаем николи поляризационного микроскопа на темноту, помещаем в поле зрения клин так, чтобы его длина AB делила пополам угол, образованный взаимно главными оптическими плоскостями николей, т. е. была бы в каждой из них под углом 45° , и подвигаем его до тех пор, пока он не получит окраску, одинаковую с окраской определяемого нами минерала. Так как двупреломляемость горного хрусталя, определенная более точными способами, известна и равна $0,009$, то, если определяемый минерал обнаруживает такие же цвета, какие наблюдаются в клине в том его месте, которое вдвое например толще рассматриваемой пластинки, это значит, что двупреломляемость минерала $0,018 = 0,009 \cdot 2$. В настоящее время для той же цели применяются приборы более точные, но и более сложные, вместе с тем основанные по существу на том же принципе. У гипса яркий красный цвет в поляризованном свете получится при толщине пластинки $0,06$ мм. Толщина пластинок, приготовляемых из сложных горных пород для исследования под микроскопом, гораздо меньше. Но например для получения той же окраски в пластинке из известкового шпата пришлось бы дать ей толщину менее $0,004$ мм, вследствие значительной его двупреломляемости.

Для того чтобы сравнивать интерференционную окраску кварцевого клина с интерференционной окраской рассматриваемой пластинки,

эту последнюю необходимо предварительно поместить в поле зрения микроскопа между нишлями, поставленными на темноту, и поворачивать столики микроскопа вместе с пластинкой до тех пор, пока в пластинке обнаруживаются самые сильные интерференционные цвета, что соответствует наибольшей ее двупреломляемости. После этого, в поле зрения вводит кварцевый клин, как выше было указано.

Представим себе, что мы хотим рассматривать под микроскопом поверхность непрозрачного предмета, помещенного в A' (рис. 14), при слабом увеличении, т. е. когда расстояние между объективом и рассматриваемым предметом более или менее значительное.

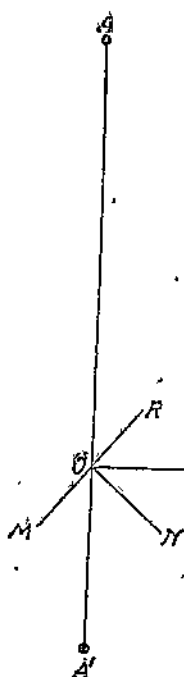


Рис. 14. Освещение рассматриваемого предмета в A' лучом, отраженным от стеклянной пластинки MR .

Для освещения рассматриваемого предмета сверху мы расположим гладкую отполированную поверхность его в плоскости, перпендикулярной оси микроскопа AA' . Где-нибудь в точке O , между объективом микроскопа и рассматриваемым предметом, поместим прозрачное стекло MR так, чтобы луч света, падающий из яркого источника света в S на эту стеклянную пластинку, отразился от нее по направлению OA' .

На этом принципе построены все микроскопы, применяемые для исследования минералов в отраженном свете. В тех случаях, когда исследования требуют более сильного увеличения, что связано с большим приближением объектива микроскопа к рассматриваемому предмету, освещение предмета производится помощью призмы, помещенной в трубке объектива, как это показано на рис. 15.

Мы видим, что лучи света, выходящие справа из осветителя, направляются через трубку, привинченную сбоку к объективу, и через отверстие в стенке трубки объектива на стеклянную призму, преломляясь в ней и испытывая полное внутреннее отражение от одной из сторон ее, через систему стекол объектива они собираются на поверхности рассматриваемого предмета и освещают его.

На рис. 16 указано расположение микроскопа и приборов, его обслуживающих; мы имеем здесь слева на первом месте микроскоп, затем осветитель, штатив с цветофильтром¹, осветительную лампу, которая в данном случае представляет вольтовую дугу, но может быть заменена сильною лампой накаливания. Из других особенностей этого микро-

¹ Цветофильтр употребляется для того, чтобы ослабить влияние избытка желтых и красных лучей в электрическом свете и тем приблизить его к обыкновенному дневному свету.

сноп; мы отметим, что столбец, на который помещается предмет, поднимается и опускается при помощи винта и зубчатки. Поляризатор помещается на пути лучей от осветителя к отражающей призме объектива, анализатор надевается на окуляр.

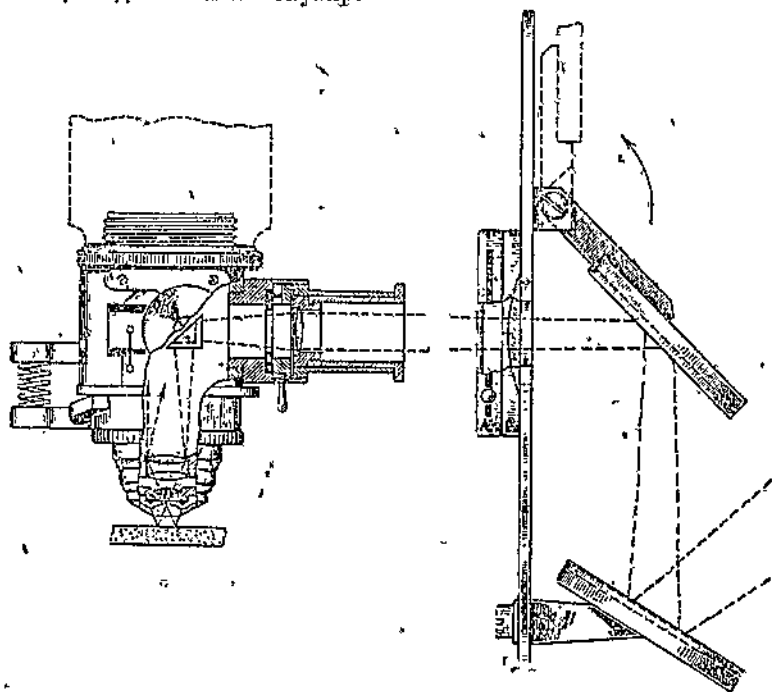


Рис. 15. Осветитель (справа) и приспособление в трубе объектива для освещения рассматриваемого предмета при средних и сильных увеличениях.

Для иллюстрации того, что было сказано относительно применения микроскопа к исследованию минералов; мы рассмотрим несколько частных случаев, относящихся к применению микроскопа для исследований в проходящем и в отраженном свете.

Будем рассматривать под микроскопом тонкую пластинку, сделанную из гранита (рис. 17), первоначально в натуральном, неполяризованном свете. При этих условиях полевой шпат и кварц, входящие в состав гранита, представляются трудно различимыми: оба они почти бесцветны и прозрачны; прозрачность эта может быть отчасти нарушаема лишь мелкими включениями в обоих минералах или начинающимся выветриванием у полевого шпата. Нередко у полевого шпата удается наблюдать трещины, соответствующие спайности, — это выражено у него по двум направлениям; у кварца спайность отсутствует. Третья существенная составная часть гранита — слюда, обыкновенно темная — обнаруживается в виде листочков светлорусоватого цвета или, если разрез, по которому сделана пластинка, прошел перпендикулярно направлению их спайности, темнокоричневого цвета. Поместив поляризатор под столбец микроскопа и пропуская таким образом через пластинку

поляризованный свет, мы увидим, что картина по отношению к полювому шпату и кварцу не меняется, но слюда обнаруживает ясно выраженный плеохроизм на тех листочках и зернах, представляющих аттрагций листочков, через которые разрез проходит перпендикулярно направле-

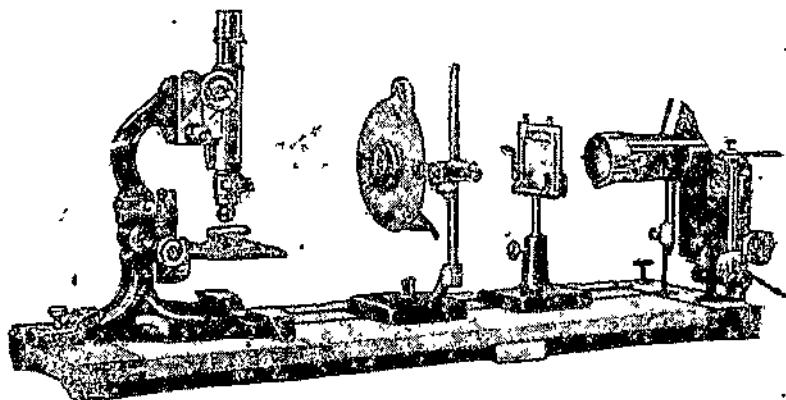


Рис. 16. Микроскоп для рассматривания руд с осветителем а, цветофильтром и электрической лампой на общем штативе.

нию их спайности. В зависимости от поворотов столика слюда представляется нам то светлорычжевого, иногда почти желтого, то темнокоричневого, иногда почти черного цвета.

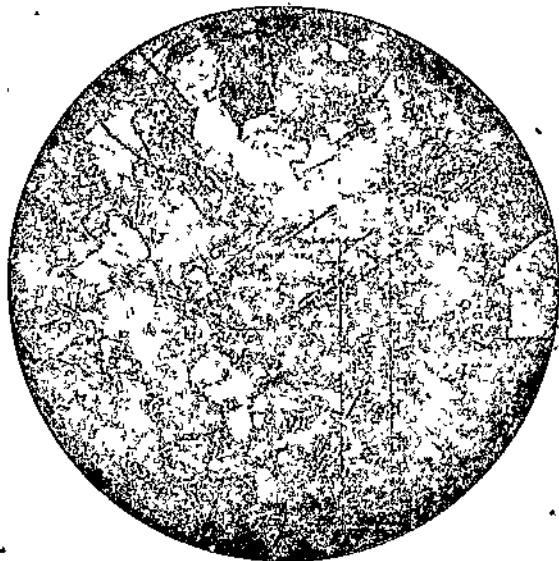


Рис. 17. Гранит 45/1. Белые зерна кварца и крупное зерно ортоклаза выдаются своей величиной и выраженным направлением спайности. Слюда темная или же в поперечном сечении мелких зерен более светлая, сложная. Николи поставлены на темноту.

Поместим затем в трубу микроскопа второй николь, анализатор, и поставим оба николя на темноту. При этом обнаруживаются явления цветной интерференции (хроматической поляризации): при достаточной тонкости пластинки у кварца и полевого шпата они выражены слабо, сероватою или желтоватою окраской, в связи со слабою их двулучепреломляемостью, у слюды — яркими интерференционными цветами. При поворотах столика мы замечаем, что полевого шпата гаснет, и угол погасания, определенный поворотом градуированного столика, отсчитываемый или от трещины по спайности или от места двойникового срастания двух или нескольких пределных, входящих в состав зерна.

У кварца спайность вовсе не выражена, и правильно образованные кристаллические зерна его в граните встречаются как исключение. Слода гаснет в направлениях, параллельных и перпендикулярных ее спайности.

Наконец, переходя к исследованию в сходящемся поляризованном свете и рассматривая листочки слюды в направлении, перпендикулярном направлению ее спайности, мы увидим в них типичную интерференционную фигуру кристаллов оптически двучисных, причем у слюд темных, магнезиальных, этот угол небольшой (от 0° до 20°), тогда как у калийных белых слюд он значительный ($60-80^\circ$). В зависимости от того, как проходит разрез через зерна полевого шпата и кварца, мы можем наблюдать у полевого шпата интерференционную фигуру двучисных кристаллов или часть ее, у кварца¹ — типичную фигуру оптически одноосных кристаллов или часть ее (рис. 18).

Мы знаем уже, что пластинка, вырезанная из кристалла, оптически одноосного по направлению, перпендикулярному его оптической оси, при рассматривании ее в сходящемся поляризованном свете, при николях, составленных на темноту, обнаруживает систему концентрических колец, пересеченных двумя темными полосами, взаимно пересекающимися в центре этих колец. При вращении столика микроскопа с такой пластинкой, картина эта не изменяется. Если же пластинка вырезана под некоторым углом, большим или меньшим прямого угла, по отношению к оптической оси кристалла, то место пересечения черных полос представляется эксцентричным и при вращении столика изменяет свое положение (рис. 18а). Может случиться также, что при разрезе еще более наклоненном относительно оптической оси центр фигуры, соответствующий на рис. 10 выходу оптической оси, совсем не будет наблюдаться в поле зрения, как это показано на рис. 18а внизу. В верхней части рис. 18б даны случаи рассматривания пластинок, вырезанных более или менее наклонно к направлению одной из оптических осей кристалла оптически двучисного; фигуры эти нетрудно понять, если сравнивать их с частью, отмеченной АВ на рис. 12 или аналогичной частью внизу того же рисунка.

В самом низу рис. 18б иллюстрированы случаи наблюдения в сходящемся поляризованном свете пластинок, вырезанных под некоторым углом к биссектрисе кристалла оптически двучисного.

¹ У кварца это явление выражается не вполне тождественно с другими минералами оптически одноосными, так как он вращает плоскости поляризации, но в тонких пластинках это не существенно.

Если бы мы захотели проверить себя относительно того, действительно ли определенный нами полевой шпат есть калиевый ортоклаз, а не натриевый альбит, от которого он отличается также и направле-

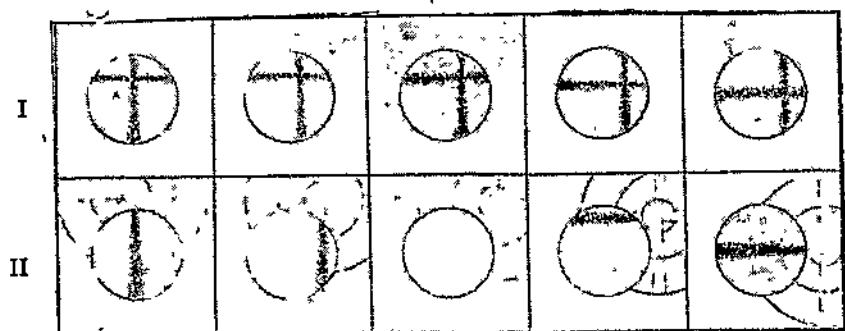


Рис. 18а. Кристаллы оптически одноосные.

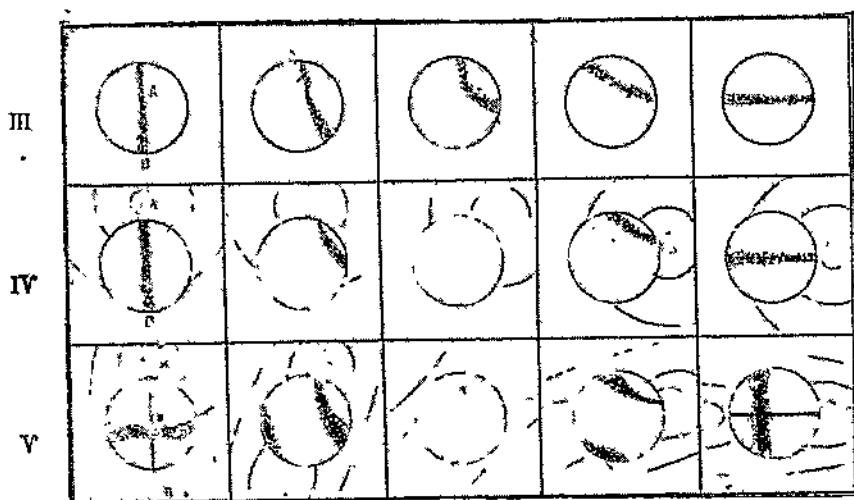


Рис. 18б. Кристаллы оптически двуосные.

I и II—случай—наблюдения в сходящемся поляризованном свете пластинок, вырезанных из кристалла оптически одноосного по направлению, не перпендикулярному оптической оси. Фигуры I наблюдаются, когда оптическая ось обнаруживается в поле зрения микроскопа; фигуры II наблюдаются, когда она вне поля зрения; III, IV и V—случай наблюдения в сходящемся поляризованном свете пластинок, вырезанных из кристаллов оптически двуосных. Фигуры III наблюдаются, когда одна из оптических осей обнаруживается в поле зрения, при поворотах столика микроскопа; фигуры IV наблюдаются, когда рассматривается какое-нибудь сечение, вообще перпендикулярное плоскости оптических осей; фигуры V соответствуют разрезам, у которых линия, делящая пополам угол между оптическими осями, находится в поле зрения микроскопа.

нием в величии углов угасания, то мы могли бы воспользоваться следующей микрохимической реакцией: отделим от нашей полевой пластинки в части, соответствующей полювому шпату, очень малую часть и подействуем на нее плавиковой кислотой и небольшой платиновой пластинке, затем выпарим раствор досуха, прибавим к сухому остатку соляной кислоты, выпарим ее в просторном эвю несколько раз, Растворив сухой остаток в воде и поместив каплю полученного раствора на стекло, прибавим к ней каплю хлорной платины; по мере испарения воды по краям капли образуются тетраэдрические кристаллы хлороплатината калия золотисто-желтого цвета (рис. 13). Для определения натрия пользуемся концентрированным раствором уксуснокислого урана; причем образуются тетраэдрические кристаллы сложного состава.

Истинную природу таких мелкозернистых горных пород, как базальты, удалось определить лишь при помощи микроскопа. Одна из существенных составных частей их—вулканическое стекло являющееся индифферентным по отношению к поляризованному свету, при рассматривании пластинки между николями, поставленными на темноту, при всех поворотах ее остается темною (рис. 20).

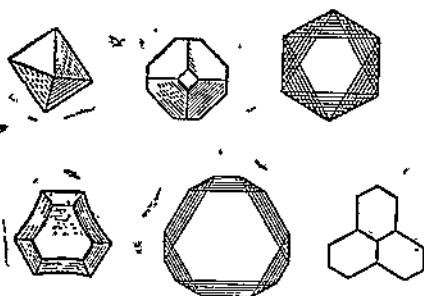


Рис. 19. Микрохимическая реакция на калий.

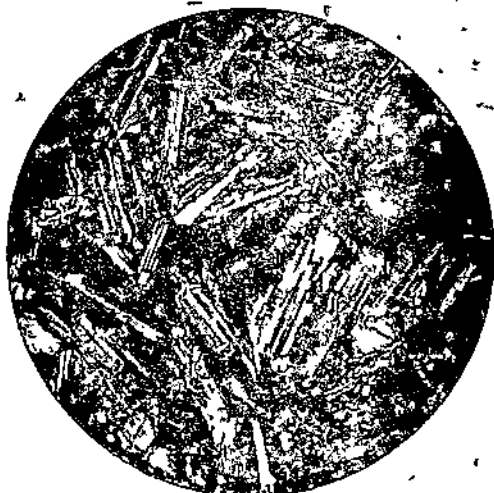


Рис. 20. Базальт 60/1. При николях, поставленных на темноту, вулканическое стекло, не обладающее двойным лучепреломлением, представляется темным. На этом темном фоне выступают кристаллические зерна натрово-известковых полевых шпатов, действующие на поляризованный свет.

Из простых горных пород, т. е. состоящих из одного лишь минерала, мы рассмотрим мрамор. Тонкая пластинка, приготовленная из чистого белого мрамора, под микроскопом представляется сложной из мелких зерен, тесно между собою соединившихся; каждое из таких мелких зерен, размеры которых выражаются иногда сотыми долями миллиметра, состоит из неделимых минерала кальцита, известнякового шпата, образующих между собой двойниковые еростания. При николях, поставленных на темноту, эти неделимые представляются в виде тонких полос, темных и светлых, в зависимости от положений относительно главных оптических плоскостей того и другого николя.

Таким образом мы легко отличаем мрамор от плотных известняков, которые в общежитии нередко называются «мраморами», но под микроскопом они представляются аморфными, иногда лишь со случайно встречающимися кристалликами известкового шпата или кварца, и совершенно не похожи по своему строению на настоящий мрамор.

Рассматривая под микроскопом тонкие пластинки, сделанные из горных пород диорита (рис. 21) и диабазы (рис. 22), мы можем различить в первой из них зерна роговой обманки с трещинами, соответствующими направлениям спайности, которые образуют угол, близкий к 120° ; во второй мы различаем зерна пироксена с трещинами, также соответствующими направлениям спайности, но у этого минерала угол спайности бли-

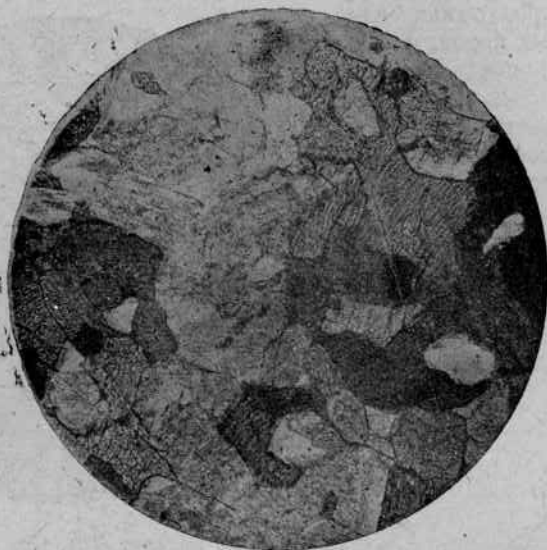


Рис. 21. Диорит. 60/1.

зок к 90° . Измерение углов производится при помощи взаимно перпендикулярных нитей, пересекающихся в центре поля зрения окуляра, и при помощи вращения столика в его плоскости.

Наблюдения под микроскопом, как в проходящем, так и в отраженном свете, могут быть производимы также с «иммерсией», т. е. с погружением нижнего стекла объектива в жидкость, которая помещается на рассматриваемую пластинку или на полированную поверхность. В качестве жидкости, употребляемой для иммерсии, берут обыкновенно кедровое масло, показатель преломления которого близок к показателю преломления стекла, из которого делаются покровные пластинки шлифов горных пород. *PQ* — объектив, *MN* — покровная пластинка (рис. 24 — 25); лучи света, идущие от рассматриваемого предмета в точке *S*, выходя из покровной пластинки и вступая в слой масла слева, почти не изменяют своего направления, тогда как справа, где воздух, они сильно



Рис. 22. Днабаз. 45/1.

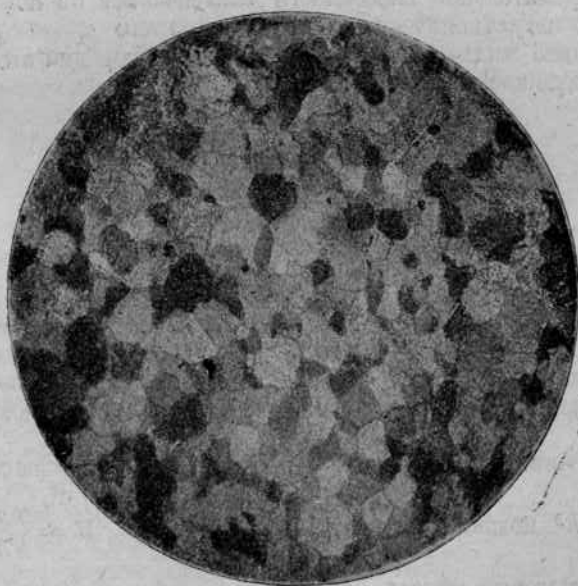


Рис. 23. Шлиф обломочной породы под микроскопом.

отклоняются. Очевидно, что слева в объектив вступает более лучей (и света), нежели справа, и поле зрения ярче освещено.

Перейдем теперь к исследованию минералов в отраженном свете.

Пусть R представляет собою отношение напряженности отраженного света I_r к напряженности падающего света I_o . В случае перпендикулярного направления падающего луча на отражающую поверхность.

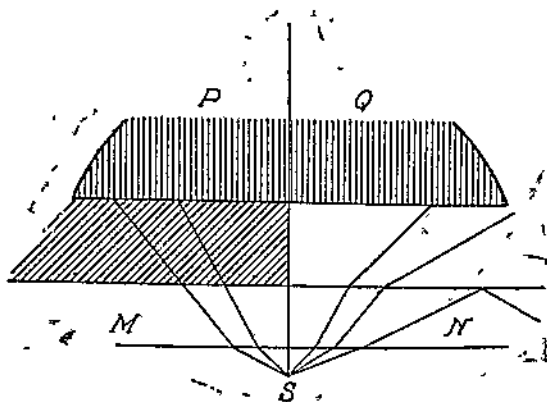


Рис. 24—25. Ход лучей при иммерсии (слева) и без иммерсии объектива (справа).

Величина отражательной способности тела зависит от показателя преломления его по отношению к окружающей его среде (воздуху или же иммерсионной жидкости) и от коэффициента абсорбции этого тела. Получается следующее отношение:

$$R = \frac{I_r^2}{I_o^2} = \frac{(n-1)^2 + k^2 n^2}{(n+1)^2 + k^2 n^2}$$

Здесь kn — коэффициент абсорбции.

$$kn = \frac{n^2(1+k^2) + 1 - 2n}{n^2(1+k^2) + 1 - 2n}$$

У прозрачных минералов (например у минералов, образующих вещество жилы, содержащей руду) коэффициент абсорбции выражается очень слабо, и отражательная способность зависит главным образом от показателя преломления минерала: она будет тем более, чем больше показателя преломления.

В этом случае отношение $\frac{I_r^2}{I_o^2}$ упрощается, так как величиною $n^2 k^2$ можно пренебречь, и мы имеем; $R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$.

Кварц и полевые шпаты, которые часто образуют вещество рудной жилы и имеют слабый показатель преломления, всегда представляются особенно темными в отраженном свете. Например у ортоклаза, средний показатель которого 1,5237, величина R выражается 0,043.

Карбонаты, шпексены, амфиболы, малахит, азурит в отраженном свете представляются сравнительно более светлосерыми. Серый цвет представляется еще более светлым у ювелирного камня, хромистого железняка, церуссита; наконец цинковая обманка, показатель преломления которой (2,38) выше показателей преломлений всех названных минералов и для которой $R = 0,168$, представляется в отраженном свете еще более светлой. Прозрачные минералы, имеющие еще более высокий показатель преломления, как пегит, рутил, красные серебряные руды, куприт, киноварь, в отраженном свете представляются уже белыми с легким голубоватым оттенком у некоторых из них, так как показатели преломления для голубых лучей значительно выше. В случае минералов непрозрачных отражающая способность зависит от показателя поглощения. В формуле

$$R = \frac{n^2(1+k^2)+1-2n}{n^2(1+k^2)+1+2n}$$

можно пренебречь значением $2n$ по сравнению с $n^2(1+k^2)$ и k делается близким к единице. Это особенно выражено у металлов, как медь, серебро, золото, и у тех минералов, которые имеют металлический блеск.

Для минералов, имеющих показатели преломления несколько менее 3, как куприт, красные серебряные руды, цинковая обманка, изменение, вызываемое иммерсией, еще чувствуется, и эти минералы представляются более темными, нежели в воздухе; в этом случае появляется их внутренний цвет.

Для таких минералов, показатели преломления которых меньше, действие иммерсии выражается отчетливо. Так, кварц ($n=1,54$), погруженный в жидкое масло ($n=1,515$), представляется почти совершенно черным, и поверхность его делается невидимой, но получается возможность различать внутренность его зерен (трещины, включения).

Минералы непрозрачные можно разделить на три большие группы по их цвету.

1. Минералы цветные. Существует сравнительно немного минералов непрозрачных, имеющих отчетливо выраженный цвет, например, халькопирит (медный колчедан) — желтый, ковеллин — синий, пирит — сливочно-желтый, пестрая медная руда — темноборичневый или фиолетовый.

2. Минералы белые. Определение их невозможно по одному лишь цвету. Указываются следующие типы их, по сравнению с цветом свинцового блеска: белый со сливочно-желтым оттенком — самородное серебро, белый с синеватым оттенком — многие минералы из этой группы прозрачны, например прустит, пирартирит, куприт; белый с розовым оттенком — кобальтовый блеск; белый сероватый — титрадрит.

3. Минералы серые. Их можно сравнивать с цинковой обманкой. Некоторые минералы представляются серыми, будучи на самом деле белыми, потому что трудно поддаются полировке, покрываясь при этом большим количеством очень мелких углублений.

Для сравнения оттенков определяемых минералов с типичными проще всего поместить рядом с рассматриваемым в отраженном свете ми-

нералом один из типичных так, чтобы отшлифованные поверхности обоих минералов находились в одной плоскости. Некоторые серпичистые минералы и окисные соединения представляются прозрачными — это свойство их можно обнаружить, закрыв вертикальное освещение и освещая их косыми лучами.

Прозрачные красные минералы — куприт и красные серебряные руды — отражают при таких условиях цвет, дополнительный к тому, какой они обнаруживают в проходящем свете, и представляются голубоватыми или зеленоватыми.

Внутренний отраженный цвет минералов, получаемый при косом их освещении, следующий:

Красный у киновари (HgS), куприта (Cu_2O), яшмита ($3\text{Ag}_2\text{S} + \text{Cu}_2\text{S}$), кормезита ($2\text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{Sb}_2\text{O}_3$), мларгирита ($\text{Ag}_2\text{S} + \text{Sb}_2\text{S}_3$), полибазита [$(\text{AgCu})_2\text{Sb}_3$], прустита ($3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$), пираргирита ($3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$).

Коричневый или зеленый у купродеклуазита [$4(\text{PbZnCu})\text{O} \cdot \text{V}_2\text{O}_5 + - + \text{H}_2\text{O}$].

Оливково-зеленый у алабандина (MnS).

Оранжевый у реалгара (AsS).

Желтый у аурипигмента (As_2S_3).

Красновато-коричневый у лимонита ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), гюбнерита (MnWO_4).

Коричневый или желтый у касситерита (SnO_2), цинковой обманки (ZnS), вольфрамита ($4\text{ZnS} + \text{ZnO}$).

При исследовании полупрозрачного минерала с более или менее увеличением и применением иммерсии часто можно бывает заметить, что часть света, который проникает в кристалл, отражается от поверхностей трещин или включений и вблизи их освещает минерал, что дает возможность определения его внутреннего цвета.

Отражающая поверхность прозрачного анизотропного тела, помещенного между николями, представляемыми на темноту, в том случае, если падающий на эту поверхность свет есть монохроматический, при вращении в своей плоскости на 360° становится последовательно светлой и темной четыре раза.

Тела изотропные прозрачные и поглощающие (абсорбирующие) свет не производят никакого влияния на поляризованный свет при перпендикулярном его падении, вследствие чего полированные поверхности изотропного минерала имеют постоянно тот же самый цвет и тот же блеск при вращении плоскости перед николем; между николями, поставленными на темноту, они остаются постоянно темными.

В случае изотропных минералов, поглощающих (абсорбирующих) свет, при косом их освещении явление делается более сложным.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ, КОТОРЫЕ МОГУТ СЛУЖИТЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ, НАБЛЮДАЕМЫХ НА ПО- ЛИРОВАННЫХ ИХ РАЗРЕЗАХ

В поляризованном свете легко можно различать непрозрачные оптически изотропные минералы (аморфные и кубические) и анизотропные. При николях, поставленных на темноту, и при поворотах столика

микроскопа изотропные тела остаются темными или, скорее, не меняют цвета или блеска.

Напротив, поверхности отполированных анизотропных минералов по большей части при тех же условиях дают четыре положения погасания или минимума освещения. В промежуточных положениях, в случае при-
менения белого цвета, получаются четыре положения осветления и явления хроматической поляризации.

Положения, соответствующие погасаниям, образуют определенные углы с элементами ограничения кристалла, направлениями спайности, линиями двойникового расщепления — углы эти зависят от симметрии кристаллов: так же, как и в случае исследования кристаллов в проходящем свете, следует обращать внимание на то, совпадает ли направление погасания с направлением длины кристалла или же образует косой угол.

ХРОМАТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В БЕЛОМ СВЕТЕ. ДВУПРЕЛОМЛЯЕМОСТЬ

Хроматические явления, обнаруживаемые анизотропными рудными минералами при исследовании их в отраженном свете в положениях, соответствующих просветлению, и николями, представляют на первый взгляд совершенно другую природу, нежели те, какие бывают в случае рассматривания прозрачных, анизотропных тел в проходящем свете. Они зависят здесь от смещения цветов, произведенных различными явлениями: от дисперсии показателя преломления и показателя абсорбции, также от двупреломляемости минерала, но не являются интерференционными. При этом бывает иногда, что минералы представляются например зеленоватыми в одном из положений их освещения и розоватыми при повороте столика на 90° .

Может случиться также, что при освещении минерала белым светом погасания делаются несвершенными, если у данного минерала углы погасания значительно изменяются в зависимости от длины волны, т. е. от лучей различных цветов спектра. В таких случаях необходимо пользоваться светом монохроматическим. Это бывает лишь у минералов моносимметрических и асимметрических.

В случае минералов непрозрачных, анизотропных, исследование в поляризованном свете дает возможность выяснить их структуру, но прибегая к помощи реагентов, действующих на эти минералы. Таким образом можно видеть, состоит ли минерал, который представляется однородным в натуральном свете, из одного кристалла или же представляет собой агрегат кристаллов, является ли структура этого агрегата зернистой или волокнистой, не являются ли эти кристаллы двойниковыми.

Так удается определить зернистую агрегацию сурьмяного блеска, волокнистую агрегацию марказита или никкелина, двойники бурнонита, как это видно из рисунков, помещенных отдельно (рис. 28 и 30).

Плеохроизм. Ковеллин, наблюдаемый в белом свете с одним николем (поляризатором или анализатором), обнаруживает явление, представляющее все особенности плеохроизма, наблюдаемого в прозрачных кристаллах.

В сечениях, параллельных вертикальной оси C , у ковеллинов наблюдается темносиний цвет, когда главная оптическая ось имеет на-

когда перпендикулярна направлению C , и светлоголубой, когда она параллельна этому направлению. Кристаллы ковеллина обыкновенно имеют вид таблиц, основание которых параллельно плоскости спайности, перпендикулярной C ; разрезы, параллельные C , имеют форму пазочек, которые представляются темносиними, когда длина их параллельна главной оптической плоскости никеля, и светлоголубыми, когда ей перпендикулярна.

Многие другие анизотропные минералы — сурьмяный блеск, висмутый блеск и др. — обнаруживают плеохроизм в отраженном свете. Если минерал освещен монохроматическим светом, то при одном никеле, вращая столики микроскопа с рассматриваемым предметом, мы наблюдаем положения *minimum* и *maximum* освещения на расстоянии, определяемом углом 90° между ними. Пользуясь белым светом, мы получим различные цвета в двух взаимно перпендикулярных положениях.

Вообще говоря, исследование полированных разрезов и руд в поляризованном свете при перпендикулярном его падении на разрез, при современном состоянии наших знаний в этом отношении, не дает возможности делать количественные определения, но оно представляет драгоценный способ для различения большого количества минеральных видов, в частности, давая возможность различать минералы изотропные и анизотропные, также давая возможность определить их строение.

Из того, что было выше сказано о ковеллине, мы прибавим следующие подробности: он сильно действует на поляризованный свет, направления погасания выражены отчетливо. Разрез, направленный перпендикулярно его вертикальной оси, при никелях, поставленных на темноту, всегда представляется темным. Разрезы, направленные косо относительно этой оси, делаются темными по всей длине и принимают в положениях, соответствующих их просветлению, цвет коричнево-красный до яркокрасного во всех квадратах. В натуральном, не поляризованном свете он синий.

Медный колчедан при никелях, поставленных на темноту, представляется довольно темным; в положениях, соответствующих просветлению, обнаруживает слабые темнозеленый и темнорозовый цвета. В натуральном, не поляризованном свете минерал желтого цвета.

Бурфонит — кристаллические неделимые, различным образом ориентированные, и двойники; в положении, соответствующем 45° между направлениями главных оптических плоскостей, у никелей, поставленных на темноту, обнаруживают слабую разницу в оттенках от серовато-розового до серовато-зеленого.

При рассматривании тонких пластинок горных пород, образованных кристаллическими зернами нескольких минералов, под микроскопом, мы замечаем, что те из них, которые имеют более сильный показатель преломления, при одной и той же толщине всей пластинки представляются как бы выдающимися из нее, по сравнению с другими минералами, обладающими слабой способностью преломления света. Таким образом, если бы случайно в пластинке, вырезанной из гранита, встретилось зерно диорина, показатель преломления которого выше 1,9, оно представилось бы нам выдающимся среди ортоклаза и кварца, показатели преломления которых немногим выше 1,5.

При исследовании руд в отраженном свете под микроскопом мы замечаем, что, несмотря на всю тщательность их полировки, минерал более твердый, входящий в состав этой руды, представляется более рельефным, нежели расположенный с ним рядом более мягкий минерал.

Другие способы определения твердости мелких зерен минералов, входящих в состав руды, более сложны, но все они не могут считаться удовлетворительными. Рельеф минералов, одного относительно других, на полированной поверхности удобнее различать при косом освещении, — в этом случае стороны зерна более твердого минерала ярко освещаются, и рельеф их обнаруживается. Косое освещение получается от лампы накаливания, сделанной из стеклянной трубки, согнутой в виде кольца. Лампа эта надевается на объектив микроскопа и бросает лучи в косом направлении вопреку оси микроскопа. При помощи косого освещения удается различать нормальную окраску прозрачных минералов: таким образом различается цвет окрашенных минералов, входящих в состав рудной жилы, каковы азурит, малахит, хризосола, — минералы эти представляются серыми при вертикальном освещении. Можно также отличить бесцветные минералы, каковы кальцит и кварц, от прозрачных или полупрозрачных металлических минералов, как например цинковая обманка. Пустоты, которые образуются при полировании минералов в связи с их спайностью, например треугольные углубления, образующиеся в свинцовом блеске, удобнее наблюдать при косом освещении. Также результаты действия на полированную поверхность различных реактивов легче определяются при косом освещении. Не останавливаясь на подробностях, мы отметим, что, действуя на полированную поверхность руды различными реагентами, мы получаем возможность узнать отношение минерала к тому или другому реагенту и отнести его таким образом к небольшой группе минералов, между которыми его легко отличить по другим его признакам, например по цвету или по отношению его к поляризованному свету. В однородных агрегатах зерна ориентированы различно в кристаллографическом отношении, поверхности разреза пересекают различные зерна в различных направлениях, которые подвергаются действию реактивов в неодинаковой степени: зерна, которые менее подвергаются этому действию, выступают рельефно над другими и сильнее отражают свет. Например действуя раствором одного калия на агрегат зерен сульфатного блеска, мы обнаруживаем различную ориентировку зерен; некоторые представляются черными, другие серыми, третьи, на которые реагент почти не подействовал, представляются белыми.

Погружая на короткое время препарат в кипящую воду, в горячее масло, в расплавленный свинец, расплавленный дини и после этого охлаждая его в воде, можно получить ясное представление о направлениях спайности, например в зернах такого мягкого минерала, как серебряный блеск.

Отполированные поверхности некоторых рудных минералов, как серебряный блеск, красные серебряные руды, стефанит, молибдит и др. минералы, содержащие серебро, меняют свой цвет после того, как они подвергались в течение нескольких секунд действию сильного света от вольтовой дуги: они делаются желтоватыми, коричневыми, почти черными. Это изменение цвета может быть однообразным или же

распространяться по некоторым направлениям, связанным с царапинами на поверхности или же со структурой минералов. В некоторых случаях, при сильном увеличении, удается видеть мелкие зерна восстановленного серебра. Сопоставляя между собой, то, что нами было сказано относительно исследования минералов под микроскопом в проходящем и в отраженном свете, мы видим, что настолько точным и определенным является характер перевода из этих способов, настолько следующим и неопределенным является второй способ. Объяснить эту разницу нетрудно, если припомнить, что микроскопическое исследование минералов в проходящем свете вошло в общее употребление более 50 лет тому назад, тогда как микроскопическое исследование минералов в отраженном свете лишь теперь начинает распространяться.



Рис. 26. Разрез руды, состоящей из цинковой обманки, свинцового блеска и мисpickеля с жильной породой. 56/1,

За истекший большой промежуток времени были в широкой степени разработаны методы исследования минералов в проходящем свете и построены многочисленные приспособления в микроскопам, значительно помогающие производить точные определения. Кроме того необходимо иметь в виду, что луч света, отражающийся от полированной непрозрачной пластинки, приобретает особые свойства, которые усложняют наблюдение. Во всяком случае микроскопическое исследование металлических руд в отраженном свете доставляет весьма важные сведения как относительно более точного определений минералов, входящих в состав руды, так и относительно теоретического и практического изучения рудных жидк, что дает полезные указания на последовательности кристаллизации составных частей руды, условия генезиса месторождения,

строение руды. Это даст возможность устанавливать методы механического отделения руды от пустой породы, входящей в состав жилы, наконец на распределение металлов в руде и т. д. В этом случае микроскопический анализ всегда является дополнением химического анализа, тем более, что для него требуется гораздо меньше времени.

Руда, состоящая из цинковой обманки, свинцового блеска, миспикеля и жильной породы (рис. 26).

Свинцовый блеск в центре поля зрения, белый с треугольными углублениями, которые образовались при полировании образца вследствие удаления мелких пластинок по спайности. Наблюдается также небольшое выделение свинцового блеска внизу слева.



Рис. 27. Разрез руды с содержанием никкелина; пластинчатая структура. 60/1.

Цинковая обманка светлосерого цвета сверху и внизу справа. Темносерые части образованы веществом жильной породы.

Миспикель белого цвета, выше свинцового блеска; под микроскопом он обнаруживает рельеф относительно свинцового блеска и цинковой обманки, которые оба мягче его.

Внизу заметна светлая каемка на границе цинковой обманки с обоими выделениями свинцового блеска. При поднятии объектива микроскопа эта каемка перемещается по направлению к свинцовому блеску (более мягкому сравнительно с цинковой обманкой).

Сложная руда с содержанием никкелина: в поляризованном свете при николях, поставленных на темноту, ясно выражается пластинчатое сложение агрегата (рис. 27).

Полисинтетическое двойниковое сложение по призме в разрезе бурнонита (рис. 28).

Ковеллин с пестрой медной рудой и медным колчеданом: разрез в натуральном, неполяризованном свете представляется почти одно-

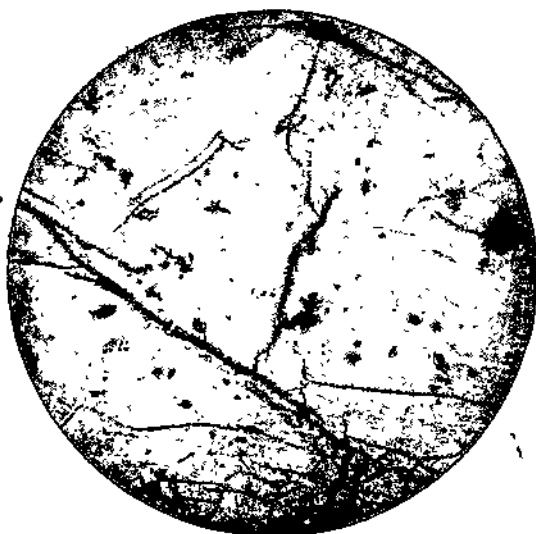


Рис. 28. Разрез, представляющий двойниковое полисинтетическое отрастание бурнонита. 70/1.

родном; при рассмотрении его с одним николем обнаруживается плеохроизм ковеллина; на рисунке представлена картина, видимая при рас-

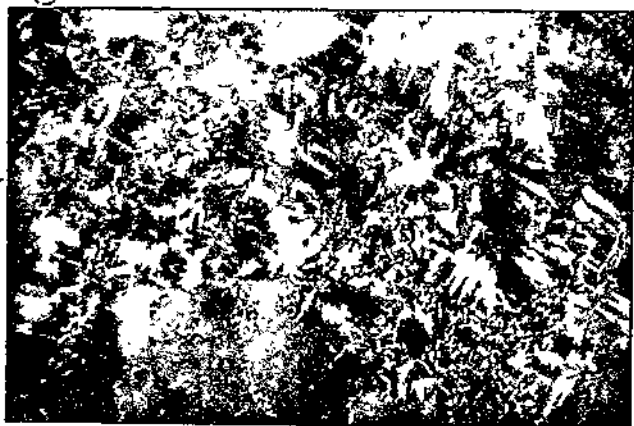


Рис. 29. Разрез руды со значительным содержанием ковеллина, который характеризуется своим плеохроизмом. 50/1.

сматривании разреза в поляризованном свете, при николях, поставленных на темноту (рис. 29).

Разрез руды, состоящей из сурьмяного блеска и бурнонита, рассматриваемый под микроскопом, после действия на него 20%-ного раствора КОН. Бурнонит не поддается действию раствора и ярко отражает



Рис. 30. Разрез руды с содержанием сурьмяного блеска и бурнонита после действия на него 20%-ного раствора едкого калия. 65/1.

свет; в центре поля зрения ясно видна структура агрегации сурьмяного блеска, так как различные кристаллографические плоскости неодинаково и с различной скоростью поддаются действию растворителя (рис. 30).

ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ К ИЗУЧЕНИЮ МИНЕРАЛОВ

В 1913 г. Лауэ впервые открыл дифракцию рентгеновских лучей с помощью кристаллов. В своем опыте Лауэ исходил из следующих соображений: если рентгеновский свет представляет, подобно видимому свету, колебательное состояние среды и распространяется в виде волн электромагнитной природы, волны рентгеновского света, встречая частицы кристалла, приводят их в колебание, превращая таким образом каждую частицу в источник излучения.

Кристалл обращается в систему связанных источников светового колебания, испускающих волны в окружающее пространство. Эти волны должны интерферировать, т. е. вступать во взаимодействие. Результат этого взаимодействия должен зависеть от направления, по которому оно происходит. Так как закон расположения источников взаимодействующих волн нам приблизительно известен (они в общем расположены в кристалле по узлам пространственной решетки), то и результат взаимо-

действия волн по данному направлению нам будет приблизительно известен — его можно вычислить. Результат вычисления сводится к тому, что если кристалл осветить пучком параллельных рентгеновских лучей, то этот «первичный» пучок распадается в кристалле на целый ряд «вторичных» пучков параллельных лучей. Приняв эти вторичные пучки на фотографическую пластинку, мы получим на ней после подлежащей выдержки и проявления ряд темных пятен, следов вторичных пучков. Оставалось проверить на опыте справедливость этого рассуждения, а

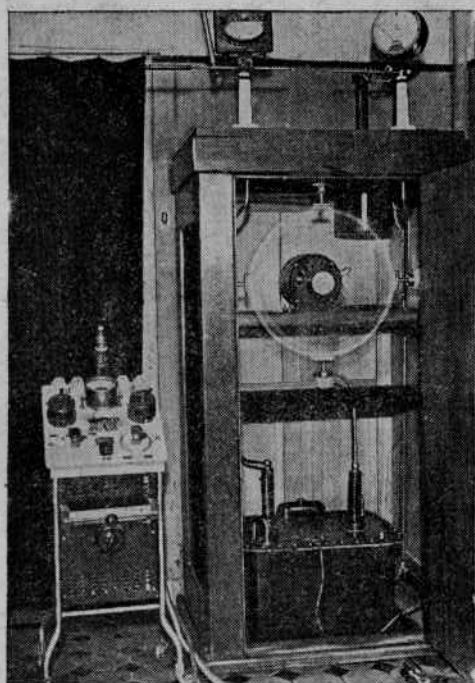


Рис. 31. Трансформатор высокого напряжения в работе (установка Института прикладной минералогии). Внизу шкафа помещен масляный трансформатор с замкнутой магнитной цепью, питаемый переменным током от городской электросети. Для выпрямления высоковольтного переменного тока служит коммутатор. На шкафу помещены разрядник, миллиамперметр и амперметр. Рядом с трансформатором — распределительный столик, на котором сосредоточено управление током.

вместе с тем и справедливость двух основных предпосылок — о волновой природе рентгеновского света и о строении кристаллов по типу пространственной решетки. Опыт был осуществлен следующим образом.

Рентгеновские лучи, исходящие из фокуса антиматериальной трубки, пропускались сквозь свинцовые диафрагмы так, что получался узкий пучок лучей в 0,75 мм в поперечнике. Этот первичный пучок пропусклся через кристалл, помещенный на гониометре и установленный при помощи особой зрительной трубы. Около кристалла со

всех сторон были расположены фотографические пластинки, расположенные в свинцовом ящике, служившем защитным экраном от непосредственного действия боковых рентгеновских лучей и от действия дневного света. Вначале опыт не дал никаких результатов, и только когда экспериментаторы применили очень продолжительную выдержку в несколько часов, они получили картину, аналогичную изображенной на рис. 33. Общий вид установки и схема коммутатора изображены на рис. 31 и 32.

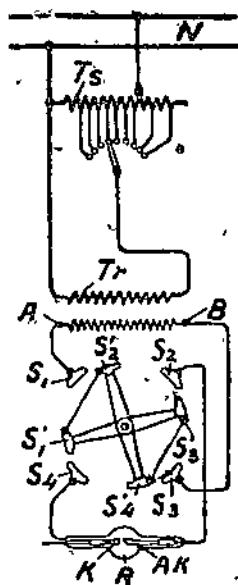


Рис. 32. Схема коммутатора высокого напряжения (установка ИИМ). N —сеть, T_s —реостат; T_r —первичная обмотка трансформатора; R —рентгеновская трубка; K —катод; AK —антикатод; S_1, S_2, S_3, S_4 —четыре неподвижных металлических сегмента, S'_1, S'_2, S'_3, S'_4 —такие же подвижные сегменты, попарно соединенные между собой проводником (S'_1, S'_2) , (S_3, S'_1) . Пусть в начальный момент B —положительный полюс; в трубку идет ток правильного направления. Но через полпериода B становится отрицательным полюсом, и для того, чтобы в трубку не пошел обратный ток, вредный для трубки, необходимо повернуть на четверть оборота деревянный крест, на котором расположены подвижные сегменты S_1, S_2, S_3, S_4 . Следовательно, чтобы через трубку проходил ток одного и того же направления, необходимо, чтобы крест вращался со скоростью вдвое меньшей против числа периодов переменного тока, питающего трансформатор. Это осуществляется насаживанием креста на ось синхронного мотора.

Снимок, приведенный нами, сделан с кристаллом каменной соли, из которого была вырезана пластинка, параллельная грани куба, около 3 мм толщиной. Посредине этой «диаграммы» видно большое пятно — след первичного пучка. Оно гораздо больше свечения самого пучка. Вокруг этого центрального пятна располагаются менее яркие пятна и множество совсем слабо видимых пятен, произведенных пучками, «отраженными» на внутренних сегментных плоскостях кристалла каменной соли. Благодаря применению рентгеновских лучей мы наконец получили возможность проникнуть в область действительного расположения атомов внутри кристаллов, о чем так долго мечтали и чего никак не могли сделать. «Архитектура кристаллов», пишет У. Х. Браун, — стала доступной исследованию; отныне кристаллография не должна более основываться лишь на внешней форме кристаллов, но на гораздо более твердом фундаменте точного знания расположения атомов внутри кристаллов.

Следующие два снимка (рис. 34 и 35) с кристаллов кварца дают яркую иллюстрацию применения нового метода. Внешне совершенно неразличимые два обломка кристалла — на самом деле разного строения. Первый из них — обычный кристалл кварца (рис. 34), а второй — двойник (рис. 35).

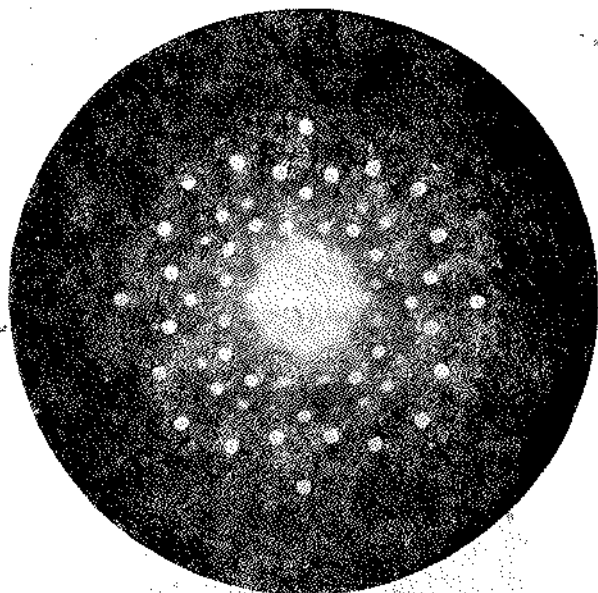


Рис. 33. Рентгенограмма кристалла каменной соли на ось четвертого порядка. (Фотография К. В. Васильева).

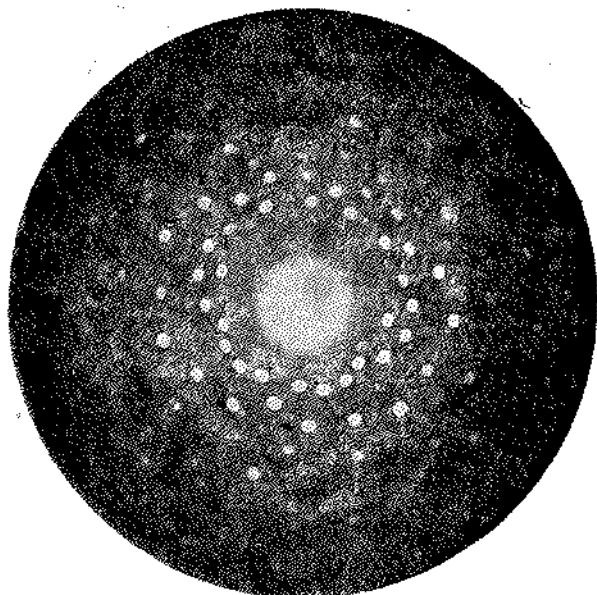


Рис. 34. Рентгенограмма кварца на плоскость симметрии. (Фотография К. В. Васильева).

Двойные пятна, второго рисунка это с несомненностью доказывают. *Рентгенограмметрия кристаллов.* Указанная связь между пятнами рентгенограммы и расположением отражающих сетчатых плоскостей позволяет по рентгенограмме определить вид пространств решетки, по которой построен кристалл, а вместе с ней и кристалл. Таким образом на открытых Лауэ явлениях можно основать способ измерения кристаллов. Этот способ при надлежащем развитии его технических применений замечателен тем, что для определения кристалла достаточно лишь его обломка, лишенного внешних граней, так как внешние грани параллельны некоторым важным сетчатым плоскостям решетки, а эти плоскости во всяком случае дадут свои пятна на рентгенограмме. Структура (решетка) каменной соли изображена на рис. 35.

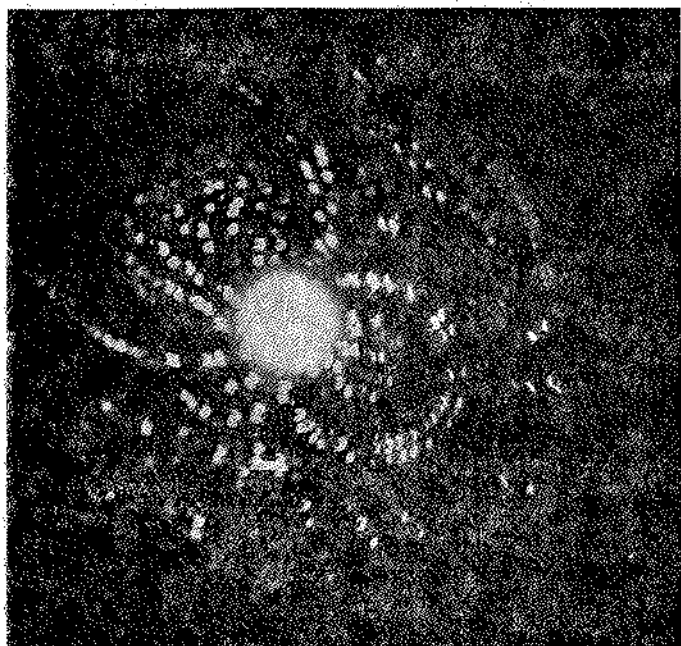


Рис. 35. Рентгенограмма двойника кварца.
(Фотография К. В. Васильева).

Нильсонс, Дебай и Шеррер изобрели способ изучать строение кристаллов, не только лишенных своей внешней формы, но даже микроскопически малых, взятых в мелком порошке, в виде маленькой кучки, объемом в несколько кубических миллиметров.

Анализ минералов с помощью рентгеновских лучей. Пользуясь изучением рентгеновских спектров поглощения испытуемого вещества, можно производить качественный анализ с обнаружением ничтожнейших примесей того или иного элемента.

В некоторых же случаях возможен и количественный анализ. Особенно ценно применение рентгеновского анализа к исследованиям ве-

ществ (минералов), не поддающихся ни оптическим методам (микроскопическим), ни химическому анализу, не имеющему возможности разде-

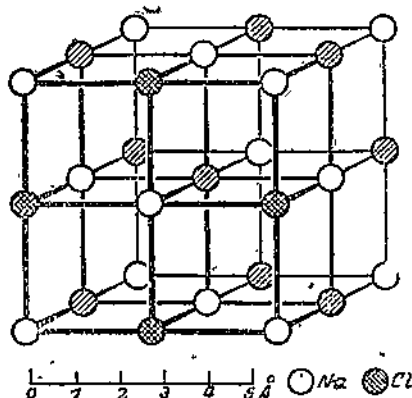


Рис. 35¹. Структура—решетка—каменной соли. Она представляет собой две решетки куба с центрированными гранями: одна из ионов Na, другая— из ионов Cl, вставленных одна в другую, причем одна относительно другой сдвинута на половину телесной диагонали. Ребро куба равно 5,628 Å. Значок Å^{*} читаемый „онгстрем“ (обозначение введено в память работ шведского физика— Ångström), означает единицу для измерения длины волн рентгеновских лучей, орбит ионов, строения атомов и т. п.; равен 1.10^{-8} см = $\frac{1}{100\,000\,000}$ см (в 10 000 раз меньше микрона).

лить или выделять составные части анализируемого вещества (например анализ редких земель)¹.

Открытые Рентгеном в 1895 г. лучи представляют собой один из видов лучистой энергии и по многим своим свойствам напоминают видимый свет, отличаясь от него лишь длиной волны, которая около 10 000 раз короче световых волн.

Хотя главнейшие свойства этих лучей были еще указаны Рентгеном в 1895—1898 гг., как то: способность проникать через непрозрачные для света вещества, ионизировать газ, действовать на фотографическую пластинку, вызывать флуоресценцию во многих веществах, не отклоняться ни в электрическом, ни в магнитном поле,—все же природа рентгеновских лучей не была установлена вплоть до 1912 г.

Еще очень давно, в начале XIX в., Аюц пришел к выводу, что правильной внешней форме кристаллов соответствует правильное внутреннее расположение атомов. Работы Браве, Зонке, Шенфлиса и Е. С. Федорова² указали возможное число комбинаций таких расположений, но эта теория строения вещества оставалась гипотетичной, и только опытом германского ученого Лауэ (Laue) в 1912 г. она была полностью подтверждена, а также и установлена природа рентгеновского излучения. Лауэ пришла в голову гениальная

¹Подробнее о рентгеновских лучах см. новейшие курсы физики и рентгенографии (рентгеноскопии), также: Г. Ке й. Рентгеновские лучи. Перев. ГИЗ. Москва 1928.

²Евграф Степанович Федоров (1853—1919), разработавший известные под его именем кристалло-химический анализ, дающий возможность определять вещество по формам его кристаллов. Создал специальную аппаратуру

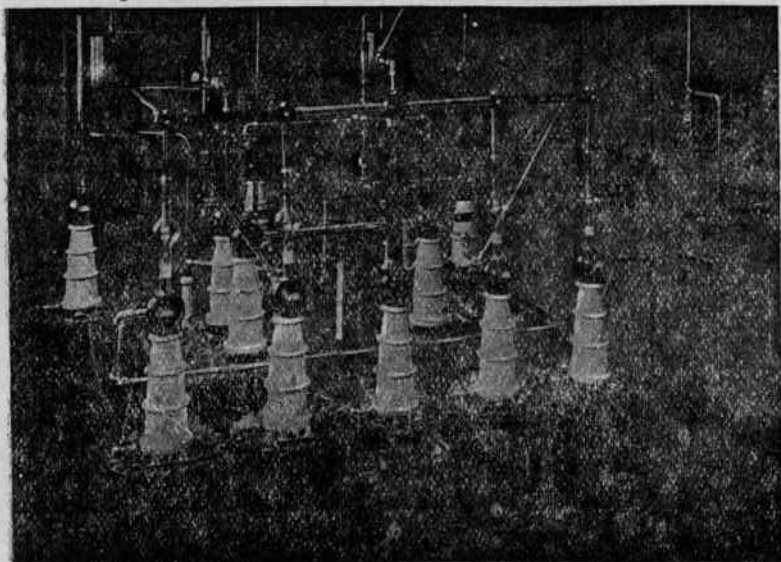


Рис. 35^а. Рентгеновская установка „Supremos“ мощностью на 250 000 V. (ИПМ).



Рис. 35^б. Детали рентгеновской установки „Supremos“. Трансформаторы накала и кенотроны (электронные выпрямители). (ИПМ).

мысль воспользоваться кристаллом, где атомы расположены по пространственной решетке, как дифракционной решеткой для получения явления интерференции рентгеновских лучей. Эту идею осуществили его два ассистента Фридрих (Friedrich) и Книппинг (Knipping). Они взяли узкий парал-

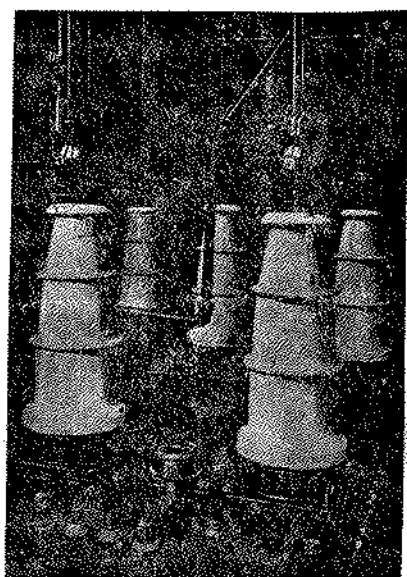


Рис. 35⁴. Детали рентгеновской установки „Supremos“. Выходные изоляторы трансформаторов высокого напряжения. (ИПМ).

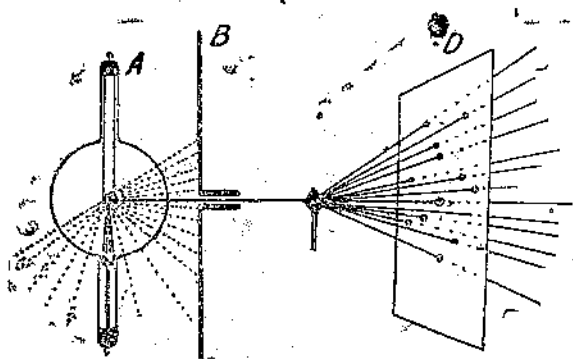


Рис. 35⁵. Схема получения рентгенограммы кристалла по методу Лауэ. А—рентгеновская трубка, В—диафрагма, С—кристалл, D—фотографическая пластинка.

лельный пучок рентгеновских лучей и пропустили их через тонкий кристалл цинковой обманки. Регистрирующим аппаратом была фотографическая пластинка, причем и пластинка и кристалл были установлены перпендикулярно

лучу. После продолжительной экспозиции проявленная пластинка показала первичный пучок, вокруг которого были расположены закономерно и пятна интерференции (рис. 35^б).

После открытия интерференции рентгеновских лучей началось изучение этого явления, с одной стороны, английскими учеными Братгами¹, с другой — нашим ученым Г. В. Вульфом (1868—1925). Они рассмотрели данное явление как отражение от внутренних плоскостей кристалла и независимо друг от друга пришли к выводу закона отражения рентгеновских лучей: $n\lambda = 2d \sin \varphi$ (формула Братга-Вульфа), где λ — длина волны падающего рентгеновского луча, d — кратчайшее расстояние между параллельными одинаковыми внутренними плоскостями кристалла, φ — угол скольжения, т. е. угол между падающим лучом и отражающей плоскостью, а $n = 1, 2, 3$ и т. д. Следовательно закон отражения — избирательный, т. е. луч с определенной длиной волны может отразиться от молекулярной плоскости только под определенным углом.

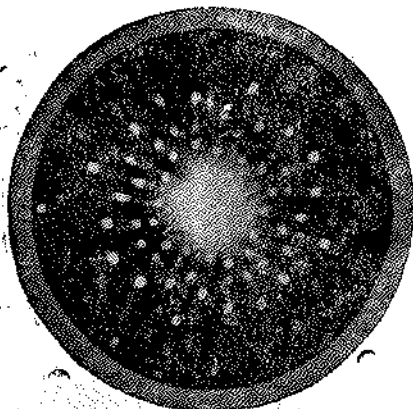


Рис. 35^б. Рентгенограмма кристалла каменной соли. Луч идет параллельно оси четвертого порядка.

Опыт Лауэ привел к необычайно важным следствиям, как-то:

- 1) возникла возможность исследовать структуру твердого вещества,
- 2) родилась рентгеноспектроскопия и новые представления о строении атомов.

Различаются три анализа, которые осуществляются при помощи лучей Рентгена.

1. Микроскопический анализ, который служит для обнаруживания включений в веществе и основывается на местных различиях в абсорбции. Это микроскопическое исследование выполняется с помощью светящегося экрана или же при достаточной толщине вещества с помощью фотографической пластинки. Для этой цели требуется от аппарата и рентгеновской трубки до 200 кВ = (200 000 В) напряжения.

2. Спектральный анализ, базирующийся на явлении, что все атомы при определенных условиях испускают характеристические лучи. Отсюда возможно определение химического состава вещества как в качественном, так в некоторых случаях и в количественном отношении. Доказательство присутствия того или другого элемента в данном соединении следует из наблюдения соответствующих линий или пояса абсорбции в рентгеновском спектре. Этот метод требует особых рентгеновских трубок с переменным антикатодом, на который наносится анализируемое вещество.

¹ Вильям и Лоренц Братг (отец и сын — W. и L. Bragg).

3. Структурный анализ, который базируется на явлении интерференции рентгеновских лучей. Этот анализ позволяет рассмотреть в кристаллическом или поликристаллическом веществе правильное расположение составных частей, образующих отдельный индивидуум, и способ, каким эти отдельные кристаллы комбинируются между собой в так называемую текстуру вещества. Задачей структурного анализа является: 1) объяснить физические свойства вещества его структурой и 2) объяснить данную структуру на основе свойств составляющих его атомов. По отношению же к поликристаллическим веществам задачей является: 1) определить свойства вещества на основе свойств составляющих его кристаллитов, а также по текстуре, 2) объяснить текстуру по характеру роста кристаллитов или на основе первоначальной обработки. Для этого анализа требуются мощные трубки, дающие ток 10—20 мА и главным образом с монохроматическим излучением.

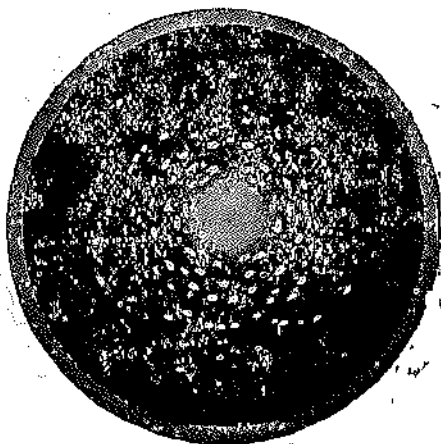
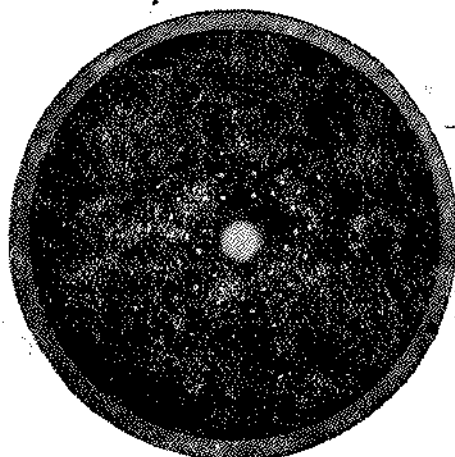


Рис. 35^a. (Узкая диафрагма).

Рис. 35^b. (Широкая диафрагма).

Азотнокислый магний—церий. Луч направлен параллельно осиретельного порядка

Рентгеновские лучи возникают тогда, когда быстро летящие электроны на своем пути встречают твердое вещество и внезапно затормаживаются. При этом вся кинетическая энергия летящего электрона в большей своей части превращается в тепловую энергию, а 1/1000 часть ее обращается в энергию рентгеновских лучей.

Прибор для получения рентгеновских лучей представляет собой стеклянную трубку с двумя впаянными электродами. Один—массивный, связанный с положительным полюсом высокого напряжения—анод, другой—катод, связанный с отрицательным полюсом, имеющий в себе вольфрамовую спираль, накаливаемую током низкого напряжения и не пускающую электроны. Вакуум в трубке очень высок, и ток внутри трубки, как бы ни было высоко напряжение, не проходит при холодном состоянии катода. Это так называемая рентгеновская трубка Кулиджа—электронная, имеющая в настоящее время широкое распространение в отличие от первоначальной, так называемой газовой или ионной, в которой возбудителем электронов являются ионы остаточного газа находящегося в незначительном количестве в трубке.

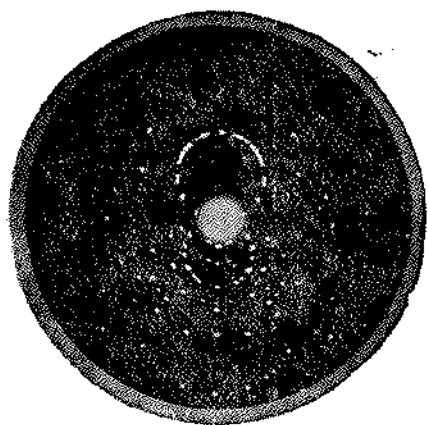


Рис. 35⁹. Минерал эпидот. Луч направлен параллельно плоскости симметрии.

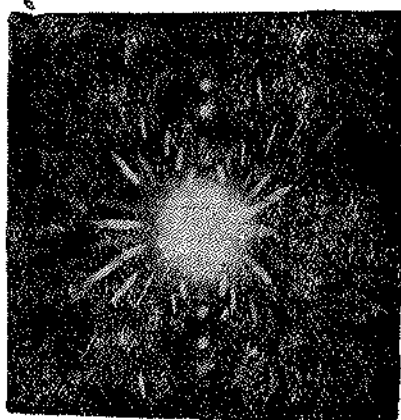


Рис. 35¹⁰. Деформированный кристалл гипса.

Установки, питающие рентгеновскую трубку, представляют собой трансформаторы высокого напряжения с выпрямителями получаемого тока различного типа — либо механическими при помощи синхронного мотора (рис. 31), либо электронными, пропускающими ток только в одном направлении (рис. 35²)

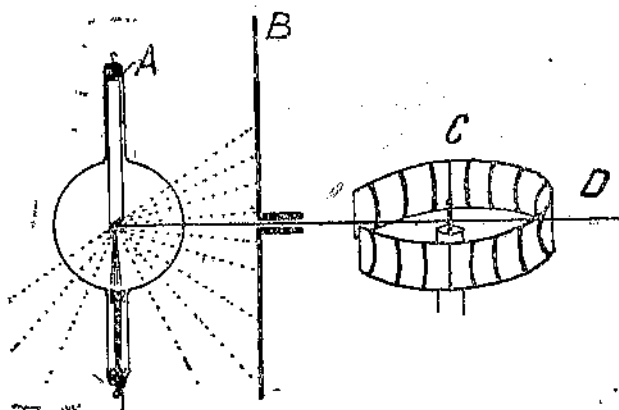


Рис. 35¹¹. Схема получения рентгенограмм порошков кристаллических веществ по методу Дебай-Шерера. А—рентгеновская трубка. В—диафрагма, С—столбик исследуемого порошка, (внутри кольца) D—фотографическая пластинка.

Нормальная рентгеновская установка дает 120 kV (120 000 V). Для просвечивания металлов требуется установка на 220 kV. В настоящее время производится опыты с установками на 450 kV, т. е. 450 000 V и выше.

Рентгеновские установки довольно сложны и требуют весьма внимательных отношений при работе.

Структурный анализ пользуется рядом методов.

а) Метод Лауэ. Схема получения рентгенограммы по этому методу показана на рис. 35⁶. Для этого метода пользуются хорошо образованными кристаллами и трубкой с бeлым излучением, где имеется целый ряд длин волн. При помощи этого метода определяется симметрия данного кристалла. По симметрии лауэграммы различается только 11 классов (а не 32 класса), т. е. те классы гомеэдрики, где присутствует центр симметрии.

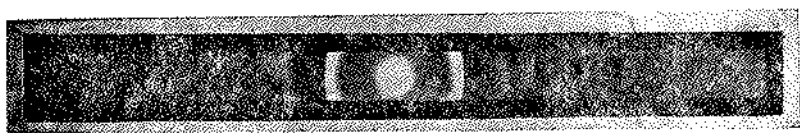


Рис. 35¹². Дебаеграмма графита.

Рис. 35⁶ представляет лауэграмму каменной соли. На ней ясно видно присутствие осей четвертого порядка и 4 плоскости симметрии.

Рис. 35⁷ и 35⁸ представляют лауэграммы азотнокислого магния и церия. Ясно видны ось третьего порядка и 3 плоскости симметрии. Один снимок сделан узким рентгеновским пучком, второй широким. Первый более выгоден для всех расчетов и промеров, но зато и дороже, так как экспозиция для узкого пучка удлиняется.

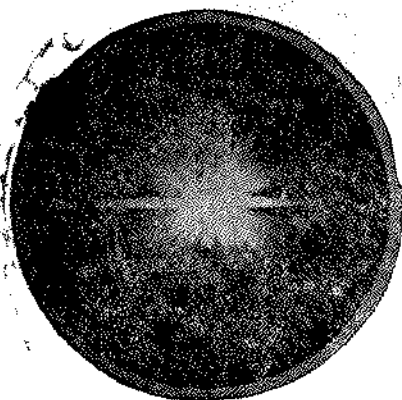


Рис. 35¹³. Гипс волоконистый.
Молибденовый антикатод.

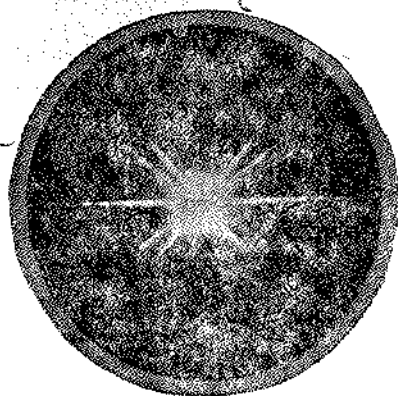


Рис. 35¹⁴. Асбест. Луч направлен
перпендикулярно волокнам.
Антикатод—радий.

Рис. 35⁹ представляет лауэграммы минерала энидота; ясно видна плоскость симметрии.

Для установления класса симметрии и системы иногда необходимо сделать дополнительные лауэграммы, с иных направлений кристалла. Этим же методом определяется ориентировка любого шлифа и можно ориентировать гальку на любое направление.

Исследованиями устанавливаются деформации, которые происходят в монокристаллах; рис. 35¹⁰ дает лауэграмму с деформированного кристалла гипса. Кристалл был согнут на (010).

По лауэграммам определяется комплекс граней, участвующих в отражении, что очень важно при установлении пространственной группы.

6) Метод Дебая-Шерера-Халла (Debye-Scherrer) основывается на том факте, что не только отдельные большие кристаллы, но также и мельчайшие кристаллики порошка при действии монохроматического рентгеновского излучения (определенной длины волны) дают резкие интерференционные линии. Порошок для этой цели прессуется в виде столбика около 1 мм в диаметре. Схема получения рентгенограммы приведена на рис. 35¹¹.

Рис. 35¹² представляет дебаграмму графита.

Задачи, которые могут быть решены этим методом, следующие:

1. Отличить аморфное вещество от кристаллического.
2. Исследовать структуру вещества: определить элементарную ячейку и расположение атомов в ячейке.
3. Определить величину микрокристаллитов.
4. Узнать расположение микрокристаллов в исследуемом образце.

Рис. 35¹³ и 35¹⁴ представляют дебаграмму асбеста, причем видно, что кристаллиты расположены не беспорядочно, а как будто они испытывали вращение в направлении перпендикулярном ходу луча. Это указывает на то, что съемка сделана перпендикулярно волокну асбеста.

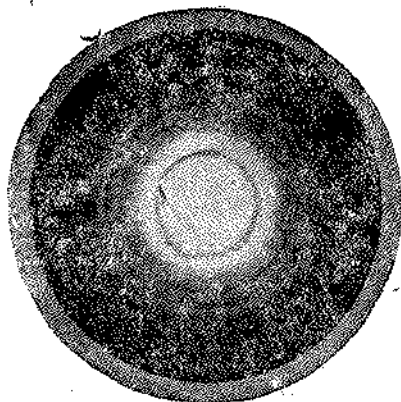


Рис. 35¹⁵. Асбест. Луч направлен вдоль волокна.

Рентгенограмма рис. 35¹³ сделана излучением Mo , а—рис. 35¹⁴—излучением Rd .

Следующая рентгенограмма (рис. 35¹⁵) представляет собой асбест, причем луч был направлен вдоль волокна.

5. Можно обнаружить внутренние натяжения в кристалле.
6. Идентифицировать вещество.

в) Для метода вращающегося кристалла требуется хорошо образованный кристалл и монохроматическое излучение. При съемке неподвижного кристалла монохроматическим пучком рентгеновских лучей в общем случае можно и не получить явления отражения, так как отражение селективное (избирательное) и происходит при определенных углах от плоскостей. Чтобы увеличить возможность участия в отражении большого количества граней, кристалл вращают, т. е. этим самым изменяют углы между падающим лучом и отражающими плоскостями. Явление интерференции наблюдается на фотографической пластинке, поставленной перпендикулярно направлению луча и оси вращения кристалла, или же на пленке, поставленной параллельно оси вращения кристалла.

Метод Брэгга отличается от предыдущего метода тем, что здесь регистрирующим аппаратом является не фотографическая пленка, а ионизационная камера, наполненная каким-либо газом. Эти последние два метода позволяют провести полный структурный анализ, и только они одни применимы в случае исследования веществ низких степеней.

- Г. Кэп Рентгеновские лучи. (Kaue G. W. C. X-Rays). Гиз. М.-Л. 1928.
- А. К. Болдырев, проф. Кристаллография. Кубуч. Л. 1930. § 97—106 (Рентгенометрия кристаллов.)
- И. Ф. Григорьев. Минералогрифическое исследование руд. „Изв. Геолог. комитета“. Т. 45. № 1. 1926.
- G. W. G. Wyckoff. The structure of crystals. 1924.
- J. Orsel. Les méthodes d'examen microscopique des minerais métalliques „Bulletin de la Société Française de Minéralogie“, V. 48. 1925. (272—361).
- Р. В. Джемс Введение в рентгеновский анализ. (Перев.) ГНТИ. М. 1932.
- Сборник работ по рентгенотехнике. (Инст. прикладн. минерал.) НКТП. Труды научн. послед. институтон. Вып. 55. М.-Л. 1932.

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛОВ В ПРИРОДЕ

Минералы, являющиеся составными частями той или иной горной породы, называются породообразующими минералами. Можно различать: 1) минералы массивных кристаллических горных пород, связанные с явлением медленного застывания в глубинах расплавленных магм; 2) минералы вулканических горных пород, для образования которых характерно быстрое застывание излившихся на поверхность лав; 3) минералы осадочных горных пород и наконец 4) минералы метаморфических пород, в первую очередь минералы кристаллических сланцев и гнейсов и минералы контактов.

Горные породы изучаются наукой петрографией, куда входит также изучение физических и химических свойств породообразующих минералов.

В зависимости от формы, в которой минералы находятся в той или другой горной породе, можно различить следующие основные типы.

Минералы, застывшие в кристаллической массивной породе в виде неправильных сплошных масс, часто больших размеров, называемых штоками. Таковыми бывают штоки магнитного железняка и т. п. Примером штоков могут служить массы магнитного железняка горы Благодати на Урале, выступающие на восточном ее склоне.

Линзы. Линзой называется тот же шток, но только сплюснутый обычно в направлении давления. Понятие о форме линзы дает рис. 36, изображающий линзы кварца в массе рудной жилы.

В осадочных горных породах линзой называется сплюснутый пласт.

Жилы. Трещины в земной коре, заполненные различными минералами, носят название жил. Для группы массивных кристаллических горных пород характерны жильные выделения рудных минералов. Жилы кварца, полевого шпата, слюды в гранитных магмах, обычно приуроченные к газовым выделениям и потокам в магмах, носят название перматитовых жил.

Перматитовая жила с апатитом изображена на рис. 241, а на рис. 172 мы видим жилу в сланце, в которой вместе с мышьяковым золотчаном и кальцитом встречается урановая смоляная руда — одна из важнейших рудневых руд.

Наконец на рис. 114 мы видим фотографию жил магнетита в зме-евике.

В массивных кристаллических горных породах часто также наблюдаются выделения минералов в виде включений, а также в сферолитовых и порфировых формах. Так например часто встречаются включения пирита в гранит, включения жил рутила в кварц.

Из сферолитовых выделений обычны выделения халцедона и агата в базальтах.

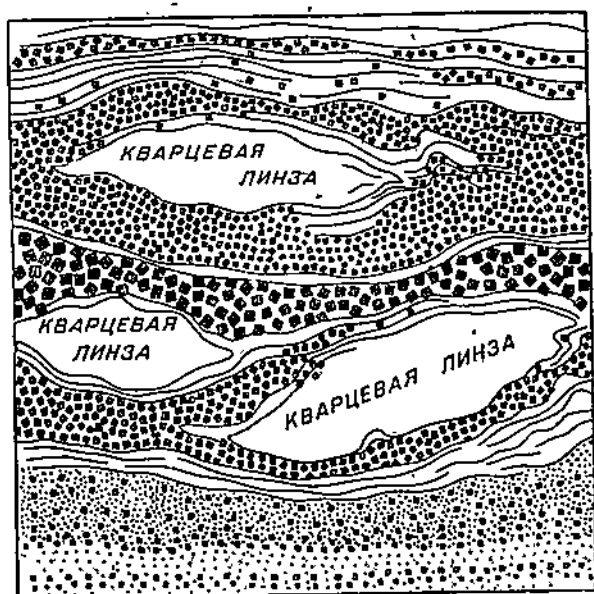


Рис. 36. Линзы кварца в рудной жиле.

Для осадочных и метаморфических горных пород характерны следующие формы нахождения минералов: пласты, слои, гнезда, жилы и прожилки, конкреции, натеки, вкрапления, иллеты, дендриты (тонкие пленки, влившиеся в трещины пустот, напоминающие по своему внешнему виду ветвящиеся растения).

Примером пластов могут служить пласты самородной серы близ Джирдагента в Сицилии, залегающие на кремнистых известняках (рис. 48), или пласты карналита в Стассфуртском месторождении калийных солей (рис. 82).

Характерные гнезда лимонита в охристых глинах в средней полосе европейской части СССР изображены на рис. 107.

Результаты механического выветривания минералов в горных породах обычно известны в виде песков, россыпей, конгломератов и брекчий.

Понятие об образовании россыпей золота при разрушении кварцевой золотоносной жилы, залегающей в гранитах, дает рис. 51.

Если угловатые, неокатанные обломки пород сцементированы и образуют плотную массу, она называется брекчией; если такая масса состоит из окатанных обломков, сцементированных в одно целое, она носит название конгломерата.

Когда кристаллы ограничены плоскостями со всех сторон и свободно лежат в породе, то он называется вросшим в породу. Так часто гранаты являются вросшими в слюдяной сланец; магнитный железняк — в хлоритовый сланец и т. п. Эти кристаллы можно выбить из породы (если порода не очень твердая) совершенно целыми.

Наоборот, кристаллы настолько выбиты нельзя, так как такие кристаллы своим концом прикреплены неподвижно к породе. Таковы например часто кристаллы горного хрусталя, кристаллы кальцита и т. д.

Как вросшие, так и вросшие кристаллы встречаются или в одиночку, или чаще целыми группами, дружинами. Группы кристаллов, вросших на стенках округлой пустоты, носит название мёды. Кристаллы же, вросшие на плоской поверхности породы, называются щеткой.

Пораздо чаще минералы представляют собой скопления небольших кристалликов, зерен, образующих минеральную массу. Минеральные массы бывают различного сложения.

Зернисто-кристаллическое сложение: масса сложена из приблизительно одинаковых кристаллических зерен, например, мрамор. При величине зерен до 2 мм масса будет мелкокристаллическая; свыше 2 мм — крупнокристаллическая.

Плотное сложение: зерна, слагающие массу, различны только под микроскопом. Для глаза масса представляется совершенно компактной. Пример: литографский камень.

Землистое сложение: землистые массы состоят из легко рассыпающихся мелких комочков, в свою очередь сложенных или из мелких зерен (как например различные глины), или из тонких чешуек (как каолин).

Волокнистое сложение: масса слагается из тонких, сильно вытянутых в длину образований, напоминающих растительные волокна. По взаимному соотношению волокон различают следующие типы: параллельноволокнистые массы, например асбест; лучистоволокнистые, например вавеллит, некоторые арагониты; радиальноволокнистые, как актинолит; спутанноволокнистые, как например горная кожа.

Шестоватое сложение: масса слагается из образований, имеющих форму шестиков. Примером могут служить скопления эпидота.

Чешуйчатое сложение: масса состоит из скоплений мелких чешуек, расположенных без всякого порядка. Пример: тальковый камень.

Сланцеватое сложение: составляющие массу минерала мелкие пластичные частицы располагаются в массе параллельными рядами. Пример: многие слюды, красные железняки.

Скорлуповатое сложение: минеральная масса состоит из скорлуп, плотно облегающих одна другую. Пример: многие сферосидериты, паточные формы известняка и т. п.

Оолитовое сложение: этим названием обозначают строение масс, сложенных из отдельных тел более или менее правильной сферической формы. Характерными примерами могут служить оолитовый известняк и оолитовые железные руды.

Игличастое сложение характеризуется рядом пустот, часто похожих по форме на соты, и характерно для минералов, подвергшихся вторичным процессам размыwania и выветривания.

На рис. 37 представлен лимонит, образовавшийся в верхней части разрушенной жилы серного колчедана.

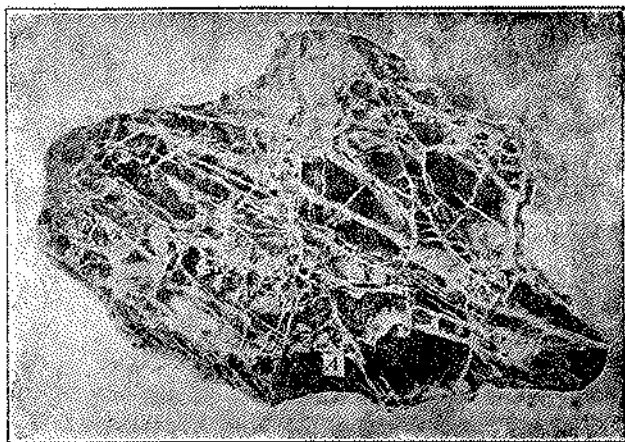


Рис. 37. Ячменстая структура. (Лимонит.)

Различают кроме того так называемые паточные формы отложений различных минералов, главным образом выделяющихся из водных растворов.

Типичными для таких минералов являются: малахит (рис. 121), лимонит (рис. 249 изображает характерные сталактиты лимонита на потолке штольни) и особенно кальцит (рис. 38).

Кроме этого надо отметить группу закономерных физических смесей минеральных тел. Они образуются всегда, когда несколько составных частей той или иной горной породы одновременно выделяются в твердом состоянии или из расплавленной магмы, или из растворов. Так при определенной точке плавления из гранитной магмы при окончательном застывании мажочного раствора часто выделяется кварц и полевошпат во взаимном прорастании, имеющие определенный вид, напоминающий письмо, по форме подходящее к восточной или японской. Эта структура носит название негмитовой структуры, а наиболее ярко выраженные образцы подобных образований известны под именем европейского или восточного камня (рис. 39).

Часто сростки отдельных микроскопически мелких неделимых рас-
полагаются в отношении друг к другу с известной правильностью.
Такие сростки обычны между альбитом или ортоклазом; структура
этих кристаллов называется пертитовой. Очень обычны среди си-

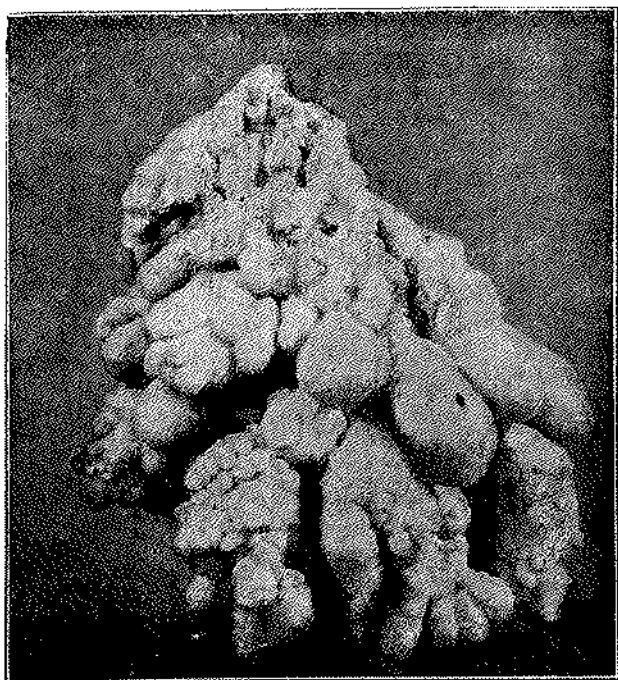


Рис. 38. Натечные формы кальцита. Тюя-Муюн,
Фергана. (Минерал. музей I МГУ.)

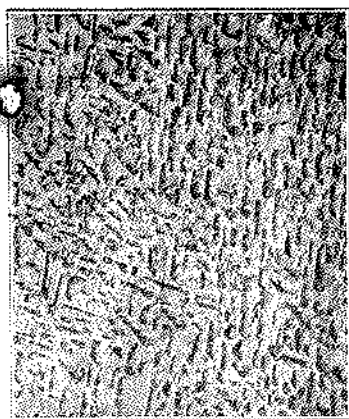


Рис. 39. Пегматитовая структура. Пегматит. Сев. Америка.

ликалов и алюмосиликатов зонарные структуры, где кристаллы состоят из тончайших оболочек, обволакивающих друг друга со всех сторон.

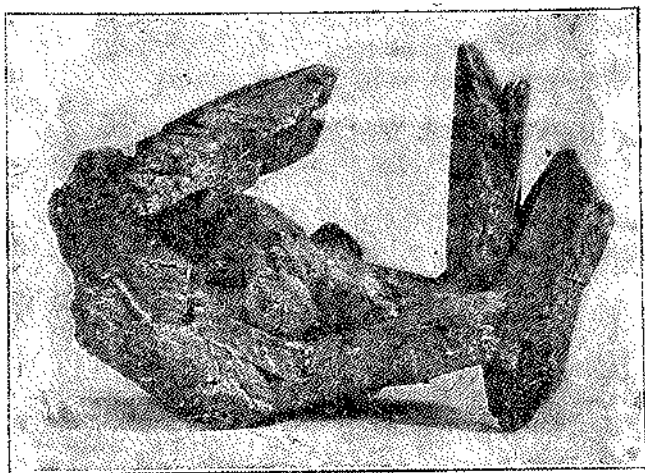


Рис. 40. Пойкилитическая структура (псевдоморфоза песчаника по гипсу). Ст. Репетек, Туркменистан. (Минерал. музей I МГУ.)

Наконец различают еще и пойкилитическую структуру, заключающую собой механический захват постороннего минерала или горной породы при кристаллизации. Так например, кальциты из Фонтанебло близ Парижа обладают формой и физическими свойствами кальцита, хотя они на $\frac{2}{3}$ состоят из песка. Такое же явление наблюдается и для гипса в Туркменистане близ ст. Репетек, Среднеазиатской ж. д., где встречаются кристаллы гипса, состоящие большей частью из песка (рис. 40).

ПОЛИМОРФИЗМ

Если при одном и том же химическом составе вещество обладает способностью образовывать две или несколько разновидностей, отличающихся друг от друга химическими и физическими свойствами, то это свойство вещества называется полиморфизмом. Так мы имеем алмаз кубической системы, графит ромбоэдрической системы, представляющие собой полиморфные разновидности углерода. Минерал шпидит кубической системы, а марказит того же состава ромбоэдрической системы и т. п.

Полиморфизм объяснен в недавнее время изучением структуры кристаллов рентгеновскими лучами, установившими в полиморфных минералах различное расположение атомов в пространстве.

На рис. 41 и 42 представлено внутреннее строение алмаза и графита, как известно, имеющих одинаковый химический состав, но сильно различающихся по своим физическим свойствам.

Из сопоставления этих двух схем становится ясной разница их физических свойств, зависящая от расположения атомов.

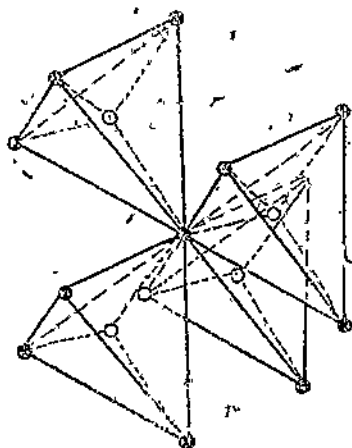


Рис. 41. Расположение атомов углерода в алмазе.

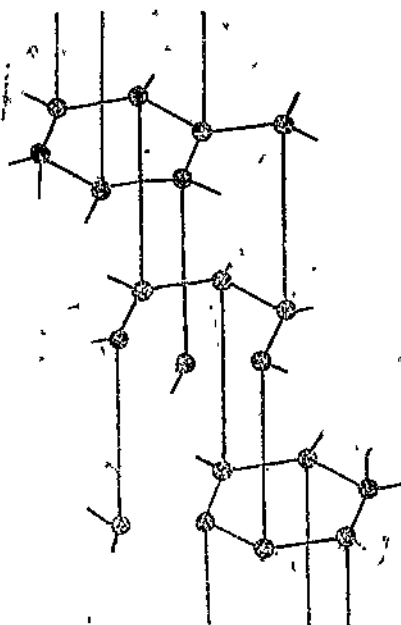


Рис. 42. Расположение атомов углерода в графите.

ХИМИЯ МИНЕРАЛОВ

Химический состав минерала определяется его количественным анализом. Методы анализа минералов хорошо разработаны в ряде руководств. Сводки анализов минералов приведены у Дэна (Dana) в его основном курсе «The system of Mineralogy», а также в многотомном справочнике Дёлтера (Dölter) по химии минералов¹. Анализы имеют своей целью установление формулы минерала.

Вычисление формулы из анализа. Когда химический анализ данного минерала укажет, какие элементы и в каком количестве входят в его состав, то легко вывести его формулу. В самом деле, пусть соединение будет из трех элементов, причем соответствующие веса этих трех элементов будут относиться между собой, как числа M , N , P .

Если A , B , C , будут соответствующими атомными весами элементов, то получим: $M = mA$, $N = nB$, $P = pC$, причем m , n и p будут целые числа. Эти числа легко определить из отношений:

¹ Dölter. Handbuch der Mineralchemie. I. B. 1912. II. B. 1. Hälfte 1914. II. B. 2. Hälfte 1917. III. B. 1. 1918, 1919.

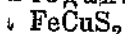
$$m = \frac{M}{A}; n = \frac{N}{B}; p = \frac{P}{C}$$

формула же соединения составится из знаков трех элементов с показателями, соответственно равным m , n и p .

Так медный колчедан по анализу состоит из 30,47% железа, 34,40% меди и 35,87% серы; поэтому частные от деления этих чисел на атомные веса будут:

$$\frac{30,47}{56} = 0,544; \frac{34,40}{63,5} = 0,541; \frac{35,87}{32} = 1,120$$

Эти три частных числа относятся между собой, приблизительно как числа 1:1:2,06, т. е. как 1:1:2. Поэтому можно допустить, что формула медного колчедана должна быть выражена так:

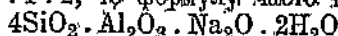


Остается проверить эту формулу, выражающую лишь отношение весов. Это не трудно сделать, если бы, как мы высказали выше, можно было определить плотность паров медного колчедана. Но большинство минералов не поддается такому способу проверки. Поэтому их формулы оказываются приблизительно, и выражающие их знаки всегда могут быть помножены на один и тот же коэффициент, если к этому приводит сходство данного минерала с другим, плотности паров которого известны, или если того требует исследование некоторых химических свойств. По этой причине многие минералоги предпочитают для медного колчедана формулу $\text{Fe}_2\text{Cu}_2\text{S}_4$, так же, как для трустита (мышьяковисто-серебряной обманки) допускают иногда формулу $\text{Ag}_6\text{As}_2\text{S}_6$ вместо Ag_3AsS_3 , которая однако проще.

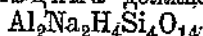
Очень часто вместо атомных формул, приведенных выше, употребляют другие, в которых все входящие элементы распределены уже в виде определенных соединений. Так анализ аналити́ма из долины Фасса дает:

Кремнезема	55,12: 60 = 0,9187
Глинозема	22,99: 103 = 0,2232
Оксид натрия	13,53: 62 = 0,2182
Воды	8,27: 18 = 0,4594

Так как отношение этих четырех частных приблизительно равно отношению чисел 4:1:1:2, то формулу можно писать так:



Однако такая группировка составных элементов вполне искусственна, и формула аналити́ма должна быть написана так:



Если два элемента могут замещаться один другим путем изоморфизма, то сгруппированные знаки их замещают в скобках, отделяя один от другого запятыми. Так (K, Na) указывают, что два атома щелочной группы могут быть представлены безразлично или каппеи или натрием.

Изоморфизм. Химические соединения, которые имеют сходный химический состав и приближаются в формах, весьма близких по

своему строению, называются изоморфными, самое же явление называется изоморфизмом. Так кальций, барий, стронций и свинец образуют изоморфные минералы группы арагонита:

Арагонит	CaCO_3
Витерит	BaCO_3
Стронцианит	SrCO_3
Церуссит	PbCO_3

или другую группу также изоморфных сернокислых минералов:

Ангидрит	CaSO_4
Барит	BaSO_4
Целестин	SrSO_4
Англезит	PbSO_4

Изоморфные смеси получают при кристаллизации как из водных растворов, так и из расплавленных масс.

Прекрасным примером изоморфизма может служить ряд плевконалитовых полевых шпатов — плагиоклазов, представляющих собой изоморфные смеси крайних членов этого ряда — *альбита* — Ab, по формуле $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$, и *анортита* — An — $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ в различных пропорциях:

Альбит	0 — 5%	An ¹
Олигоклаз кислый	5 — 15%	»
Олигоклаз	15 — 30%	»
Андезин	30 — 45%	»
Лабрадор	45 — 70%	»
Витовнит	70 — 95%	»
Анортит	95 — 100%	»

Изоморфизм этого ряда подтверждается постепенным, закономерным изменением физических и оптических свойств плагиоклазов от альбита до анортита.

Так средний показатель преломления n повышается постепенно.

Альбит	1,532
Олигоклаз кислый	1,538
Олигоклаз	1,543
Андезин	1,549
Лабрадор	1,558
Витовнит	1,569
Анортит	1,583

Другие же константы, как сила дубл-преломления и угол между оптическими осями $2V$, также меняются по некоторым кривым, то повышаясь, то понижаясь.

Другим примером может служить изоморфный ряд пистацит-клинописит, облада формула которого $\text{Al}(\text{SiO}_4)_3(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{Ca} \cdot \text{CaOH}$. Здесь Fe изоморфно замещает Al.

Пистацит очень богат Fe; клинописит почти не содержит его.

В зависимости от увеличения процента содержания Fe изменяются оптические свойства отдельных членов этого ряда: а) увели-

¹ L. Duparc et M. Reinhard. La détermination des plagioclases dans les coupes minces. 1924.

зается показатель преломления, сила дупреломления, плеохроизм и угол между оптическими осями.

Существует еще целый ряд групп изоморфных смесей: доломит — магнезит, тремолит — актинолит, прониерит — рибекит, энстатит — гиперстен, диоксид — педенбертит, клиноэнстатит — диоксид и т. д., в которых с изменением химического состава меняются оптические свойства.

Согласно учению Вавт-Гоффа о твердых растворах и последним исследованиям об изоморфизме можно рассматривать изоморфные смеси как такие твердые растворы, в которых растворитель и растворенные тела принадлежат к одному кристаллическому классу.

*Изоморфные ряды элементов*¹. Элементы, дающие соединения, аналогичные по формуле и кристаллическому классу, можно расположить в следующие ряды:

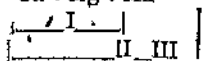
ТАБЛИЦА ИЗОМОРФНЫХ РЯДОВ ЭЛЕМЕНТОВ²
(для земной коры)

1.	Al . Fe . Cr	Mn	Ti . B . (V)	(Ce) . V
	I			
	II			
	III			
2.	Ba . Ca . Sr	Pb		
	I			
3.	Br . J . Cl	F . OH		
	I			
	II	III		
4.	V . P . As . Sb	I		
5.	Bi . Sb . As	II и III		
6.	NH ₄ . K . Na . Cs . Rb	Tl . Li . H		
	I	II — III		
7.	W . Mo	I		
8.	Ge . Sn	I		
9.	Mg . Mn . Fe . Zn . Be? . Cd . Cu . Ni . Co			
	I	II	III	
10.	Au . Ag . Hg . Cu . Pb . Tl			
	III	II		
11.	Pt . Fe . Pd . Jr . Rh . Cu	III		
12.	Os . Ru . Rh . Jr			

¹ В. И. Вернадский. Минералогия. 1908—1911.

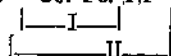
² Римские цифры обозначают: I — пояс выветривания; II — зону анаморфизма; III — зону магмы.

13. Ca . Mg . Mn



14. O . F . OH } III?

15. Co . Fe . Ni



16. Si . Ti . Zr . Sn . Mn . Th } II III

17. Nd . Ta

18. S . Se . Te } II III

Изоморфные ряды имеют большое значение в минералогии, ибо они позволяют предвидеть химический состав неопределенных химических соединений. Зная качественный неполный состав данного минерала, мы всегда можем предвидеть, какие элементы в нем должны еще искать: надо искать элементы того же изоморфного ряда. С другой стороны, зная химическую формулу хотя бы одного тела, входящего в состав данного минерала, мы знаем и формулы всех химических тел изоморфной смеси, образуемых элементами, изоморфными с элементами данного тела. Далее нахождение в данном минерале химического элемента, не изоморфного с элементами данного тела, входящего в изоморфную смесь, заставляет предполагать существование в минерале изоморфных подмесей новой формулы.

Изоморфные ряды применяются на каждом шагу: без них теперь нельзя обходиться при анализе минералов и при толковании этих анализов.

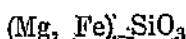
Приведем несколько примеров.

1. Положим, что мы имеем природное магнезильное соединение — MgSiO_3 . Соединение это устойчиво в областях II и III. Следовательно в этом теле можно с успехом искать и все остальные члены группы изоморфного ряда Mg и Si (ряды 9, 13 и 16), т. е. Fe, Ni, Co, Mn, Zn, может быть Ca, Ba, Sr, Pb и т. д. Этим путем были найдены целый ряд элементов, находящихся в виде изоморфной подмеси к данному природному химическому соединению.

2. Возьмем другой химический элемент Sn. Для Sn в настоящее время известно два типа месторождений: во-первых, Sn встречается в природе в виде *оловянного камня*, SnO_2 и, во-вторых, в виде солей SnS_2 . Кроме того Sn находится в природе в виде небольшой подмеси к силикатам, алюмосиликатам, титалоникобатам, т. е. принадлежит к изоморфному ряду Si: Si, Ti, Zr, Sn, Mn. Анализируя минералы этих рядов, мы иногда можем найти небольшие примеси Sn. Весьма вероятно, что SnO_2 и соли SnS_2 представляют вторичные продукты, явившиеся результатом химических реакций, связанных с этой ничтожной изоморфной подмесью Sn к силикатам и алюмосиликатам магмы.

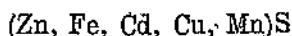
Способы написания формул изоморфных смесей. Пользуясь понятием изоморфных рядов, вводится упрощение в химические формулы изоморфных смесей. Начнем с более простых примеров, когда компоненты изоморфной смеси аналогичны по формуле.

Эксклатит представляет собой изоморфную смесь $MgSiO_3$ и $FeSiO_3$, т. е. $pMgSiO_3 + qFeSiO_3$. В подобных случаях состав изоморфной смеси мы пишем так:



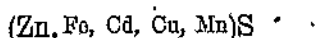
т. е. для изоморфной смеси элементы одного и того же изоморфного ряда будем брать за скобки, отделяя их запятыми.

Подобные формулы иногда бывают очень сложны. Например полная формула цинковой обманки выразится до крайней мере так:

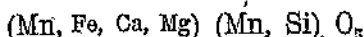


Если же мы состав этого тела напишем в виде ZnS , то это не будет формулой минерала, а представит лишь формулу господствующего соединения — растворителя изоморфной смеси.

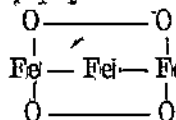
Необходимо заметить, что на первом месте мы всегда будем писать растворитель; растворитель обыкновенно составляет от 60—95% и более всей массы минерала, остальное — примеси. Иногда растворитель пишут крупным шрифтом, а растворенные тела — мелким. При таком способе обозначения химического состава минералов формула цинковой обманки будет представлена в таком виде:



Формула браунита следовательно будет написана в таком виде:



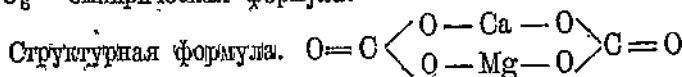
Структурные формулы. Если в формуле кроме количественного состава выражена и связь элементов друг с другом, то эта формула называется структурной. Связь выражается черточками, и количество связей соответствует количеству черточек. Так обычная формула магнетита будет $FeO \cdot Fe_2O_3$, структурная же формула



Структурные формулы в минералогии почти не проверены опытным путем и в значительной степени произвольны. Вот некоторые структурные формулы:

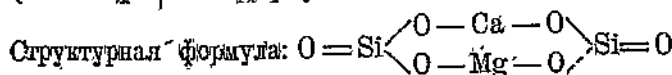
Доломит (по Брауну):

$CaMgC_2O_6$ — эмпирическая формула.



Диоксид (по Петерсу):

$CaMgSi_2O_6$ — эмпирическая формула



Касситерит SnO_2

$\text{O}=\text{Sn}=\text{O}$

Кварц SiO_2



Парагенезис. Исключительную важность для генезиса минералов имеет изучение совместного нахождения минералов. Это совместное нахождение — ассоциация минералов — все геологические и химические отношения минерала к окружающей среде и называются его парагенезисом (А. Брейтгаупт).

Зная происхождение одного члена минеральной ассоциации, мы можем, исследуя геолого-химические отношения его к спутникам, определить его генезис. Так если мы находим гипс в пластах вместе с каменной солью, то мы узнаем, что он образовался из химических осадков концентрированных соляных рассолов лагун и озер.

Когда мы видим кусок лимонита с остатками блестящего пирита, то легко восстанавливаем происхождение его путем окисления сернистого железа, пирита, в условиях пояса выветривания.

Помимо общих условий образования минерала по парагенезису можно установить относительное время его образования, т. е. определить, раньше или позже образовались различные минералы данной ассоциации. Так в белых кристаллах лейцита нередко можно встретить мелкие черные кристаллики авгита, включенные внутри кристалла. Отсюда заключаем, что в данной изверженной породе составная часть ее, авгит, является первой генерацией, т. е. первым образовывался; вторым образовывался лейцит и наконец третья генерация — минералы самой изверженной породы.

Или возьмем кристалл кварца, проросший иглами рутила, так называемый «волосалик». Что образовалось ранее? Очевидно, что TiO_2 (рутил) образовался ранее, чем SiO_2 (кварц).

Парагенетическое изучение минералов указывает нам часто на ход химических процессов при видоизменениях минералов в различных зонах земной коры. Так ассоциации водных кислородных соединений элемента, а также углекислых и сернокислых, характерны для пояса выветривания и для зоны катоморфизма вообще.

Ассоциация фторсодержащих минералов с кварцем и полевыми шпатами указывает на пневматолитические процессы, и характерна для пермалитовых жил. Ассоциации минералов настолько постоянны и закономерны, что по коллекционному образцу минерала парагенетически можно определить его месторождение.

Псевдоморфозы. Псевдоморфозой в широком смысле называется минерал или группа минералов, обладающая наружной кристаллической формой другого минерала отличного от его состава.

Псевдоморфозы образуются в результате метасоматизма. Во многих метасоматических месторождениях более крупные кристаллы исходного минерала замещены многочисленными более мелкими кристаллами, причем новые кристаллы группируются так, что сохраняется прежняя наружная форма. Таким образом наружная форма псевдомор-

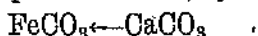
фозы не соответствует ее внутреннему строению и составу. Так называемые окаменелости представляют псевдоморфозы с наружной формой, свойственной растительным и животным организмам. Определение псевдоморфозы дается таким образом: говоря «псевдоморфозы фосфорита по дереву», мы подразумеваем дерево, превращенное в фосфорит.

Обычно все органические остатки какого-нибудь пласта превращаются в одно и то же соединение. Псевдоморфозы образуются массами, нередко распространяясь на целую породу, на пространстве десятков квадратных километров.

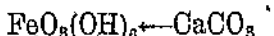
Псевдоморфозы принято делить на химические и механические, но в подавляющем большинстве случаев механические можно свести к химическим псевдоморфозам.

Химической псевдоморфозой называется такая, в которой имеется химическая связь между минералами, образующими псевдоморфозу, и первичным минералом. Реакция большей частью проходит сложно. Например в природе часто встречается псевдоморфоза, называемая окаменелым деревом. Хотя в такой псевдоморфозе дерево вполне сохраняет самую тонкую свою структуру, от органического вещества не осталось и следа — оно перешло в опал ($\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$).

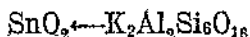
Такие псевдоморфозы, где одно вещество вытесняется другим, называются псевдоморфозами вытеснения. Из минералов часто встречаются псевдоморфозы сидерита по кальциту:



лимонита по кальциту:



Кроме того нередко псевдоморфозы кварца по кальциту, гематита по кальциту. Иногда процесс замещения бывает очень сложный, например в псевдоморфозе касситерита по ортоклазу:

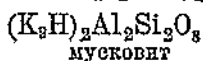


Вторым типом псевдоморфоз являются псевдоморфозы преобразования. Типичным примером может служить пирит. Блестящие кубики пирита вблизи кислородной поверхности переходят постепенно в лимонит. Лимонит, будучи аморфным минералом, встречается в сложных кристаллах. Процесс идет так:

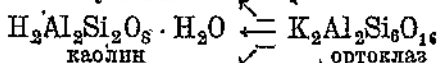


лимонит промежуточный продукт пирит

Ортоклаз часто переходит в ряд других образований в зоне катаморфизма, давая внешние формы других минералов:

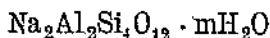


мусковит



каолин

ортоклаз



анальцит

Процессы химических изменений, направление этих процессов, история данного минерального вида — все это хорошо выясняется при изучении псевдоморфоз.

Твердые растворы. Соединения переменного состава. Твердым раствором называется однородное твердое вещество, состоящее из нескольких составных частей, количество которых переменное; эти компоненты не образуют между собой химических соединений, по крайней мере резко выраженных.

Примером твердого раствора может служить хлористый аммоний, NH_4Cl , который при кристаллизации может впитывать хлорид железа FeCl_2 , примеси которого придают кристаллам хлористого аммония желтую окраску. Пример твердых растворов пигмента находим также в зависимости, существующей между изменчивой окраской многих минералов и присутствием посторонних веществ.

Понятие о твердом растворе заключает в понятие об изоморфизме. Изоморфные смеси представляют лишь частный случай твердых растворов. Обобщающим понятием является и понятие о твердых фазах переменного состава; в него входят как химические тела с переменным составом, компоненты которых не вступают в ясно выраженные химические соединения, так и химические соединения с различным соотношением между количествами компонентов.

Состав многих минералов весьма значительно колеблется и нередко не может быть выражен рациональными структурными формулами. Примером могут служить минералы группы нефелина, слюды и другие силикаты, имеющие почти всегда определенную кристаллическую форму, но колеблющийся состав, а также гидротит и лимонитный колчедан.

Из методов исследования веществ переменного состава можно упомянуть способы измерения кристаллов и сравнения их кристаллографических констант. Исследования положений спайности, оптических и других свойств, которыми занимается кристаллография, дают возможность более точного суждения о кристаллографическом изоморфизме.

Физико-химический анализ состоит в измерении разнообразных физических и химических свойств данного вещества, причем главными предметами изучения служат: температура плавления, удельный вес, растворимость, электропроводность и другие свойства.

Результаты этих измерений графически изображаются на диаграммах, примером которых могут служить нижеприведенные (рис. 42а и 42б).

Относительно твердых фаз переменного состава и теории структуры кристаллов существует ряд гипотетических предположений, но точных экспериментальных данных пока нет. В этом вопросе большую роль должна сыграть рентгенометрия кристаллов.

Понятие о коллоидах. Коллоиды представляют дисперсные гетерогенные системы со степенью дисперсности между 1 и 100 μ (микрометры). Названием «гетерогенной системы» обозначается смесь двух или нескольких различных химических тел, не образующих химического соединения и образующих молекулы двух или нескольких разных видов. «Дисперсная гетерогенная система» обозначает совокупность двух

или нескольких химических веществ, из которых одно находится в виде мельчайших частиц, расположенных беспорядочно по отношению друг к другу; оно называется «дисперсной фазой», тогда как другое носит

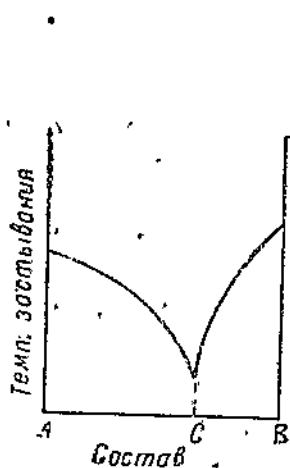


Рис. 42а. Диаграмма температур застывания сплава, состоящего из переменных количеств двух компонентов, не дающих друг с другом ни твердых растворов, ни химических соединений, но дающих так называемую эвтектику, т. е. легкоплавкую смесь, отвечающую приблизительно составу; 40% А и 60% В. (По Болдыреву).

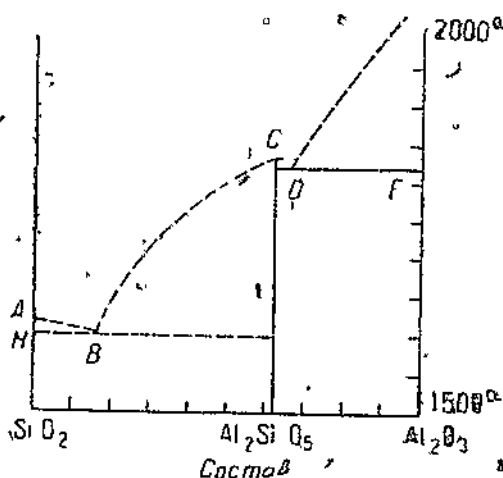
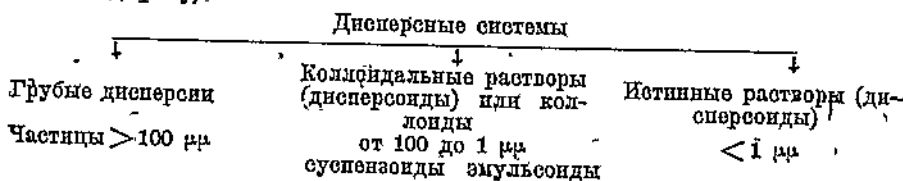


Рис. 42б. Диаграмма температур плавления двойной системы $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$, дающей одно химическое соединение состава Al_2SiO_5 (62,85% Al_2O_3 и 37,15% SiO_2 —минерал силлиманит с точкой плавления 1816°). Имеются также две эвтектики. Одна в точке В, т. е. при составе смеси 12% Al_2O_3 + 88% SiO_2 , другая в точке D, т. е. при составе 65% Al_2O_3 + 35% SiO_2 . Смеси этих составов плавятся ниже, чем соседние с ними в обе стороны по составу. (По Болдыреву).

название «дисперсионной среды». Если частицы дисперсной фазы крупнее 100 μ , мы имеем (по Веймарцу) грубые дисперсии. Если частицы дисперсной фазы мельче 100 μ , они приближаются уже к молекулам и понам и дают истинные (молекулярные) растворы.

Схему дисперсных систем можно представить в следующем виде (по Болдыреву):



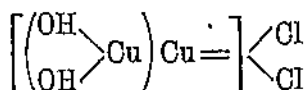
Особое значение имеют два вида дисперсоидов, имеющих твердую дисперсионную фазу и жидкую дисперсионную среду, а именно так называемые золи и гели. Золь представляет тончайшую суспензию твердого вещества в дисперсионной среде. Гель представляет густую, состоящую из высокодисперсных кристаллических зерен. В том случае,

если дисперсионной средой служит вода, мы имеем гидрозоли и гидрогели.

Твердые соли играют существенную роль при определении сущности окраски многих минералов. Твердые гели имеют значение потому, что все действительно аморфные минералы являются твердыми гелями.

Комплексные соединения. Учение о комплексных соединениях разработано главным образом А. Вернером¹. Сущность его состоит в том, что многие элементы обладают способностью образовывать комплексные молекулы и ионы путем присоединения к себе других атомов или молекул. Элементы, входящие в состав комплексов, теряют многие свои индивидуальные свойства.

Для примера можно указать следующее комплексное соединение: Атакамит $\text{Cu}(\text{OH})\text{Cl} \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$. Вернер дает следующее строение этого минерала:



Каждая из трех групп $\begin{pmatrix} \text{OH} \\ \text{OH} \end{pmatrix} \text{Cu}$ занимает два координационных места.

Рентгенометрические исследования кристаллов подтверждают такую структуру комплексных соединений.

КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Классификация современной минералогии устарела. Она совершенно не отвечает природе минералообразования. В одну группу она включает минералы, которые в природе лежат совершенно в разных и часто диаметрально противоположных условиях происхождения. Алмаз, выделившийся в вулканических глубинах и связанный с процессом высоких температур и давлений, находится в одной группе с серой, образующейся на поверхности из сероводородных источников, часто под влиянием бактерий. В одной группе окислов мы находим магнитный железняк, связанный с процессами остывания расплавленных масс, и бурый железняк, образовавшийся под действием холодных растворов и отложений озер и болот и т. д. Однако мы оставим эту классификацию в первой, описательной части как общепринятую и перейдем к новой генетической классификации во второй части курса.

В основу классификации старой минералогии кладет химический состав минерала². Первый класс составляют простейшие тела —

¹ W e r n e r. Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie. 1909.

² E. S. Dana. Text book of Mineralogy. New York 1921.

элементы. Минералы этого класса немногочисленны и за исключением благородных металлов и группы углерода постепенно переходят в другие соединения под влиянием химических агентов. Второй класс — соединения элементов с серой — сернистые, а также соединения с селеном, теллуром, мышьяком и сурьмой. Этот класс объединяет значительную группу минералов, главным образом минералов рудных жид. Третий класс — сульфосоли — минералы, представляющие собой соли сульфокислот H_2AsS_3 , H_2SbS_3 и H_2BiS_3 . Это немногочисленная группа минералов главным образом рудных жид. Четвертый класс — галогиды, или соединения хлористые, бромистые, иодистые и фтористые — небольшая группа минералов, объединяющих так называемые соли. Пятый класс — окислы — соединения элементов с кислородом — значительная группа, куда входят все разновидности кремнезема. Шестой класс — кислородные соли — самый значительный класс минералов, который в свою очередь делится на группы: углекислых, силикатов, фосфатов, сернокислых и других солей кислородных кислот. Седьмой класс — соли органических кислот и восьмой класс — углеводороды, объединяют небольшое число минералов органического происхождения. Вышеперечисленные группы твердо установились. Порядок следования групп в классификациях различных авторов иной. Внутри классов минералы разбиваются на группы на основании аналогии химического строения и кристаллической формы.

Несомненно ближайшей задачей минералогии в СССР является полное и последовательное проведение классификации по генезису, как единственно соответствующей требованиям диалектического подхода к науке.

ОБЩИЙ ОБЗОР МИНЕРАЛОВ ПО КЛАССАМ И ГРУППАМ

I класс

Самородные элементы

Элементы газообразные

Название	Формула
Кислород	O
Водород	H
Азот	N
Аргон	Ar
Ксенон	X
Неон	Ne
Криптон	Kr

Элементы неметаллические

1) Группа углерода

Название	Формула	Сингония
Алмаз	C	Кубическая
Графит		Гексагональная

2) Группа серы

Название	Формула	Сингония
Серa	S	Ромбическая
Полуметаллы		
Мышьяе	As	Гексагональная
Сурьма	Sb	»
Висмут	Bi	»

Металлы

1) Группа золота.

Золото	Au	Кубическая
Серебро	Ag	»
Медь	Cu	»
Ртуть	Hg	»
Свинец	Pb	»

2) Группа платины—железа.

Платина	Pt	Кубическая
Иридий	Ir	»
Железо	Fe	»

II класс

Сульфиды, селениды, теллуриды, арсениды,
антимониды

1-я группа.—Сернистые, селенистые, теллуристые соединения полу-
металлов

Реальгар	AsS	Моноклиная
Аурипигмент	As ₂ S ₃	Ромбическая
Антимонит	Sb ₂ S ₃	»
Висмутит	Bi ₂ S ₃	»
Тетрадимит	Bi ₂ (Te, S) ₃	Гексагональная
Молибденит	MoS ₂	»

2-я группа.—Сернистые, селенистые, теллуристые, мышьяковистые,
сурьмянистые соединения металлов

А. Подгруппа: моносulfиды и пр.

Аргентит	Ag ₂ S	Кубическая
Гессит	Ag ₂ Te	»
Ангиларит	Ag ₂ (S, Se)	»
Галенит	PbS	»
Аллант	PbTe	»
Клаусталит	PbSe	»
Халькозин	Cu ₂ S	Ромбическая
Сфалерит	ZnS	Кубическая
Алабандин	MnS	»

Название	Формула	Сингония
Киноварь	HgS	Гексагональная
Ковеллин	CuS	»
Преенокит	CdS	»
Вюрцит	ZnS	»
Миллерит	NiS	»
Никелин	NiAs	»
Пирропин	$\text{Fe}_{n+1}\text{S}_n$	»

Б. Подгруппа: сульфоферриты.

Борнит	$3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$	Ромбическая
Халькопирит	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$	Тетрагональная
Станнин	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS} \cdot \text{SnS}_2$	»

В. Подгруппа: бисульфиды и пр.

Пирит	FeS_2	Кубическая
Гауерит	MnS_2	»
Шмальтин	CoAs_2	»
Хлоантит	NiAs_2	»
Кобальтин	$\text{CoS}_2 \cdot \text{CoAs}_2$	»
Герсдорфит	$\text{Ni}_3\text{S}_2 \cdot \text{NiAs}_2$	»
Ульманнит	$\text{NiS}_2 \cdot \text{NiSb}_2$	»
Марказит	FeS_2	Ромбическая
Делингит	FeAs_2	»
Арсенопирит	$\text{FeS}_2 \cdot \text{FeAs}_2$	»

Г. Подгруппа: окисульфиды

Кермезит	$\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$	Моноклиная

III класс

Сульфосоли

Сульфосоли аналогичны кислородным солям, где сера заменяет кислород. Важнейшими образующими сульфосоли кислотами являются: ортокислоты вида H_3AsS_5 и метакислоты вида H_2AsS_4 . Возможны однако и кислоты, как $\text{H}_4\text{As}_2\text{S}_7$ и ряд других. Незначительная группа сульфосенатов может быть отнесена к нормальным солям кислоты H_3AsS_4 — аналогично H_3AsO_4 . Основаниями сульфосолей являются главным образом: медь, серебро, свинец, также железо, цинк и ртуть; другие металлы (как Ni, Co) сравнительно редки. Ввиду гипотетичности многих кислот состав их солей удобнее изображать дуалистическими формулами.

А. Соли метакислоты вида: $\text{RS}(\text{As}, \text{Sb}, \text{Bi})_2\text{S}_3$

Пинкенит	$\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	Ромбическая
Миарипирит	$\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	Моноклиная

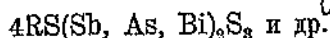
Б. Соли кислоты вида: $2\text{RS} \cdot (\text{As}, \text{Sb}, \text{Bi})_2\text{S}_3$

Дюфренуазит	$2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	Ромбическая

В. Соли ортокислоты вида: $3RS(As, Sb, Bi)_2S_3$

Название	Формула	Сингония
Бурнонит	$3(Cu_2, Pb)S \cdot Sb_2S_3$	Ромбическая
Вулапжерит	$3PbS \cdot Sb_2S_3$	»
Цираргирит	$3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Гексагональная
Прустит	$3Ag_2S \cdot As_2S_3$	»

Г. Соли более основных кислот вида:



Тетраэдрит	$4Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	Кубическая
Теннантит	$4Cu_2S \cdot As_2S_3$	»
Стефанит	$5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Ромбическая
Полибазит	$9Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Моноклиная

Д. Сульфоарсенаты и пр.

Энартит	$3Cu_2S \cdot As_2S_5$	Ромбическая

IV класс

Галоидные соединения: хлориды, бромиды, иодиды и фториды

I. Безводные хлориды, бромиды и пр.

II. Оксихлориды, оксифториды.

III. Водные хлориды и фториды.

I. а) Группа галита $R(Cl, Br, J)$

(соединения Na, K, NH_4 и Ag)

Галит	NaCl	Кубическая
Сильвин	KCl	»
Найпальер	$(NH_4)Cl$	»
Кераргирит	AgCl	»
Эмболит	$Ag(Cl, Br)$	»
Бромирит	AgBr	»
Иодирит	AgJ	Гексагональная

б) Группа флюорита

Флюорит	CaF_2	Кубическая
Криолит	$3NaF \cdot AlF_3$	Моноклиная

II. Оксихлориды

Атакамит	$CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$	Ромбическая

III. Водные хлориды

Карналлит	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Ромбическая

V класс

ОКИСЛЫ

Окислы делятся следующим образом:

- 1) Окислы кремния—типа RO_2 .
- 2) Окислы полуметаллов—типа R_2O , RO_2 и RO_3 .
- 3) Окислы металлов—типа R_2O , RO , R_2O_3 , RO , R_2O_3 и RO_2 .

Последние — окислы металлов — подразделяются на: А) окислы безводные и Б) окислы водные (гидраты).

I. Окислы кремния

Название	Формула	Сингония
Кварц	SiO_2	Гексагональная
Тридимит	SiO_2	Ромбическая
Опал	$SiO_2 \cdot nH_2O$	Аморфное тело

II. Окислы полуметаллов

Арсенолит	As_2O_3	Кубическая
Санаumonтит	Sb_2O_3	»
Молибден	MoO_3	Ромбическая

III. Окислы металлов: А) Безводные

1-я и 2-я группа R_2O и RO

Лед	H_2O	Гексагональная
Куприт	Cu_2O	Кубическая
Периклаз	MgO	»
Цинцит	ZnO	Гексагональная
Тенорит	CuO	Моноклидная

3-я группа R_2O_3

Корунд	Al_2O_3	Гексагональная
Гематит	Fe_2O_3	»
Ильменит	$(Fe, Ti)_2O_3$	»

4-я группа $RO \cdot R_2O_3$

Шпинель	$MgO \cdot Al_2O_3$	Кубическая
Магнетит	$FeO \cdot Fe_2O_3$	»
Магнезиоферрит	$MgO \cdot Fe_2O_3$	»
Франклинит	$(Fe, Zn, Mn)O \cdot (Fe, Mn)_2O_3$	»
Хромит	$FeO \cdot Cr_2O_3$	Ромбическая
Хризоберилл	$BeO \cdot Al_2O_3$	»
Гаусманит	$MnO \cdot Mn_2O_3$	Тетрагональная
Браунит	$MnSiO_3 \cdot 3Mn_2O_3$	»

5-я группа (двуокиси) RO_2

Касситерит	SnO_2	Тетрагональная
Полианит	MnO_2	»
Рутил	TiO_2	»

Название	Формула	Сингония
Анаказ	TiO_2	Тетрагональная
Брукит	TiO_2	Ромбическая
Пирролизит	MnO_2	»

Окислы металлов: В) водные (гидраты).

Диаспор	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая
Гельит	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	»
Малинит	$\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	»
Шимонит	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	В кристаллической форме не встречается ¹

Боксит	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	»

Бруцит	$\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$	Гексагональная
Гидрагилит	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная
Сассолин	$\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Призматическая

Пиломелан	$(\text{MnO}, \text{BaO}, \text{MnO}_2) \cdot \text{H}_2\text{O}$	

VI класс

Соли кислородных кислот

Соли различных кислородных кислот делятся на 7 групп: 1) карбонаты; 2) силикаты и титанаты; 3) ниобаты и танталаты; 4) фосфаты, арсенаты, ванадаты, нитраты; 5) бораты и уранаты; 6) сульфаты, хроматы и теллулаты; 7) вольфраматы и молибдаты.

1. Карбонаты: А) Безводные и В) Кислые, основные и водные.

А. Карбонаты безводные.

Название	Формула	Сингония
Кальцит	CaCO_3	Гексагональная
Доломит	$(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$	»
Анкерит	$\text{CaCO}_3 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})\text{CO}_3$	»
Магнезит	MgCO_3	»
Мезитид	$2\text{MgCO}_3 \cdot \text{FeCO}_3$	»
Сидерит	FeCO_3	»
Родохрозит	MnCO_3	»
Смитсонит	ZnCO_3	»
Сфериокобальтит	CoCO_3	»
Арагонит	CaCO_3	Ромбическая
Витерит	BaCO_3	»
Стронцианит	SrCO_3	»
Церуссит	PbCO_3	»
Баритомальцит	$\text{BaCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$	Моноклиная
Фосгенит	$(\text{PbCl})_2\text{CO}_3$	Тетрагональная

¹ Не встречается в ясных кристаллах. Известны лишь микро и скрыто-кристаллические жилковатые агрегаты.

Б). Карбонаты, водные

Название	Формула	Сингония
Малахит	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$	Моноклиная
Азурит	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$	»
Гейоссит	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	»
Трона	$\text{HNaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	»

2. Силикаты.

Наиболее многочисленная группа минералов. Она представляет собой соли различных кремневых кислот. Большинство из этих кислот в свободном состоянии неизвестны, но соли их являются самыми распространенными минералами в земной коре.

Силикаты делятся на две основные группы: А) силикаты безводные и Б) силикаты водные.

Группа А (безводные)

К этой группе относятся: I) дисиликаты, II) полисиликаты, III) метасиликаты, IV) ортосиликаты и V) субсиликаты.

Различаются они степенью кислотности. Количественное отношение в них кислорода, связанного с кремнием в кислотном остатке, и с основанием, выражается отношением 4:1; 3:1; 2:1; 1:1 и ниже—3:4; 2:3 и т. д.

I) Дисиликаты с общей формулой $\text{R}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, или $\text{RO} \cdot (\text{SiO}_2)_2$, следовательно с кислородным отношением 4:1, отвечают солям кремневой кислоты вида $\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5$.

II) Полисиликаты $\text{R}_2\text{Si}_3\text{O}_8$, или $2\text{RO} \cdot (\text{SiO}_2)_3$, отношения кислорода 3:1, соли кислоты $\text{H}_4\text{Si}_3\text{O}_8$.

III) Метасиликаты R_2SiO_3 , или $\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$, отношения кислорода 2:1, соли кислоты H_2SiO_3 .

IV) Ортосиликаты R_2SiO_4 , или $2\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$, отношения кислорода 1:1, соли кислоты H_4SiO_4 .

Значительное большинство силикатовых минералов принадлежит к двум последним подгруппам. Минералы с кислородным отношением 3:4; 2:3 и т. д. относятся (Дана) к общей подгруппе субсиликатов (V) и во многих случаях рассматриваются как основные соли кислот предшествующих групп.

I и II подгруппы, дисиликаты $\text{R}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ и полисиликаты

Название	Формула	Сингония	
Петалит	$\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$	Моноклиная	Полевые шпаты
Ортоклаз	KAlSi_3O_8	»	
Гуаюфан	$(\text{K}, \text{Ba})\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$	»	
Микроклин	KAlSi_3O_8	Триклиная	
Анортоклаз	$(\text{Na}, \text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	»	
Альбит	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	»	
Слингоклаз	$n\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 +$	»	
Андезин	$+ m\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$		
Лабрадорит			

Название	Формула	Сингония	
Апортит	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Триклинная	} Полевые шпаты
Цельзиан	$\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Моноклиная	

III подгруппа, метасиликаты RSiO_3 .

Цейцит	$\text{KAl}(\text{SiO}_3)_2$	Кубическая	} Пирок- сены
Эггсцит	MgSiO_3	Ромбическая	
Бронзит	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$	»	
Гиперстен	$(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_3$	»	
Диопсид, салит	$\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$	Моноклиная	
Геденбергит	$\text{CaFe}(\text{SiO}_3)_2$	»	
Авгит	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ с $(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{SiO}_6$	»	
Акмит	$\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2$	»	
Сподумен	$\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$	»	
Жадеит	$\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$	»	
Волластонит	CaSiO_3	»	} Амфи- болы
Пектолит	$\text{HNaCa}_2(\text{SiO}_3)_3$	»	
Родонит	MnSiO_3	Триклинная	
Антофиллит	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$	Ромбическая	
Тремолит	$\text{CaMg}_3(\text{SiO}_4)_3$	Моноклиная	
Актинолит	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{SiO}_3)_4$	»	
Роговые обманки	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{SiO}_3)_{3/4}$ с $\text{Na}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_4$ и с $(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Al}, \text{Fe})_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$	»	
Плаузофан	$\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2 \cdot (\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_3$	»	
Крокидолит	$\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2 \cdot \text{FeSiO}_3$	»	
Арфедсонит	$\text{Na}_3(\text{Ca}, \text{Mg})(\text{Fe}, \text{Mn})_{14}$ $(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{Si}_{21}\text{O}_{45}$	»	
Берилл	$\text{Be}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$	Гексагональная	} Переход к ортоси- ликатам
Кордиерит	$\text{H}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_4\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{37}$	Ромбическая	

IV подгруппа, ортосиликаты RSiO_4

Нефелин	$\text{K}_2\text{Na}_6\text{Al}_8\text{Si}_9\text{O}_{34}$	Гексагональная	} Гранаты
Канкринит	$\text{H}_6\text{Na}_6\text{Ca}(\text{NaCO}_3)_2\text{Al}_8(\text{SiO}_4)_9$	»	
Калиофилит	KAlSiO_4	»	
Содалит	$\text{Na}_4(\text{AlCl})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Кубическая	
Галун	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_2(\text{NaSO}_4)\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Лазурит	$\text{Na}_4(\text{NaS}_2\text{Al})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Гельвин	$(\text{Mn}, \text{Fe})_2(\text{Mn}_2\text{S})\text{Be}_3(\text{SiO}_4)_3$	»	
Гроссуляр	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Пироп	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Альмандин	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Спессартин	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Андрадит	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Уваровит	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$	»	
Шорломит	$\text{Ca}_3(\text{Fe}, \text{Ti})_2[\text{Si}, \text{Ti})\text{O}_4]_3$	»	

Название	Формула	Сингония	
Монтichelлит	CaMgSiO_4	Ромбическая	Гр. оли- вина
Форстерит	Mg_2SiO_4	»	
Оливин	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	»	
Фаялит	Fe_2SiO_4	»	
Тефрит	Mn_2SiO_4	»	
Кнелелит	$(\text{Fe, Mn})_2\text{SiO}_4$	»	Гр. фе- накита
Виллемит	Zn_2SiO_4	Гексагональная	
Фенакит	Be_2SiO_4	»	
Дисфаз	H_2CuSiO_4	»	Гр. ска- полита
Мейонит	$\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{25} = \text{Me}$	Тетрагональная	
Мариазит	$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl} = \text{Ma}$	»	
Сканолит	$\text{Me} : \text{Ma} = 3 : 1$	»	
Мелилит	$\text{Na}_2(\text{Ca, Mg})_{11}(\text{Al, Fe})_4(\text{SiO}_4)_7$	»	
Геленит	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{12}$	»	Гр. то- наза
Везувин	$\text{H}(\text{OH})_3\text{Ca}_{12}(\text{Al, Fe})_6(\text{SiO}_4)_{10}$	»	
Циркон	ZrSiO_4	»	
Торит	ThSiO_4	»	
Топаз	$(\text{AlF})_2\text{SiO}_4$	Ромбическая	
Андалузит	$(\text{AlO})\text{AlSiO}_4$	»	Гр. дан- буриг
Данбуриг	$\text{CaB}_3(\text{SiO}_4)_2$	»	
Силлиманит	Al_2SiO_5	»	
Кизанит	Al_2SiO_5	Триклинная	Гр. дан- олита
Датолит	HCaBSiO_5	Моноклидная	
Эвклаз	HBeAlSiO_5	»	
Гадолит	$\text{Be}_2\text{FeY}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$	»	Гр. эпи- дота
Понзит	$\text{Ca}_2(\text{AlOH})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Ромбическая	
Эпидот	$m\text{Ca}_2(\text{AlOH})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ $n\text{Ca}_2(\text{FeOH})\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	Моноклидная	
Алланит	$(\text{Ca, Fe})_2(\text{AlOH})(\text{Al, Ce, Fe})_2(\text{SiO}_4)_3$	»	Гр. три- клинная
Аксинит	$\text{H}_2\text{Ca}_4(\text{BO})\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_5$	Триклинная	
Пренит	$\text{H}_2\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Ромбическая	

V подгруппа, субсиликаты:

Хондролит	$\text{Mg}(\text{F, OH})_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_4)_2$	Моноклидная	Гр. гу- мита
Гумит	$\text{Mg}(\text{F, OH})_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_4)_3$	Ромбическая	
Ливерит	$\text{CaFe}_2(\text{FeOH})(\text{SiO}_4)_2$	»	
Каламин	$\text{H}_2\text{Zn}_2\text{SiO}_5$	»	

Турмалин	$\text{R}_6\text{SiO}_5 = \text{R}_3\text{SiO}_5 = \text{R}_2\text{SiO}_5$	Гексагональная
	$\text{R} = \text{Na, Li, K;}$	
	$\text{R} = \text{Mg, Fe, Ca;}$	
	$\text{R} = \text{Al, B, Cr, Fe;}$	

Ставролит	$(\text{AlO})_4(\text{AlOH})\text{Fe}(\text{SiO}_4)_2$	Ромбическая

Группа Б. Водные силикаты

В группу водных силикатов входят настоящие гидратные соединения, содержащие кристаллизационную воду, как цеолиты, и гидраты аморфные, каковы глины. Многие виды водных силикатов после потери воды при прокаливании по составу вполне отвечают безводным мета- и ортосиликатам и т. д.

Название	Формула	Сингония		
Апофиллит	$H_7KCa_4(SiO_3)_8 \cdot 4\frac{1}{2}H_2O$	Тетрагональная	}	
Гейландит	$H_4CaAl_2(SiO_3)_6 \cdot 3H_2O$	Моноклинные		
Филлипсит	$(K_2, Ca)Al_2Si_4O_{12} \cdot 4\frac{1}{2}H_2O$	»		
Гармотом	$(K_2, Ba)Al_2Si_5O_{14} \cdot 5H_2O$	»		
Стиллит	$(Na_2, Ca)Al_2Si_3O_{10} \cdot 6H_2O$	»		
Ломонтит	$H_4CaAl_2Si_4O_{14} \cdot 2H_2O$	»	}	
Шабазит	$(Ca, Na_2)Al_2Si_4O_{12} \cdot 6H_2O$	Гексагональная		
Гмелинит	$(Na_2, Ca)Al_2Si_4O_{12} \cdot 6H_2O$	»		
Анальцим	$NaAlSi_3O_8 \cdot H_2O$	Кубическая		
Натролит	$Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$	Ромбическая		
Сколецит	$Ca(AlOH)_2(SiO_3)_3 \cdot 2H_2O$	Моноклинные	}	
Мезолит	Смесь натролита и сколецита	»		
Томсопит	$(Na_2, Ca)Al_2Si_2O_8 \cdot 2\frac{1}{2}H_2O$	»		
Мусковит	$H_2KAl_3(SiO_4)_3$	»		
Парагонит	$H_2NaAl_3(SiO_4)_3$	»		
Лепидолит	$KLi[Al(OH, F)_2]Al(SiO_3)_3$	»	}	
Цинвальдит				
Биотит	$(H, K)_2(Mg, Fe)_2(Al, Fe)_2(SiO_4)_3$	»		
Флюорит	большее содержание F	»		
Лепидомелан	большее содержание Fe	»		
Маргарит	$H_2CaAl_4Si_2O_{12}$	»	}	
Хлоритонд	$H_2(Fe, Mg)Al_2SiO_7$	»		
Клинохлор	$H_8(Mg, Fe)_5Al_2Si_3O_{18}$	»		
Пеннин				
Серпентин	$H_4Mg_3Si_2O_9$	»	}	
Тальк	$H_2Mg_3(SiO_3)_4$	»		
Сепиолит	$H_4Mg_2Si_3O_{10}$	»		
Гарниерит	Магнезиальный силикат	Ni Аморфный	}	
Каолин	$H_4Al_2Si_2O_9$	Моноклинные		
Галлоксит	$H_4Al_2Si_3O_9aq$	Аморфный		
Пирофиллит	$H_2Al_2(SiO_3)_4$	Моноклинные(?)		
Аллофан	$Al_2SiO_5 \cdot 5H_2O$	Аморфный		
Хризоколла	$CuSiO_3 \cdot 2H_2O$	Скрытокристаллический	}	
Хлорспал	$Fe_2(SiO_3)_3 \cdot 5H_2O$	Аморфный		

Титанаты

Сфен	$CaTiSiO_5$	Моноклинные
Перовскит	$CaTiO_3$	Кубическая

3. Ниобаты и танталаты

Представляют собой соли по преимуществу метаниобовой и метатанталовой кислоты: RNb_2O_6 и RTa_2O_6 , но также и пирониобовой

кислоты $R_2Nb_4O_7$; где $R = Ca, Fe$ и др. Во многих видах минералов этой группы существенным составным элементом является Ti .

Название	Формула	Сингония
Пироклор . . .	$RNb_2O_6 \cdot R(Ti, Th)O_3 \cdot NaF$	Кубическая
Фергусонит . . .	$(Y, Er, Ce) \cdot (Nb, Ta)O_4$	Тетрагональная
Колумбит . . .	$(Fe, Mn)Nb_2O_6$	Ромбическая
Танталит . . .	$(Fe, Mn)Ta_2O_6$	»
Иттротанталит . . .	$R_2R_2(Ta, Nb)_4O_{15}$	»
Самарскит . . .	$R_2R_2(Nb, Ta)_6O_{21}$	»
Эпинит . . .	$R_2Nb_4O_{15} \cdot R(Ti, Th)_5O_{13}$	»
Эвксенит . . .	$R(NbO_{15} \cdot R_2(TiO_3)_3 \cdot \frac{3}{2}H_2O$	»

$\left. \begin{array}{l} R = Ca, \\ Fe, UO_2 \\ R = Y, \\ Er, Ce \\ \text{и др.} \end{array} \right\}$

4. Фосфаты, арсенаты, ванадаты и нитраты

Соли фосфорной кислоты H_3PO_4 подобных ей других кислот

Название	Формула	Сингония
Ксенотим . . .	YPO_4	Тетрагональная
Монацит . . .	$(Ce, La, Di)PO_4$	Моноклиновая
Трифилит . . .	$Li(Fe, Mn)PO_4$	Ромбическая
Литиофилит . . .	$Li(Mn, Fe)PO_4$	»
Апатит . . .	$\begin{cases} (CaF)Ca_4(PO_4)_3 \\ (CaCl)Ca_4(PO_4)_3 \end{cases}$	Гексагональная
Пироморфит . . .	$(PbCl)Pb_4(PO_4)_3$	»
Миметизит . . .	$(PbCl)Pb_4(AsO_4)_3$	»
Ванадинит . . .	$(PbCl)Pb_4(VO_4)_3$	»
Валнерит . . .	$(MgF)MgPO_4$	Моноклиновая
Триплит . . .	$\begin{cases} (RF)RPO_4, \text{ где} \\ R = Fe, Mn \end{cases}$	»
Оливенит . . .	$Cu_2(OH)AsO_4$	Ромбическая
Шибегенит . . .	$Cu_2(OH)PO_4$	»
Лазулит . . .	$2AlPO_4 \cdot (Fe, Mg)(OH)_2$	Моноклиновая
Струвит . . .	$NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$	Ромбическая
Вивиянит . . .	$Fe_3P_2O_8 \cdot 8H_2O$	Моноклиновая
Скородит . . .	$FeAsO_4 \cdot 2H_2O$	Ромбическая
Тагилит . . .	$Cu_3P_2O_8 \cdot Cu(OH)_2 \cdot 2H_2O$	Моноклиновая
Завелиит . . .	$4AlPO_4 \cdot 2Al(OH)_3 \cdot 9H_2O$	Ромбическая
Бирюза . . .	$AlPO_4 \cdot Al(OH)_3 \cdot H_2O$	Аморфная или скратокристаллическая
Фармакоидерит . . .	$6FeAsO_4 \cdot 2Fe(OH)_3 \cdot 12H_2O$	Кубическая
Горбернит . . .	$Cu(UO_2)_2P_2O_7 \cdot 12H_2O$	Тетрагональная
Аугунит . . .	$Ca(UO_2)_2P_2O_8 \cdot 8H_2O$	Ромбическая
Селитра патровая . . .	$NaNO_3$	Гексагональная
Селитра калийная . . .	KNO_3	Ромбическая

Фосфаты
 безводные
 Соли
 водные
 Соли
 водные
 Нитраты

5. Бораты и уранаты

Название	Формула	Сингония
Суссесит	$\left\{ \begin{array}{l} \text{HRBO}_3, \text{ где} \\ \text{R} = \text{Mn, Zn, Mg} \end{array} \right.$	Ромбическая
Борацит	$\text{Mg}_7\text{Cl}_2\text{B}_{16}\text{O}_{90}$	Кубическая
Родицит	$\text{RAl}_2\text{B}_3\text{O}_8,$ где $\text{R} = \text{K}_2, \text{Cs, Rb}$	»
Бура	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная
Уранинит	$\text{UO}_3, \text{UO}_2 + \text{PbO}$ и редкие земли	Кубическая
Ураносферит	$(\text{BiO})_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	»

6. Сульфаты, арматы (теллулаты)

Также подразделяются на соединения безводные, кислые, основные и водные.

Сюда относятся главным образом соли серной кислоты H_2SO_4 и хромовой кислоты H_2CrO_4 .

Название	Формула	Сингония	
Генардит	Na_2SO_4	Ромбическая	Соли безвод- ные
Глауберит	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$	Моноклиная	
Барит	BaSO_4	Ромбическая	
Целестин	SrSO_4	»	
Англезит	PbSO_4	»	
Ангидрит	CaSO_4	»	Соли водные
Кровейт	PbCrO_4	Моноклиная	
Каннит	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	»	
Бромантит	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	Ромбическая	
Мирабилит	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная	
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	»	
Эпсомит	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Ромбическая	
Госларит	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	»	
Моренозит	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	»	
Мелантерит	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная	
Маллардит	$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	»	
Биберит	$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	»	
Халькантит	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Триклиная	
Астраханит	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная	
Неонит	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	»	
Полигалит	$\left\{ \begin{array}{l} 2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \\ \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \end{array} \right.$	»	
Каннит	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Кубическая	
Чермшит	$(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	»	
Галотрихит	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная или триклиная	
Коппалит	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SO}_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная	
Алунит	$\text{K}(\text{FeO})_3(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Гексагональная	
Ярозит	$\text{K}(\text{AlO})_3(\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	»	

Соли кислот H_2WO_4 и H_2MoO_4 .

Название	Формула	Сингония
Вольфрамит	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	Моноклинная
Гюбнерит	MnWO_4	»
Шеелит	CaWO_4	Тетрагональная
Штольцит	PbMoO_4	»
Вульфенит	PbWO_4	»

Соли органических кислот

Меллит . . . $\text{Al}_2\text{C}_{12}\text{O}_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ Тетрагональная

Углеводородные соединения

Они могут быть подразделены на: 1) собственно углеводороды и 2) углеводороды кислородные.

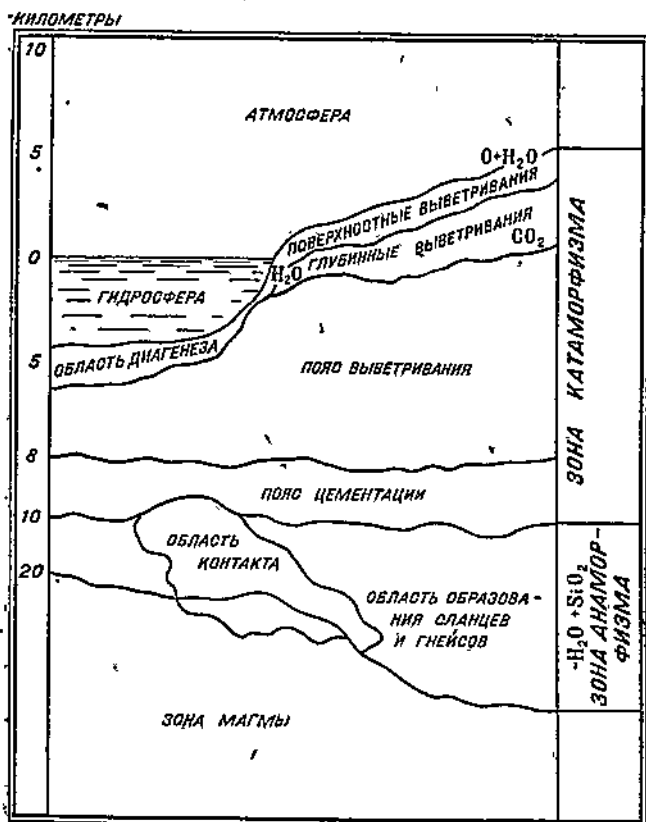


Рис. 43. Схема зон земной коры. (По Ван-Хизе и др.).

К первым относятся различные виды горного воска (кир, озокерит) и минеральных жиров с общей формулой $C_n H_{n+2}$. Точный состав этих соединений часто не установлен.

Ко вторым относятся главным образом ископаемые смолы, как янтарь и др.

В общем все эти соединения представляют собой не однородные вещества, а, более или менее сложные смеси.

К углеводородным соединениям непосредственно примыкают: нефть, асфальт и ископаемые угли: каменный уголь, адриациит, пунгит.

Согласно разделению, принятому дальше в «Курсе минералогии», мы различаем в земной коре три основные зоны: 1) зону магмы, 2) зону катаморфизма (выветривания) и 3) зону анаморфизма (восстановления).

Зона магмы характеризуется высокой температурой, высоким давлением, образованием силикатов и рудных минералов. Зона катаморфизма является областью действия поверхностных вод, углекислоты и кислорода атмосферы. Здесь образуются минералы: водные, углекислые, сернокислые и т. п. Зона анаморфизма—это зона, где осадочные породы, подвергаясь влиянию горобразующих процессов или действию плавящейся магмы, вновь кристаллизуются при высоком давлении и высокой температуре. Здесь образуются вторичные силикаты, характерные для минералов кристаллических сланцев. В области контактов часто образуются рудные скопления.

(Подробнее см. ч. II, «Генезис минералов»).

ОПИСАТЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

I класс. ЭЛЕМЕНТЫ

ГРУППА УГЛЕРОДА

Углерод встречается как минерал в трех формах: кристаллический (алмаз), скрыто кристаллический (графит) и аморфный (шунгит и угли).

Алмаз. Название значит по-арабски твердейший. Другое название: диамант.

Химический состав. С. Алмаз представляет собой чистейший кристаллический углерод без всяких примесей. Это легко доказывается сжиганием алмаза в кислороде, где он сгорает нацело, без всякого остатка.

Внешний вид и физические свойства. Алмаз встречается в кристаллах, принадлежащих кубической сингонии. Кристаллы небольшие, от широкого зерна до величины гороха, обычно в виде октаэдров, реже в виде кубов и других форм кубической сингонии (рис. 44). Плоскости кристалла иногда бывают округленные, а потому кристаллы имеют шаровидную форму. Среди разрушенных пород алмаз попадает в виде мелких галек и обломков. Кристаллы большей частью прозрачны, с сильным блеском благодаря большой светопреломляющей и светорассеивающей способности. Некоторые разновидности алмаза бывают синего, голубого и красного цветов и встречаются еще реже, чем бесцветный прозрачный алмаз. Более обычны черные алмазы, называемые карбонадо, которые в большом количестве идут для бурения твердых горных пород. Алмаз обладает весьма совершенной спайностью по октаэдру,

чем пользуются ювелиры при огранке, скалывая острые углы кристалла со всех сторон по спайности. Твердость алмаза совершенно исключительная и равна 10 по шкале твердости Мооса. Ни один минерал не равняется алмазу по твердости. Твердость его превосходит почти в 1.000 раз твердость кварца. Благодаря такой твердости алмазы, употребляющиеся в ювелирном деле, могут протираться только порошком самого же алмаза. В ограненном виде алмаз называется бриллиантом.

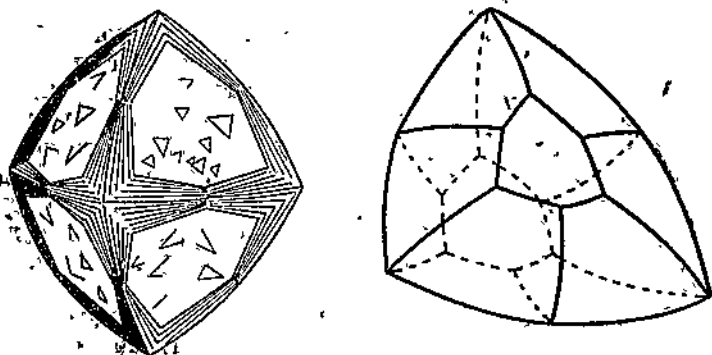


Рис. 44. Формы кристаллов алмаза (левый кристалл — Южная Африка).

Форма залегания и происхождение. Главные массы алмаза находятся во вторичных месторождениях, в россыпях. Образование алмаза совершается в зоне магмы. Как показали опыты искусственного получения алмазов (Муассан и др.), для образования алмаза необходимы исключительно высокая температура и большое давление. Так при опы-

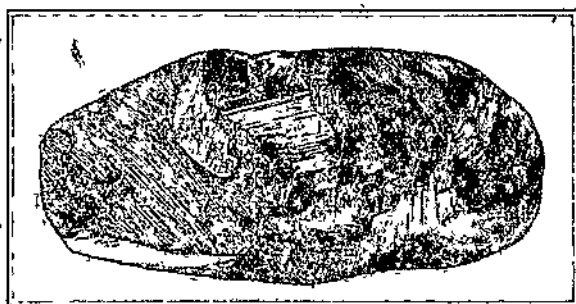


Рис. 45. Алмаз „Эксельсьор“ (природная форма), вес 971,75 карата.

тах Людвиг растопленная смесь углерода и железа при температуре около 5000° подвергалась давлению 2200 ат . При этих условиях образовались лишь мельчайшие зернышки алмаза. Таким образом благоприятные условия для образования алмаза в магмах создаются тогда, когда магмы, содержащие углерод, попадают в область большого давления. Эти условия наблюдаются при вулканических извержениях, глав-

тым образом магнетитовых тяжелых магм, с которыми связано образование алмазов в южноафриканских месторождениях. Значительно реже алмаз повединому образуется в пермалитовых жилах, связанных с графитовыми кислыми породами. Коренные месторождения этого типа не найдены. Известны лишь рассыпные алмазы в областях разрушения магматитовых жил. Такова область Кочкарской системы на Южном Урале, близ Троицка, и знаменитые Бразильские алмазные россыпи. Автор выдвигает теорию происхождения алмаза как результат распада CO и CO_2 в лаве при высоком давлении. Эта теория, проверенная опытом, вполне объясняет нам генезис южноафриканских месторождений.

Месторождения. Коренного типа месторождение известно лишь в Южной Африке¹. Это месторождение мирового значения: из-за него в свое время разгорелась война между Англией и бурами. Оно дает до 80% алмазов на рынок. Месторождение представляет собой многочисленные так называемые воронки, или кратеры взрыва, случившиеся в свое время при вулканическом извержении. Воронки заполнены разрушенной породой, синим «кимберлитом», несущим в себе алмазы (рис. 46).

В Бразилии алмазы встречаются в провинции Минас Жераес, в россыпях вместе с железистым конгломератом, габитом (гнущимся) песчаником, вместе с золотом, кварцем, топазом и другими драгоценными камнями.

Индийские месторождения алмазов в Голконде — самые старинные — в настоящее время дают ничтожный процент мировой добычи. Алмаз находится в россыпях.

В СССР алмаз встречается на Урале, в Крестовоздвиженской россыпи (Средний Урал), в приисках Троицкого района Уральской обл., имеются небольшие находки на речках бассейна Енисея. Всего найдено на Урале за 100 лет около 220 мелких алмазов.

Употребление. Прозрачные разновидности идут на украшения. Драгоценный камень I класса. Черные алмазы употребляются для буровых инструментов в горных работах. Мелкие и мутные кристаллы, не имеющие ювелирной ценности, и осколки алмазов идут для резания стекол и для приготовления алмазного порошка. В год добывается до 1 т алмазов на сумму до 160 млн. руб.²

Графит. Название произведено от «графейн» (по-гречески — писать).

Химический состав. Углерод с различными примесями. При температуре бунзеновской горелки графит можно жечь, если пользоваться тонкими чешуйками. Содержание примесей, остающихся при сжигании в виде золы, достигает 13%.

Внешний вид и физические свойства. Графит образует листоватые, чешуйчатые и плотные массы с металлическим блеском и совершенной спайностью в одном направлении. Цвет железно-черный до темного, сталью-серого. Мягок, жирен на ощупь и марают руки. Твер-

¹ Подробности см. Н. М. Федоровский. Минеральные богатства Южной Америки. М. 1930. (Отчет о командировке на конгресс). Также: „Минеральное сырье“, 1929, декабрь.

² Подробности см. Н. М. Федоровский. Минеральное сырье в промышленности. Ч. I. Вып. I. Абразивные материалы. М. 1932.

досты — 1; уд. вес — 2,2. Легко растворяется в расплавленном железе и в расплавленных магмах. Графит выделяется нередко в ясно образованных кристаллах в виде гексагональных пластинок.

Форма залегания и происхождение. Графит нередко выделяется в изверженных породах или в виде шарообразных масс или просто, в виде неправильных включений, иногда, давая большие залежи. Такой способ образования легко может быть проверен на опыте, так как силикатовые массы в расплавленном состоянии легко растворяют углерод, введенный туда в виде угля, а при застывании выделяют его в виде серых табличек графита. Иногда графит выделяется в виде воз-

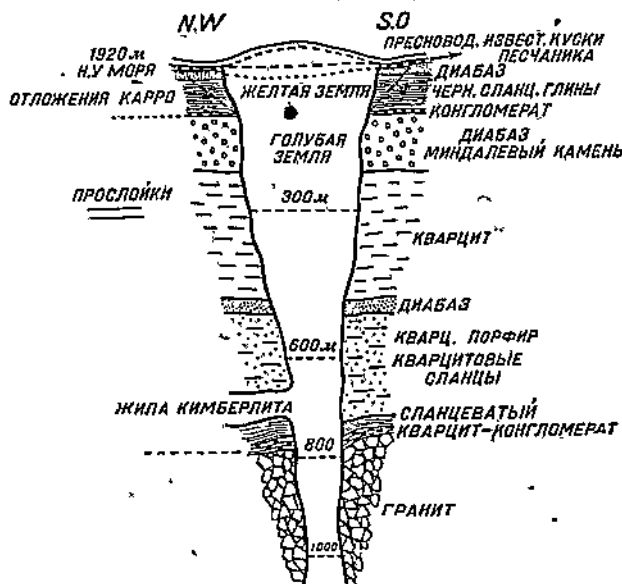
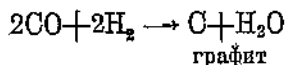


Рис. 46. Разрез месторождения алмазов в Южной Африке. Ясно виден кратер.

гонки при вулканических извержениях в связи с разложением летучих углеродистых соединений. Таким же способом графит выделяется в виде углеродистых паров изнутри земли и при разложении дает залежи графита в виде пневматолитических жил. Таковы известные графитовые жилы о. Цейлона. Процесс идет таким образом при температуре около 500°:



В других случаях графиты образуются в зоне метаморфизма и находятся среди кристаллических сланцев, мраморов и гнейсов.

Возможно, что он является продуктом метаморфизма залежей каменных углей, попавших в эти породы. Это чрезвычайно обширный тип месторождений графита.

Месторождения. Наиболее известное месторождение графита в Европе находится у Пассау в Баварии. Исключительно чистый графит

встречается в жилах среди гранитных массивов о. Пейдона. В СССР графит встречается в Иркутском районе, в Тунгусских горах, образуя желваки, гнезда и жилы среди кристаллического известняка и графитового сланца. Это месторождение разрабатывалось в 50—60-х годах прошлого столетия купцом Алибером, и носит название Алиберовских копей. В Ильменских горах графит встречается в виде мелких включений в граните. Промышленное значение имеют залежи графита в Туркунском крае, на р. Курейне, образованные действием изверженных пород на плакты каменного угля.

В последнее время открыты графитовые залежи графитовых сланцев близ с. Союзного, на р. Амуре, между Благовещенском и Хабаровском. Запасы ориентировочно определены в 500 млн. т. На Украине разрабатываются графитовые пещеры близ Мариуполя и по р. Бугу.

Остальные многочисленные месторождения Урала, Сибири, Кавказа, Украины и северной части СССР пока недостаточно обследованы.

Употребление. Лучшие сорта графита идут на выделку электродов, элементов, тиглей и карандашей. Прочие сорта употребляются для черной глиняной посуды, форм для отливки чугуна и наконец в смеси с маслом для машинной смазки.

К группе графита относится также шунгит (название происходит от села Шунга, Карельской АССР, близ которого расположено это месторождение) (рис. 47). Шунгит представляет собой переход от графита к антрациту и по видимому является метаморфизованным каменным углем, не обладающим способностью горения в обычных условиях сжигания угля в топках¹.

Антрацит. Антрацит является скоплением углерода, происходящим из растительных остатков прежних геологических периодов. Цвет черный с сильным блеском. Твердость 2. Содержание углерода в антраците колеблется от 90 до 98%. Антрацит встречается в больших пластах, образуя обширные месторождения в различных частях земного шара, и употребляется как горючий материал. Антрацит связан генетически с каменным углем, бурым углем и другими углями, о которых подробно будет изложено в конце книги, так как кроме углерода угли содержат водород и кислород и принадлежат собственно к классу органических соединений.

Сера. Химический состав. С. Природная сера имеет иногда незначительные примеси асфальта, отчего приобретает бурю окраску, и редкого элемента — селена. Разновидности, содержащие селен, называются селенистой серой.

Внешний вид и физические свойства. Природная сера встречается в виде желтых включений, в виде коромыслообразных масс и часто образует прекрасные кристаллы ромбической сингонии. Цвет серо-желтый. Прозрачна или же просвечивает. Излом раковистый с жирным блеском. Твердость 2; уд. вес 2,07. Если держать серу в руке, она хрустит и рассыпается от тепла. При трении электризуется отрицательно. Горит голубым пламенем. Плавится при 114°.

¹ Подробнее о графите см. Н. М. Федоровский. Графит. М. 1931 (брош.). П. А. Гурвич. Графит, его свойства и применение. Х. 1931.

Форма залегания и происхождение. Сера образуется в природе разнообразными путями. Она выделяется при извержении вулканов, в виде возгоняющихся паров или от разложения сернистых газов:

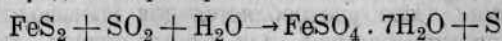


При этом она отлагается в виде мелких кристалликов или порошкообразных масс. Таковы отложения серы в сольфатарах близ Неаполя, у вулканов Везувия и Этны, а также в Мексике и Японии. Сера отлагается также из горячих источников, в виде порошкообразных землистых масс. Главные залежи серы образуются в поясе выветривания—



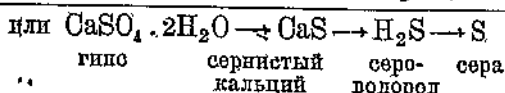
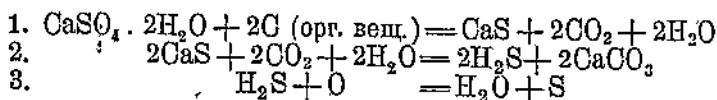
Рис. 47. Копи шунгита близ села Шунга, Карельская АССР. (Фот. автора).

от разложения сернистых и сернокислых соединений и из отложений водных растворов, содержащих сероводород и циркулирующих среди известняков и мергелей. Сернистые соединения тяжелых металлов дают серу, разлагаясь в поясе выветривания. В последнем случае процесс образования самородной серы протекает так:



Таковы месторождения серы на Урале.

Главная масса самородной серы образуется путем распадаения сернокислых соединений, главным образом гипса, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Гипс очень распространенный минерал в природе, в зоне катаморфизма, где он мощными слоями вместе с известняком и мергелями отлагается из водных растворов. Благодаря образованию гипса среди осадочных горных пород залежи его часто связаны с продуктами разложения организмов или с природными углеводородами, как асфальт, нефть и пр. В присутствии органических соединений гипс быстро разлагается. Это разложение обычно идет при участии микрорганизмов. Существуют особые сернистые бактерии, концентрирующие из водных растворов серу. Все большие месторождения серы связаны с гипсами. Процессы идут по следующей схеме:



Месторождения. Мирового значения месторождения серы расположены в Сицилии. Слоистая сера встречается в известняках, мергелях и глинах вместе с гипсом (рис. 48). Хорошо образованные кристаллы находятся в трещинах, рассекающих эти слои, а также в



Рис. 48. Сицилийское месторождение серы близ Джирдженти. (По Стельцнеру).

пустотах. В СССР промышленные месторождения серы встречаются на Кавказе, в Дагестанской АССР, где сера образует ласы при разложении алебастров, в Шор-Су, близ Коканда, а также в Туркменистане в пустыне Кара-Кум (240 км от Ашхабада); кроме того незначительные залежи серы находятся близ г. Теплоши Татарской АССР по Волге, где она залегает в слоях известняка пермской системы, на местах соприкосновения его с асфальтом.

Употребление. Сера употребляется для производства серной кислоты, для вулканизации каучука, для серных спичек, для дезинфекции, для приготовления пороха, в сельском хозяйстве, в медицине.

Мышьяк. *Внешний вид и химические свойства.* Мышьяк образует тонкозернистые патечные массы, с почковатой поверхностью и скорлуповатой отдельностью, отчего куски его легко раскалываются на черепитцеобразные осколки (рис. 49). Цвет темносерый, почти черный. Свежий излом с металлическим блеском и светлосвинцового цвета. На воздухе темнеет. Твердость—3,5; уд. вес—5,7. Хрупок, кристаллы весьма редки.

Формы залегания и происхождение. Мышьяк встречается в рудных жилах, часто вместе с серебряными, кобальтовыми и свинцовыми рудами. Выделяется из горячих водных растворов и путем разрушения мышьяк-содержащих руд.

Месторождения. Мышьяк встречается редко в больших количествах; наиболее значительные скопления его находятся в рудных

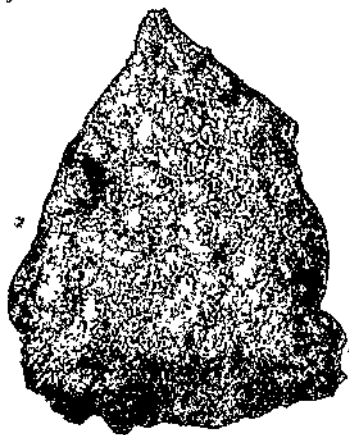


Рис. 49. Самородный мышьяк.

жилах в Саксонии на Гарце, близ Андреасберге, в провинции Энгельсберга—Янни.

Употребление. Ввиду ничтожных количеств самородного мышьяка в природе, его образцы имеют значение только для минералогических музеев.

Сурьма. Сурьма, как и мышьяк, в самородном виде встречается очень редко. Находится главным образом в виде сплошных зернистых или листоватых кусочков оловяннобелого цвета, с металлическим блеском. Сурьма хрупка. Твердость равна 3; уд. вес—6,7. Месторождения сурьмы известны на Гарце, близ Андреасберга.

Висмут. *Химический состав.* Bi, с небольшими подмесками теллура, селена и иногда селена.

Внешний вид и физические свойства. Хорошо образованные кристаллы висмута встречаются очень редко; обычно древовидные, перистые, листоватые, губчатые массы, иногда маленькие зерна, вкрапленные в породы. Цвет красновато-серебрянобелый, часто с желтой, бурой или пестрой побелкой. Твердость—2,5. Мокрый, но не тягучий.

Уд. вес—9,8. Висмут в отличие от других тел при плавлении сжимается, а при застывании расширяется.

Формы залегания и происхождение. Висмут встречается в рудных жилах вместе с никелевыми колчеданом и с кобальтином и сопровождается баритом и кварцем. В рудных жилах висмут выделяется из водных растворов, большей частью богатых кремнеземом. В связи с гранитными магмами висмут выделяется вместе с оловянным камнем и вольфрамитом под влиянием паров и растворов застывающей магмы.

Месторождения. Встречается в Саксонии в Рудных Горах, в Боливии, в Сибири в Забайкалье.

Употребление. Как руда—имеет небольшое значение. Висмут применяется для сплавов с другими металлами. Азотнокислый висмут служит в качестве белил; кроме того применяется в медицинских препаратах.

Золото. Химический состав. Au. Золото редко встречается в совершенно чистом виде. Обычно оно содержит более или менее значительные примеси. Обычно золото содержит еще и серебро, причем содержание серебра доходит иногда до 50%. Такое серебристое золото



Рис. 50. Золото самородное в кварце.
(Минералогический музей МГУ).

называется электрум. Не менее часто встречается медистое золото, с содержанием меди, доходящим иногда до 20%.

Золото как металл является устойчивым элементом во всех зонах земной коры. Поэтому оно встречается исключительно в самородном виде. Некоторые соединения его с другими элементами, как например с серой, свинцом и теллуrom (паллагит), являются минералогически редностями. Благодаря такой химической неизменяемости самородное золото является единственной рудой на золото.

Внешний вид и физические свойства. Золото отличается ярко-желтым цветом, высоким удельным весом,—от 19,3 до 19,5, и ковкостью. Небольшие кусочки золота можно раскатывать в тончайшие листки. Обычно золото встречается в форме зерен. Редкие кристаллы

кубической сингонии в виде кубов, октаэдров, додекаэдров почти всегда деформированы, и плоскости их покрыты скульптурой или интриховкой. Обычный вид включений золота—это пластинки, жилы, комки, самородки. Включения видимого золота достигают огромных размеров. Так один из самых больших самородков, найденный в Австралии, представлял собой пластину в 10 см толщины, длиной 1,45 м и шириной 99 см. Самый большой самородок, найденный на Урале, весил более 36 кг.

Золото чрезвычайно легко истирается и превращается в мельчайшую, незаметную для глаза золотую пыль. Поэтому в небольших количествах оно широко распространено в природе и находится также в морской воде.

Формы залегания и происхождение. Первичной формой образования самородного золота в природе является выделение его из расплавленных, главным образом силикатовых магм. При этом оно выделяется в форме незаметной для глаз мельчайшей пыли. Более всего золото

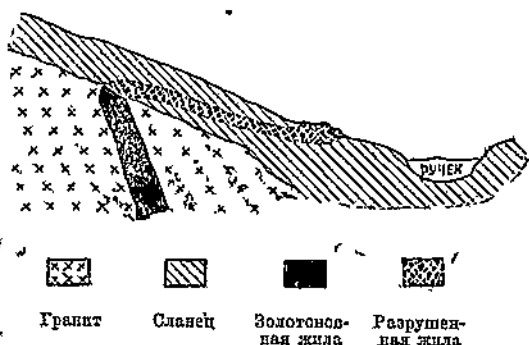


Рис. 51. Тип образования вторичных (россыпных) месторождений золота.

распространено в гранитных массах. Трещины и расщепленные части гранита и послужили очевидно теми каналами, по которым совершалась циркуляция минеральных растворов, содержащих углекислые, сернистые и мышьякислые соли щелочей и щелочных земель. Эти растворы, действуя на полевые шпаты и слюду гранита, видоизменяли первоначальный гранит вдоль этих трещин, в сфере влияния растворов. Процесс этот сопровождался выделением больших масс кварца и различных колчеданов (образующихся вследствие действия сернистых щелочей на окислы железа и на силикаты гранита). Золото, концентрированное под влиянием этих изменений гранита, выносилося водами вместе с растворами кремнезема, с пиритами, мышьяковым колчеданом, медным колчеданом, свинцовым блеском и другими минералами, которые входят теперь в состав рудных масс кварцевых жил, несущих золото. Поэтому золото входит в состав многих колчеданов, как серного, медного и мышьякового; особенно широко эти золотосодержащие колчеданы распространены на Урале.

В общем, процесс образования золота, несмотря на колоссальный фактический материал, до сих пор еще не вполне выяснен.

По разрушении горных пород, содержащих золото, особенно кварцевых жил, золото вследствие своего удельного веса скопляется в песках более или менее значительными количествами. Это будут вторичные месторождения золота, называемые россыпями (рис. 51). Промышленное значение россыпи имеют при содержании от 5 до 15 г на 1 т породы. Формы россыпного золота разнообразны; чаще всего зерна золота оказываются округленными вследствие окатывания.

Помимо чисто механического скопления россыпи золота бывают обязаны своим происхождением отложению золота из циркулирующих растворов, несущих его или в виде механической примеси, или в растворенном виде.

Месторождения. Богатейшая золотоносная страна — это Америка с месторождениями: Калифорния, Колорадо, Невада, Мексика и Аляска. Второе место по богатству золотыми месторождениями занимает Ю. Африка и Австралия. В СССР месторождения золота многочисленны на Урале и в Сибири. Известны Березовские месторождения близ Свердловска, где золото встречается в кварцевых жилах березита (видоизмененный гранит) вместе с серпистыми, медными и железными рудами, а также месторождение Кочкарской системы Уральской обл., где золотоносные кварцевые жилы прорезывают гранитные и гнейсовые породы.

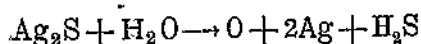
Золотоносные россыпи разрабатываются по речкам по всему протяжению Урала. В Сибири наиболее богатые золотые россыпи расположены по системе р. Вилюй—Ленские россыпи; в верховьях реки Колымы; знамениты Алданские прииски; по притокам р. Амур; в Красноярском районе Восточносибирского края; в Забайкалье; в Дальневосточном крае и на Алтае. В Карельской АССР, на западе, месторождения коренного золота в Кемском районе — там называемый Войтский рудник.

Употребление. Украшения. Монеты. Золочение металлов для предохранения их от окисления. Зубоврачебная техника, точные приборы.

Серебро. Химический состав. Ag. Чистое серебро с некоторым количеством золота, меди и иногда сурьмы, висмута и ртути.

Внешний вид и физические свойства. В свежем виде самородное серебро белого цвета с металлическим блеском. Образование с поверхности сернистого серебра вызывает почернение или пожелтение. Встречается иногда в виде кристаллов кубической сингонии; образует ветвистые дендриты, листоватые и проволоочные массы (рис. 52). Твердость—2,5; удельный вес чистого серебра—10,5. Чрезвычайно ковко и тягуче.

Формы залегания и происхождение. Встречается в жилах среди гнейсов, сланцев, порфиров и других пород, вместе с кальцитом, флюоритом, баритом и серпистыми рудами. Самородное серебро обычно в верхних частях залегания серебряных руд, происходя от разложения последних, например:



Наибольшие же месторождения серебра связаны с распадением на земной поверхности свинцового блеска, содержащего серебро. Серебро при этом уносится растворами иногда далеко от месторождения своих первичных соединений и в поясе цементации отлагается. Самородное серебро встречается и в россыпях, но обычно эти россыпи не разрабатываются, так как не бывают значительными.

Месторождения. Месторождения самородного серебра не имеют большого практического значения, так как являются лишь поверхностным образованием и быстро истощаются. Наиболее значительные месторождения расположены в Саксонии близ Фрейберга и в Норвегии (Конгсберг) (рис. 52), а также в Перу, Чили и в Мексике, где оно встречалось самородками до 3,28 т весом. В СССР известно на Алтае и на Медвеьем острове у Кольского полуострова.

Употребление. Как украшение. Чеканка монеты и серебрение металлов для предохранения от окисления; некоторые приборы; утварь.

✓ **Медь. Химический состав.** Сп. Самородная медь часто содержит немного серебра, висмута и ртути.

Внешний вид и физические свойства. Цвет меднокрасный. Блеск металлический. Очень ковкая. Твердость 2,5; уд. вес 8,8—8,9. Прекрасный проводник тепла и электричества. Плавится при 1080°C . Встречается в сплошных формах, в виде песка, корок; реже кристаллами, чаще всего срастающимися в древовидные сростки (рис. 53). Кристаллизуется в кубической сингонии.

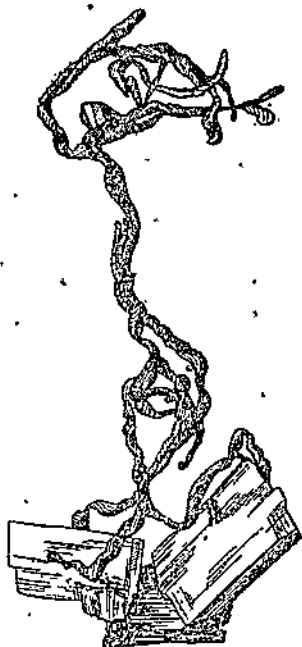


Рис. 52. Самородное серебро на известковом шпате. Норвегия.

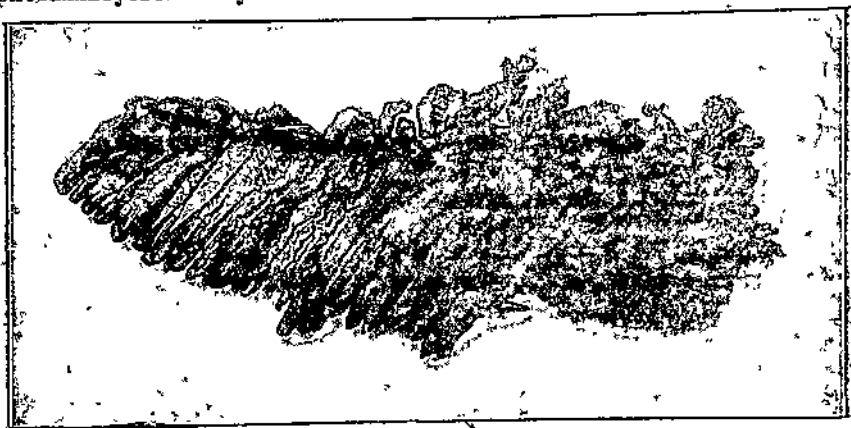


Рис. 53. Самородная медь. Урал. (Минер. музей 1 МГУ).

Формы залегания и происхождение. Медь встречается в шлаках и жилах совместно с различными рудами, главным образом купритом; малахитом и азуритом; также в глинах, сланцах и песчаниках. Образование отложений меди бывает двух типов:

1) Медь, выделяющаяся из горячих водных растворов в верхних частях магматических пород, после их застывания в последних его стадиях. Такие скопления самородной меди известны в области Великих озер в Сев. Америке (рис. 54).

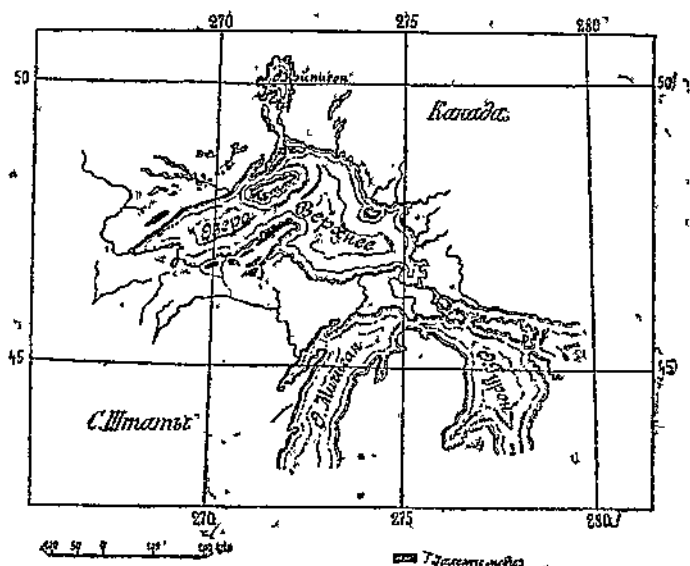
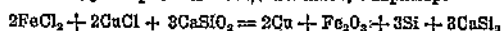


Рис. 54. Месторождение самородной меди в районе Верхнего озера в Сев. Америке.

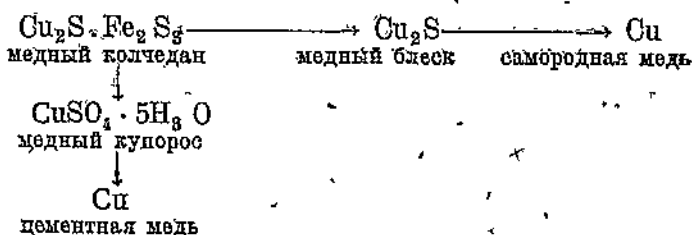
Огромные запасы этого месторождения отложились из растворов под влиянием восстановления соединений закис железа, находившихся в боковых породах (мелазифрах) в виде магнетита. Реакция может идти между хлористыми соединениями, например:



Характерными спутниками самородной меди в этом месторождении являются диолиты, указывающие повидному на термальное происхождение.

2) В зоне выветривания самородная медь образуется при распадении серпистых медных руд.

Процесс идет таким образом:



Месторождения. Промышленного значения месторождения самородной меди находятся только в Америке около Верхнего озера и в Боливии. В СССР самородная медь встречается на Урале в Турьинских, Богословских и Нижнетагильских рудниках, в Сибири — на Алтае; в Узбекистане — близ Коканд (Сунг-Тау) и в Казахской АССР.

Употребление. Как прекрасный проводник электричества медь широко применяется и в электротехнической промышленности. Кроме того идет на чеканку монет, изготовление латуни, бронз и др.

Ртуть, свинец, амальгама. Все эти самородные металлы встречаются крайне редко в верхних зонах земной коры.

Платина. Название происходит от испанского слова *plata* — серебро, *platinja* — похожий на серебро; старинное русское название платины — серебец, белое золото.

Химический состав. Pt. Платина с примесью железа, осмия, иридия, родия и палладия.

Внешний вид и физические свойства. Цвет стальносерый. Блеск металлический. Твердость 4,5; уд. вес 14—19. Встречается в виде

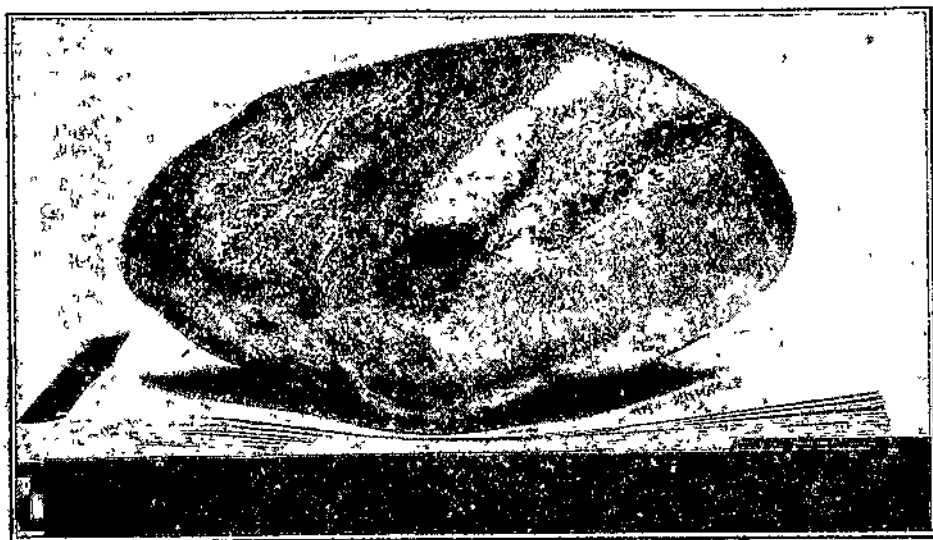


Рис. 55. Самородок платины (один из так наз. „шуваловских самородков“).

мельчайших вclusions. Кристаллы редки, обычно в зернах и чешуйках. Находится и в сплошных массах, так называемые «самородки», но редко большого размера (рис. 55). Плавится при 1770°. Иногда магнитна.

Формы залегания и происхождение. Платина всегда была находима в россыпях, подобно золоту. Только в последнее время найдена была в коренном залегании, в виде тонких зерен в оливиновых породах, вместе с хромистым железняком (рис. 56). Коренная платина представляет продукт выделения железисто-магнетитовой магмы. Такие месторождения известны почти исключительно на Урале, где связаны

с перидотитами, пироксенитами и габбро, возникшими вследствие дифференциации одной общей первоначальной магмы (оливинового габбро), в которую входили как первичная составная часть небольшие количества и платиновых металлов. Большая или меньшая платиноносность указанных пород стоит здесь в ясной связи как с их основностью, так



Рис. 56. Коренная платина.¹

Светлые пятна—платина, темная порода—осмистый железняк (по Виссочскому).

и с глубиной; наиболее глубокой является та разновидность чисто оливиновой породы, которая характеризуется наибольшим содержанием хромистого железняка, т. е. дуниты; последние являются здесь в то же время наиболее богатыми и платиной, которая выкристаллизовывалась частью непосредственно среди зерен оливина нормальных дунитов, но большей частью теснейшим образом связана с магматическими выделениями хромистого железняка, являющимися или в виде лишь более

густых выраженностей, т. е. в виде так называемого хромистого дунита, или в виде сплошных шпиров, неправильных жил и гнезд хромита, представляющих собой конечный продукт дифференциации и концентрации внутридунитовой магмы (рис. 57).

На некоторых очень редких месторождениях платины в Мексике можно наблюдать происхождение ее осадочного типа в виде выделения из водных растворов.

Месторождения. До 1913 г. 95% всей платины добывалось на Урале исключительно в россыпях, главным образом в Исовском и Нижнетагильском районах. Остальная платина в количестве 4—5% добывалась в Колумбии. После войны добыча в Колумбии сильно возросла: так в 1925 г. было добыто более чем в 4 раза по сравнению с 1913 г. В Канаде за тот же промежуток времени добыча платины возросла в 30 раз; в САСШ в 10 раз. Кроме того с 1926 г. начала поступать платина из вновь открытых месторождений в Южной Африке. (См. стат. таблицы).

Употребление. Платина идет на изготовление химической посуды и аппаратов благодаря тому, что она не изменяется от действия большинства кислот и имеет высокую температуру плавления. Около 50% платины идет на ювелирное дело. Кроме того в значительном количестве употребляется для искусственных зубов. В России в 1-й половине 19-го века был один изобретения платиновой монеты (возрастающая в ценности валюта).

Осмистый иридий. Os, Ir. Встречается исключительно в россыпях в мелких неправильных зернах. Металлический блеск. Цвет оловянобелый. Твердость—6—7; уд. вес—19,3—21,12. Очень упруг и чрезвычайно тугоплавок. Отличается от платины большей твердостью, светлым цветом и упругостью. С 1921 г. осмистый иридий стал добываться попутно при извлечении золота, на золотых промыслах в Транс-

ваале (Южная Африка). В ничтожных количествах встречается в Австралии и Калифорнии. Употребляется, как и платина, для научных при-

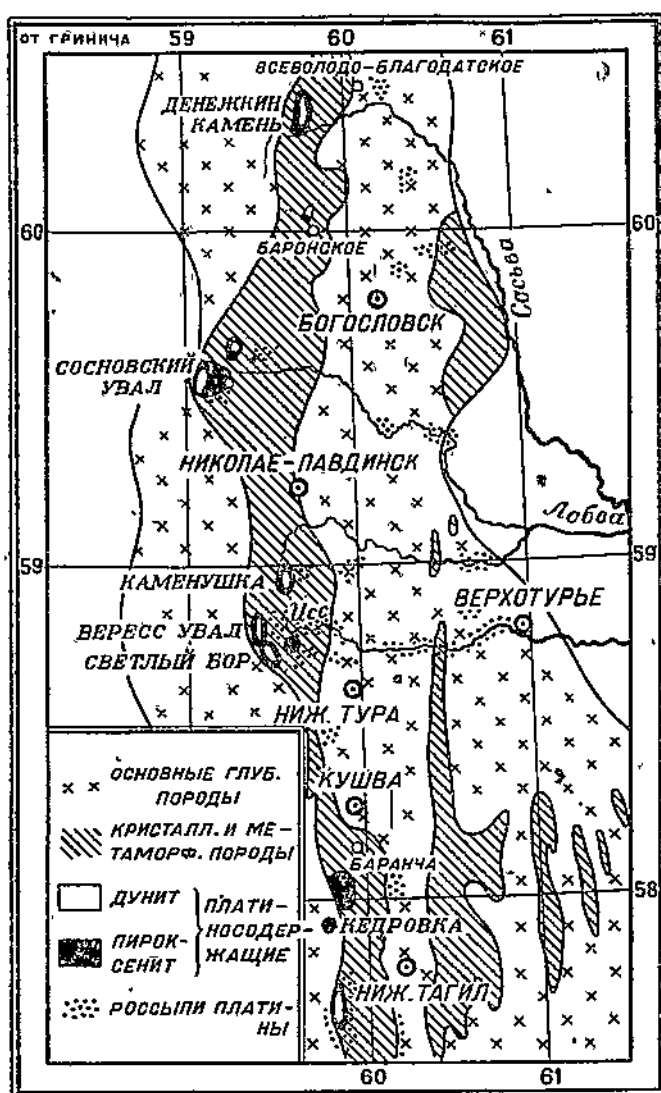


Рис. 57. Карта распространения россыпей платины на Урале (по Дюпарку).

боров и для радиотелеграфии. Осмий употребляется для ламп нака-

Палладий. Pd. Встречается в зернах в платиновых россыпях. Употребляется в сплавах с платиной для термопар при измерении высоких температур. Твердость — 4,5; уд. вес — 11,3.

Железо. Fe. Уд. вес — 7,88; твердость 4,5—5.

Самородное железо встречается чрезвычайно редко. Это вполне соответствует его химической характеристике как элемента, легко соединяющегося с другими, особенно с серой, в пугубитах и с кислородом — на поверхности земной коры. Да и в этих исключительных случаях железо не является чистым, а смешано с никелем. Сильно магнитно.

Подадается такое железо в базальтовых лавах Гренландии и в некоторых базальтах Европы, преимущественно в Германии. Известно



Рис. 58. Метеорное железо (видманштетовы фигуры).

как главная составная часть металлических метеоритов. По внутреннему строению метеорное железо относится к кубической системе. Если распилишь кусок такого железа, отполировать разрез и обработать разведенной азотной кислотой, на поверхности выступают фигуры, называемые видманштетовыми.

На рис. 58 изображен кусок метеорного железа из Мексики, разрезанный параллельно плоскости октаэдра, с полосами, так называемого балкообразного железа, перекрещивающимися под углом в 60° .

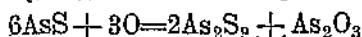
Появление этих фигур указывает на то, что метеорное железо представляет собой в сущности сплав с никелем, всегда присутствующим в составе метеорного железа, иногда в количестве до 10—15%. Кроме того оно содержит примеси Co, P, S и Cr.

II класс. СЕРНИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

СУЛЬФИДЫ ПОЛУМЕТАЛЛОВ

Реальгар. Сернистый мышьяк. Происхождение названия в точности неизвестно, но оно встречается у алхимиков и вероятно взято с арабского.

Химический состав. Односернистый мышьяк AsS . От действия света разлагается и переходит в желтый сернистый мышьяк:



Внешний вид и физические свойства. Цвет красный. Блеск алмазный. Большею частью землистые массы. Твердость 1,5. Черта померанцево-желтая. Темнокрасные кристаллы коротко- или длиннопризматические, моноклинной симметрии.

Формы залегания и происхождения. Реальгар образуется чаще всего в зоне выветривания при распаде сульфоселей и путем выделения из водных растворов. Порошкообразные массы Реальгара нередко заполняют трещины среди известняков, мергелей и сланцев. Встречается реальгар как продукт возгонки в вулканах и сольфатарах, иногда скопляясь в больших количествах.



Рис. 59. Схематический разрез жилы с распределением в ней сернистых и других минералов по зонам.

Месторождения. Встречается в зернистом доломите Бьянзаталь в Швейцарии, близ Росдана в Македонии, в Италии около Неаполя и в некоторых других местах. В СССР месторождение имеется на Кавказе.

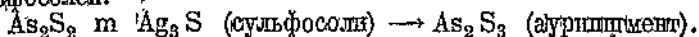
Аурипигмент. Полуметасернистый мышьяк. Название происходит от *aurum* (золото) и *pigmentum* (цвет).

Химический состав As_2S_3 .

Внешний вид и физические свойства. Лимонно-желтый цвет. Сильный перламутровый блеск в светлом изломе. Весьма совершенная спайность в одном направлении, так что минерал разделяется на тонкие гибкие листочки. Очень редко встречается в коротких призматиче-

ских кристаллах; обычно же листоватые, зернистые и землистые массы. Твердость 1,5; уд. вес 3,5.

Формы залегания и происхождение. Происхождение аурипигмента аналогично происхождению реальгара, с которым он часто встречается вместе. Значительное количество его происходит от разложения сульфосолей:



Аурипигмент встречается также в осадочных породах, выделяясь из водных растворов.

Месторождения. Встречается в Ново-Молдавы и серой песчаной глин; в Венгрии — в рудных жилах Фельсобош и Кадикса.

В СССР имеется на Кавказе.

Употребление. Желтый краска; для приготовления удушливых газов; для приготовления средств против вредных насекомых.

Стибнит, также антимонит (сернистая сурьма). Название происходит от слова *sibium* — сурьма.

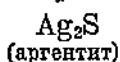
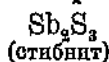
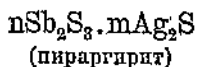
Химический состав. Sb_2S_3 . Серы 28,6%, сурьмы 71,4%, иногда немного золота и серебра.

Внешний вид и физические свойства. Кристаллы призматические; часто собраны в лучистые пучки или группы (рис. 60). Плотные массы рубчатого или точного стебчатого сложения. Твердость 2, уд. вес 4,5. Блеск металлический. Цвет и черта свинцово-серая, часто с радужной любезностью. Хрупок; легко плавится в пламени свечи.



Рис. 60. Сурьмяный блеск. Япония.

Формы залегания и происхождение. Стибнит, жильный минерал, встречается в зоне катаморфизма в трещинах осадочных пород, выделяясь из водных растворов вместе с аурипигментом, киноварью и т. п. Стибнит выделяется также путем распада сульфосолей.



Реже стибнит встречается как продукт возгонки вулканов. В жилах среди гранита, кристаллических сланцев и осадочных пород стибнит является одним из последних продуктов, выделенных термальными ювенильными водами и потому характеризует собой самые верхние горизонты жил.

Месторождения. Во Франции, на Центральном плато стибнит встречается в гранитном массиве, в жилах. В Венгрии и Германии — среди рудных жил. В Японии — в жилах среди серицитовых сланцев. В Америке разрабатываются многие месторождения в Арканзасе, в Мексике и др.

В СССР стибнит известен в Никитовке (Донбасс) вместе с шнурварью в песчаниках, известек на Урале — Арамашевское месторождение — в кварцевых жилах, среди глинистых сланцев. На Кавказе — в Грозненском районе; около станции Казбеи и др. В Узбекской ССР — в окрестностях п. Ферганы. Стибнит известен также у горы Болунан, в Дальневосточном крае (бассейн р. Амура).

Употребление. Стибнит — главная руда для выделения металлической сурьмы. Сурьма необходима для изготовления сплавов, типографского металла, в пиротехнике. В соединении со свинцом употребляется как желтая краска.

Висмутовый блеск (Висмутин). *Химический состав.* Bi_2S_3 ; 82,20% — Bi; 18,80% — S, мин. с небольшим содержанием золота. Преп. серосвинцовый. Твердость — 2; уд. вес — 7,16. Обладает термоэлектрическими свойствами. Легко плавится в пламени свечи. Встречается значительно реже, чем стибнит.

Находится вместе с прищовыми и серебро-кобальтовыми рудами в рудных жилах Салсонии; в Англии (Корнуэльс). Связан с зоной магматических кислых горных пород. В СССР известен в Забайкалье.

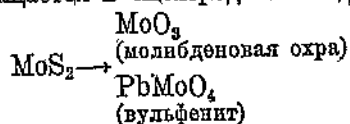
Тетрадимит (Теллуристый висмут). Bi_2Te_3 .

Молибденит или молибденовый блеск. (Название от элемента молибден.) *Химический состав.* Двусернистый молибден — MoS_2 ; молибдена 60,00%, серы — 40,00%.

Внешний вид и физические свойства. Минерал по внешнему виду очень похож на графит. Мягок, жирен на ощупь, в тонких листочках гибок. Цвет свинцово-серый, черта зеленоватого цвета.

Формы залегания и происхождение. Встречается в виде включений, большей частью в кварцевых жилах (рис. 61). Иногда в табличатых кристаллах гексагональной сингонии. Образуются молибденит в зоне магмы под влиянием газов и паров, в пегматитовых жилах, часто с оловянным камнем, как например в Салсонских рудных горах или в Англии в Корнуэльсе (см. карту рис. 100). Кроме того он выпадает из торящих водных растворов вместе с кварцем и сернистыми медными рудами.

Превращения. В верхних частях месторождений молибденит отдает серу и превращается в кислородные соединения:



Месторождения. Самое значительное количество MoS_2 поставляют САСШ, затем Норвегия. В СССР молибденит встречается на Южном Урале, в Ильменских горах вкрапленным в слениты, на Кавказе и в Забайкалье в кварцевых жилах. Гутайское месторождение в Забайкалье имеет промышленное значение.



Рис. 61. Молибденовый блеск с кварцем. Дер. Гутай, Забайкалье. (Минералог. музей 1 МГУ).

Употребление. Приблизляется к железу для получения молибденовой стали, которая идет для инструментов, ружейных стволов и автомобильных рессор. Эта же сталь благодаря Mo имеет свойство выдерживать наведенную магнитность и идет для приготовления постоянных магнитов.

СУЛЬФИДЫ МЕТАЛЛОВ

Моносульфиды

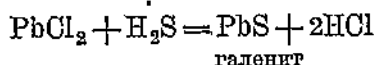
Галенит. Название от слова «гален» — свинец (рис. 62).

Химический состав. Сернистый свинец — PbS : свинца — 86,6%, серы 13,4%; часто содержит серебро, иногда до 5%; в таком случае представляет серебро-свинцовую руду. Иногда содержит селен, цинк, кадмий, сурьму, висмут.

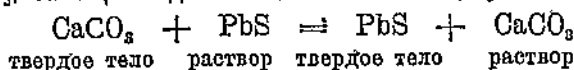
Внешний вид и физические свойства. Встречается сернистыми плотными массами; часто в кристаллах, иногда хорошо образованных, в виде кубов и пентагональных додекаэдров кубической сингонии. Твердость — 2,5, уд. вес — 7,4—7,6. Блеск металлический. Цвет свинцово-серый. Отличается весьма совершенной спайностью по кубу, так что легко распадается при ударе на мелкие кубики.

Формы залегания и происхождение. Галенит выделяется, во-первых, из магматитного типа, в виде включений, редко скоплением

значительными массами. Главным образом галенит выделяется из горячих доверильных растворов, отлагаясь вместе с кварцем по трещинам горных пород и образуя жильные месторождения. Реакции, можно предполагать, идут между хлористыми соединениями свинца (летучими) и сероводородом:



Наконец галенит отлагается среди осадочных пористых пород, обычно в доломитах и известняках. Растворы PbS, проникая в трещины пород, мало-помалу замещают доломиты и известняки, унося их в раствор:



Месторождения. В СССР главным образом Кавказ — Садонские рудники; Урал — близ Свердловска; Алтай — Риддерский и Зыряновский рудники; Забайкалье — Нерчинский район; Казахстан — близ оз. Балхаш.

Употребление. Важнейшая руда на свинец и на серебро.

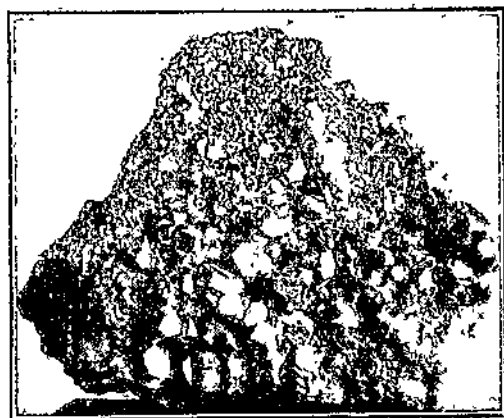


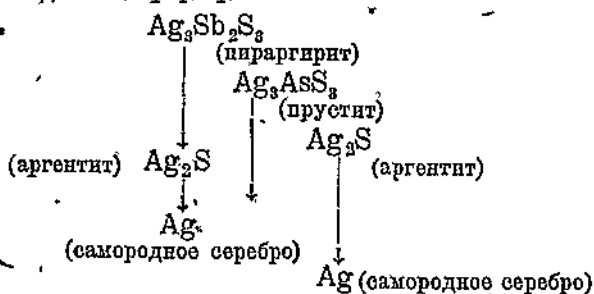
Рис. 62. Свинцовый блеск (галенит). Германия.

Аргентит, или серебряный блеск. (Название происходит от латинского слова «аргентум» — серебро).

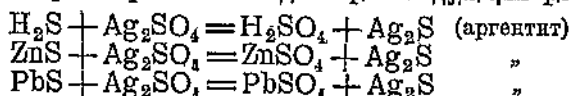
Химический состав. Сернистое серебро Ag_2S ; серебра 87,1%, серы — 12,9%.

Внешний вид и физические свойства. Цвет темный, от свинцово-серого до черного. Блеск металлический. Твердость — 2,5; уд. вес — 7,2—7,8. Кристаллы часто в октаэдрах, кубической сингонии, иногда скупуринированные в древовидные формы. Также встречается плотными массами в жилах и выщелочениях. Мягкий и ковкий. Легко режется. В старину из больших штуффов изготовлялись резные изделия, даже деканили монеты.

Формы залегания и происхождение. Аргентит встречается главным образом в рудных жилах и является продуктом вторичных реакций; находится в верхних частях жил, содержащих в себе блеклые руды, медный колчедан и пираргирит.



Аргентит встречается в жилах совместно с самородным серебром. Второй тип образования аргентита: выделения из холодных растворов в осадочных порных породах, где он образуется под влиянием органических веществ из находящихся в растворах серебряных солей. Аргентит выпадает из растворов как осадок при следующих реакциях:



Месторождения. Аргентит встречается в Саксонии, Норвегии (Копенберг), Боемии, Америке (Комсток, Невада) и в Мексике. Поиску в рудных жилах. У нас аргентит известен на Алтае.

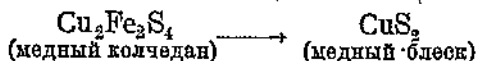
Употребление. Употребляется как руда на серебро, но промышленное значение невелико ввиду сравнительной редкости минерала.

Халькозин. Название от греческого слова «халькос» — медь.

Химический состав: Cu_2S ; меди — 79,8%, серы — 20,2%. Часто примесь железа и серебра.

Внешний вид и физические свойства. Цвет черновато-свинцово-серый, маховый. Блеск слабый, полуметаллический. Твердость — 2,5, уд. вес — 5,5—5,8. Ковок, но менее, чем аргентит. Встречается сплошными массами. Кристаллы ромбической сингонии в виде шестигранных таблиц (рис. 63).

Формы залегания и происхождение. Там же как и аргентит, халькозин является продуктом вторичных реакций и образуется в верхних частях рудных жил путем разложения медного колчедана и блеклых медных руд:



Кроме того халькозин встречается в осадочных породах, выпадая при разложении медного купороса CuSO_4 . Такие растворы, проникая в песчаники, иногда дают значительные залежки халькозина.

Месторождения. В Германии — Гессен, Мансфельд, Саксонские рудные горы; в Англии — Корнуэльс; в Америке — близ Бристола; Чили,

Боливия; в СССР, на Урале — Турьинские медные рудники; песчанники близ Перми.

Употребление. Употребляется как очень хорошая и богатая медная руда.

Цинковая обманка. (Сфалерит). Название «обманка» дано некими рудокопами, так как часто она бывает прозрачна или просвечивает и не похожа на обычную сернистую руду.

Химический состав. Серпнистый цинк ZnS ; цинка — 67%, серы — 33%. Часто примесь железа, доходящая до 22%; в таком случае цвет цинковой обманки черный, и называется она марматитом от местности Мармато в Тоскане, в Италии. Часто содержит небольшие количества кадмия, марганца и следы индия, галлия и таллия.

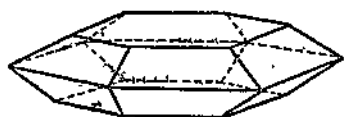


Рис. 63. Таблитчатый кристалл халькозина.

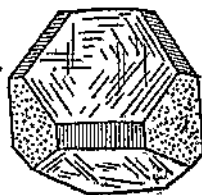


Рис. 64. Кристалл сфалерита, представляющий собой комбинацию двух тетраэдров и куба с характерной шероховатостью и штриховкой (грани куба)

Внешний вид и физические свойства. Цвет от темного до желтого. Редко бесцветна. Обладает алмазным блеском. Хрупка. Твердость — 3,5; уд. вес — 3,9—4,2. Спайность весьма совершенная по ромбическому додекаэдру. Некоторые разновидности фосфоресцируют при трении. Чаще всего встречается в виде сплошных, зернистых и листоватых масс с кварцем и колчеданами. Кристаллы кубической сингонии; образованы плохо (рис. 64).

Разновидность цинковой обманки того же состава, но гексагональной сингонии, называется вюрцитом. Вюрцит образует лучистые агрегаты, часто срастаясь с цинковой обманкой.

Формы залегания и происхождение. Цинковая обманка встречается главным образом в рудных жилах и является отложением термальных источников, генетически связанных с кислыми магмами. Обычными спутниками ее являются: свинцовый блеск, медный колчедан, шпирт, кварц и барит.

Более редки случаи выделения ZnS в гнездах и штоках среди осадочных пород.

Месторождения. Значительные количества сфалерита встречаются в Германии (рудные жилы Саксонии, Гарца и др.), в Венгрии (Капник), в Испании и Америке. В СССР встречается в жильных месторождениях Садона (Кавказ), в Нагальном крыже, в Донбассе, в Нерчинских серебро-свинцовых рудниках и на Алтае.

Употребление. Главная цинковая руда. Коричневая краска.

Киноварь. Название происходит от греческого слова «кинабар» — драконова кровь.

Химический состав. Сернистая ртуть HgS ; серы — 13,8%, ртути — 86,2%. Обычно с примесью железа, иногда с органическими веществами.

Внешний вид и физические свойства. Цвет копанильно-красный. Блеск от алмазного до металлического. Обычно вырешенными, призмками и плотными массами; реже — мелкие кристаллы псевдогексагональной сингонии. Характерны двойники прорастания ромбоэдров.

Физические смеси с глиной темных цветов называются печенковой рудой. Твердость — 2, уд. вес — 8,0—8,2. Кристаллики обладают ясной спайностью.

Формы залегания и происхождение. Киноварь встречается в жилах или в виде вырешенных в песчаниках и сланцах. Выделяется она главным образом из горячих водных растворов. Эти растворы, питаемые из зоны магмы, обычно далеко уносят киноварь, так как она хорошо растворима в воде, содержащей щелочи. В некоторых горячих источниках (Калифорния) киноварь выделяется и сейчас вместе с кремнеземом и шпигом. В парагенезисе с киноварью обычны сурьмяный блеск, битумы и кварц.

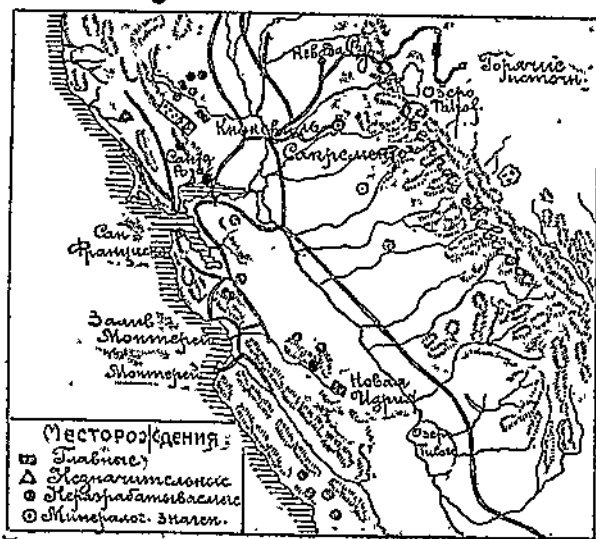


Рис. 65. Месторождения киновари в Калифорнии.

Месторождения. Известно с древних времен Альмаденское месторождение (Испания); Идрия, Австрия, где киноварь залегает в глинистых сланцах; Калифорния — главный поставщик на мировой рынок (рис. 65); Мексика и Китай. В СССР киноварь разрабатывается у ст. Никитовке в Донбассе, где она залегает в песчаниках и кварцитах (рис. 66). На Урале киноварь известна в россыпях золотоносных районов р. Иса и Южного Урала. В последнее время найдены коренные месторождения

киновари в Южной Фергана. Недавно киноварь найдена также в Туркменистане, близ Кизил-Арвата. В Сибири киноварь встречается на Иль-дикане (Нерчинский район) прожилками в известняках и в шлихах некоторых золотоносных песков.

Употребление. Применяется как единственная ртутная руда и как красная краска.

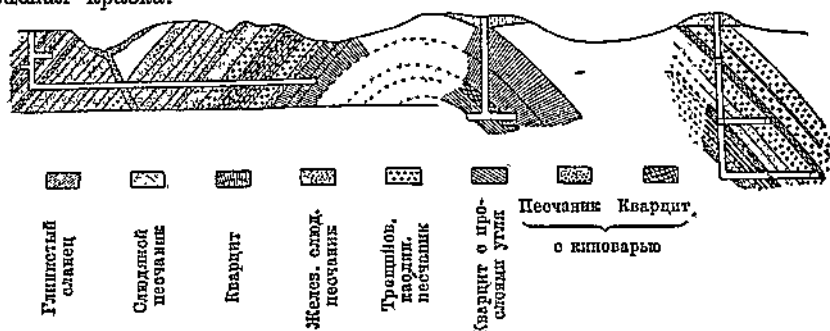
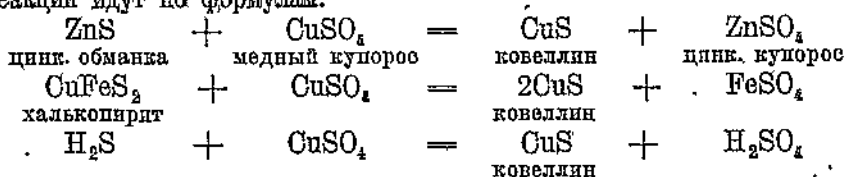


Рис. 67. Разрез купола „Большой разведен“—Никитовка, Донбасс.

Метациннабарит. Состав, как у киновари HgS , только черного цвета и образует кристаллы кубической системы.

Ковеллин. (Медное индиго.) Назван в честь ученого Ковелли. Сернистое соединение меди CuS . Уд. вес—4,6; твердость—1,5—2.

В аморфных массах и кристаллических, очень тонких пластинках темносинего индигового цвета; встречается вместе с цинковыми и медными рудами. Ковеллин образуется как осадок от взаимодействия растворов медного купороса, циркулирующих в рудных месторождениях. Реакции идут по формулам:



Последняя реакция характерна для образования ковеллина в fumarолах Везувия, где он был найден в незначительных количествах. Встречается на Урале.

Самостоятельного практического значения не имеет.

Халькопирит. «Халькос» по гречески—медь, пирит—железный колчедан. Кратко—медный колчедан.

Химический состав. Сульфид меди и железа CuFeS_2 или $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$; серы—35,00%, меди—34,00%, железа—30,50%. Часто имеет примеси золота и серебра.

Внешний вид и физические свойства. Цвет латушкожелтый. Сильный металлический блеск. Излом неровный. Плотные массы и выщелачивания. Редко кристаллы тетрагональной сингонии, иногда копьевидные (рис. 67); хрупок. Твердость—3,5—4, уд. вес—4,1—4,3; часто с пожелтостью.

Формы залегания и происхождение. Халькопирит встречается во всех зонах земной коры и имеет в ней после пирита большее распространение, чем другие сернистые соединения. Основным и главным местом образования его являются жилы, связанные с магмами. Отла-

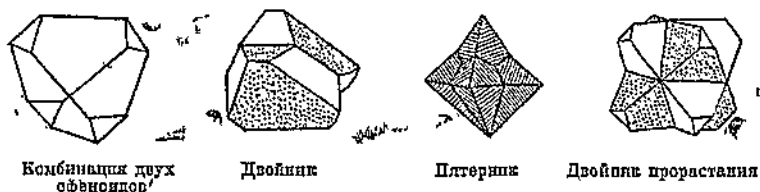


Рис. 67. Формы кристаллов халькопирита.

гается он: 1) способом пневматолита: турмалиново-медные жилы с кварцем, калийной слюдой, плагиокловым шпатом; 2) из горячих водных растворов среди трещин изверженных горных пород и сланцев, вместе с галенитом, пиритом, сфалеритом и кварцем; 3) среди осадочных пород из поверхностных вод, несущих главным образом медный купорос.



Рис. 68. Мансфельдская котловина в Германии (разрез месторождения халькопирита среди осадочных пород).

Месторождения. Германия (Мансфельд—среди осадочных пород) (рис. 68). Норвегия и Чили—газоводные жилы; многие штаты Америки, Австралия, Япония. В СССР: Кавказ—рудные жилы с галенитом, сфалеритом и кварцем; Карельская АССР,—Повенецкий район—вкрапления в кварцитах; Урал—Богословский район и Южный Урал; Сибирь—Красноярский район и Алтай.

Употребление. Одна из главнейших медных руд.

Борнит. Cu_2FeS_3 . Бронзового цвета с пестрой побелюсью. Встречается вместе с халькопиритом.

Дисульфиды

Пирит. Название и греческого, производное от слова «пир» (огонь) благодаря способности давать искры при ударе. Обычно называется серный колчедан (рис. 69).

Химический состав. Двусернистое железо FeS_2 ; серы—53,40%, железа—46,60%. Примеси: медь, золото, селен, никель и кобальт. Выделяясь из расплавленной массы или растворов, пириты захватывают из магмы или из боковых пород и концентрируют благородные металлы и соединения меди в количествах, часто достаточных для эксплуатации (Cu—до 30%).

Внешний вид и физические свойства. Цвет стальной-серый. Сильный металлический блеск. Излом неровный. Плотные массы, вкрапленники и прекрасно образованные кристаллы в виде кубов и пентагональных додекаэдров с характерной штриховкой (рис. 70). Твердость—6—6,5, уд. вес—4,95—5,1.



Рис. 69. Пирит. О. Эльба.

Формы залегания и происхождения. Пирит из сернистых соединений — самый распространенный в земной коре минерал. Он встречается во всех зонах земной коры. В зоне магмы он выделяется кристаллами и скоплениями в изверженных горных породах, особенно гранитного типа. Пары фумарол и горячие растворы выносят его в трещины разнообразнейших пород, где он откладывается часто с рудными минералами. Зона катоморфизма богата вторичными отложениями пирита, синтезировавшегося из различных железистых растворов под действием сероводорода H_2S . Во многих случаях сероводород выделяется при разложении органических остатков, и пирит обычен в осадочных породах, где часто служит окаменяющим цементом раковин, деревьев и др.



Рис. 70. Формы кристаллов пирита, с характерной штриховкой.

В зоне анатоморфизма пирит образуется часто на контактах изверженных пород с осадочными (известняки, мерзели), а также со сланцами (Рио-Тинто, Испания). Пирит встречается в форма псевдоморфов по многим минералам.

Месторождения. Богатейшие месторождения в Испании, Рио-Тинто, шток 160 км длины и до 21 км ширины, находится на контакте изверженных пород со сланцами. Пирит очень распространенный минерал и встречается повсюду. В СССР: Урал (Кыштым, Березовский завод, Ревда); Кавказ (Чирати-Дзор) — в жилах, связанных с гранитными магмами; Московская обл. — среди осадочных пород в виде конкреций.

Употребление. Основной материал для получения серной кислоты. Медистые шпириты—руда на медь; золотистые—руда на золото; кобальтовые—руда на кобальт.

Марказит. Старинное название, обозначает серный колчедан.

Разность серного колчедана ромбической сингонии в виде желваков, гребенчатых кристаллов (рис. 71, 72). Распространен среди глинистых сланцев, мерделей. При температуре в 450° превращается в шпирит.

Пирротин. Магнитный колчедан. От греческого слова «пирротес»—красноватый.

Химический состав.



Внешний вид и физические свойства. Редко бывает ясно кристаллизован, и тогда кристаллы его имеют вид сплюснутых гексагональных табличек. Обычно находится в зернистых плотных скоплениях. Цвета бронзово-желтого с красноватым оттенком. Магнитен.



Формы залегания и происхождения. Встречается часто в рудных жилах и иногда в качестве магматического выделения в горных породах гранитного типа.

Пирротин особенно легко образуется при более высоких температурах. Наблюдались

[Рис. 71. Марказит (копьевидный). Ясно видна ромбическая сингония кристалла, придающая марказиту своеобразную копьевидную гребенчатую форму.] превращения шпирита в пирротин (псевдоморфозы пирротина по шпириту) под действием гранитных магм на пиритосодержащие сланцы. При опытах установлено, что пирротин следует рассмотреть, как твердый раствор серы в сернистом железе. Разложение пирротина на шпирит и серу легко обратимо. При 380° пирротин в атмосфере сероводорода переходит в шпирит, а при 574° происходит обратная реакция.

Месторождения. Пиренейские горы. Кавказ—Садоуский рудник. Хибинские горы (Мурман).

Шлейсовый кобальт, CoAs_2 , мышьяка—71,80%, кобальта—28,20%. Двумышьяковый кобальт. Оловянно-белого цвета. Блеск металлический. Твердость—5,5—6, уд. вес—6,4—6,6. Встречается в силикатных массах, в рудных жилах и в кристаллах кубической сингонии, напоминающих кристаллы шпирита. Вместе с ним встречается двумышьяковый никель NiAs_2 (хлорит).

Кобальтин. Сульфоселенид кобальта CoAsS ; серы—19,30%, мышьяка—45,20% кобальта—35,50%. Встречается в рудных жилах, часто в кристаллах, похожих на кристаллы серного колчедана кубической сингонии. Встречается в Швеции, Норвегии; в СССР—на Кавказе (Даш-

песчанское месторождение Азербайджанской ССР), где он образует залежь, мощностью до 0,2 м.

Употребляется на изготовление синей краски — шмальты для окрашивания стекла.

Есть еще группа кобальто-никелевых соединений, как: гарддорфит, ульманит и других сомнительных и неопределенных, которые к тому же являются редкими.

Арсенопирит. Мышьяковый колчедан.

Химический состав. Сульфоарсенид железа FeAsS или $\text{FeS}_2 \cdot \text{FeAs}_2$; мышьяка — 46,0%, серы — 19,7%, железа — 34,3%. Часть железа иногда замещается кобальтом (аналит). В некоторых месторождениях содержит подмесь золота (Кочкар, близ Оренбурга).

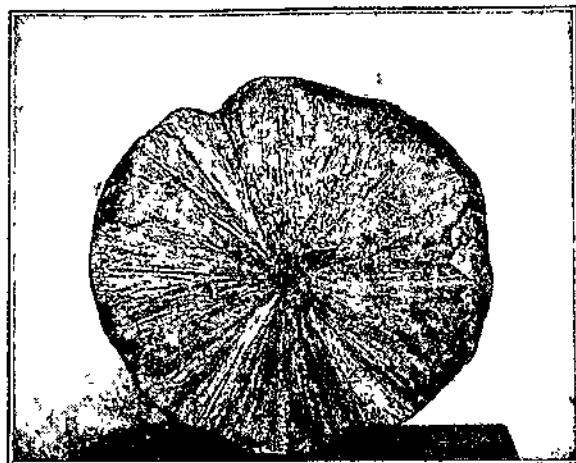


Рис. 72. Марказит (лучистый). Пиреней.

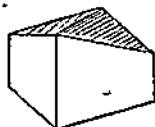


Рис. 73. Арсенопирит. Комбинация двух ромбических призм.

Внешний вид и физические свойства. Цвет серебристо-белый. Блеск металлический. Хрупок. Твердость—6, уд. вес—5,9—6,2. Встречается зернистыми и шестоватыми агрегатами, а также выросшими кристаллами ромбической сингонии (рис. 73).

Формы залегания и происхождение. Мышьяковый колчедан представляет собой спутника других минералов рудных жил. Выпадает из горячих водных растворов в связи с застыванием магмы и характеризуется наиболее глубинные жилы в горизонтах, близких к магматическому очагу.

Месторождения. Саксония — в колчеданных свинцово-рудных жилах Фрейберга и в слюдяно-каменных жилах Саксонских рудных гор.

В СССР известен на Кавказе, на Урале — в золотоносных кварцевых жилах вместе с пиритом и во многих местах Сибири.

III класс. СУЛЬФОСОЛИ

В этой группе сера аналогична кислороду в кислотах типа угольной H_2CO_3 , серной H_2SO_4 , фосфорной H_3PO_4 и др. Минералы представляют собой соли сульфокислот трехатомных мышьяка, сурьмы и висмута. Основные кислоты: орто— H_3AsS_3 и т. п., мета— H_2AsS_2 и некоторые другие. Металлы, входящие как основания, — главным образом медь, серебро, свинец, а также цинк, ртуть и железо.

Обширная группа сульфосолей недостаточно изучена и вероятно могла бы быть сведена к немногим основным минералам.

Темнокрасная сурьмяно-серебряная руда. Пираргирит от «шор» — огонь и «аргюрос» — серебро.

Химический состав. Ag_3SbS_3 или $3Ag_2S.Sb_2S_3$; серы — 17,8%, сурьмы — 22,3%, серебра 59,9%. Иногда примесь мышьяка. Светло красная мышьяково-серебряная руда (прустит), имеет состав: As_3AsS_3 или $3Ag_2S.As_2S_3$.



Рис. 74. Идеальный разрез рудной жилы с минералами группы сульфосолей, показывающий их положение в жиле

Цвета этих минералов видны по названиям. Твердость — 2—2,5; уд. вес — около 5. Оба минерала встречаются в рудных жилах и отлагаются горячими ювенильными растворами.

Месторождения. Саксония, Гарц, Богемия, Норвегия, Сев. Америка (Колорадо, Аризона).

Бурнонит. Назван в честь кристаллографа Бурнона $(Pb, Cu)_3Sb_2S_6$; серы — 19,8%, сурьмы — 24,7%, свинца — 42,5%, меди — 13,0%. Встречается в рудных жилах Саксонии, Венгрии, Мексики и Чили.

Блеклая медно-сурьмяная руда. **Химический состав.** Обычно $Cu_3Sb_2S_7$ или $4Cu_2S.Sb_2S_3$; серы — 23,1%, сурьмы — 24,8%, меди — 52,1%. Сурьма может замещаться мышьяком до полного замещения. Тогда минерал имеет формулу $4Cu_2S.As_2S_3$ и называется медно-мышья-

яковой блеклой рудой (теннантит). Медь может замещаться серебром до 31%, ртутью—до 24%. Кристаллизуются все виды блеклых руд в тетраэдрах прекрасными кристаллами, отчего носят еще название тетраэдрит (рис. 75).

Внешний вид и физические свойства. Хрупкий. Твердость 3—4; Уд. вес—3,4—5,1. Цвет стальпосерый до железночерного. Блеск металлический, тусклый, иногда с пестрой или темной побелалостью. Излом неровный.



Рис. 75. Кристаллы тетраэдрита

Формы залегания и происхождение. Блеклые руды скопляются обычно в средних частях рудных жил, связанных с зоной малмы. Ниже идут медный и серный колчеданы, свинцовый блеск, сфалерит; выше—зона окисления. Таким образом блеклые руды выделяются из горячих водных растворов в конце, после отложения других сернистых минералов. Парагенетически часто они связаны с сидеритами, что указывает на реакции в восстановительной среде.

Месторождения. Германия—Клаусталь; Венгрия—Кайник; Англия—Корнуэльс; Америка. В СССР—Березовский завод близ Свердловска.

IV класс. ГАЛОИДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

БЕЗВОДНЫЕ ХЛОРИДЫ И ФТОРИДЫ

Каменная соль. Галит (рис. 76).

Химический состав. Хлористый натрий, NaCl ; хлора—60,60%, натрия—39,40%. Обычно—примеси сульфата кальция, CaSO_4 ; хлористого кальция, CaCl_2 ; хлористой магнезии, MgCl_2 , а также сульфата магнезии, которая придает ей горький вкус.

Внешний вид и физические свойства. Цвет белый до прозрачного. От примесей серый, розовый, синий. Вкус соленый. Твердость—2,5; уд. вес—2,1—2,2. Весьма совершенная спайность по кубу. Редко кристаллы в виде кубов. Прозрачен для тепловых лучей.

Формы залегания и происхождение. Каменная соль залегает пластами в осадочных горных породах вместе с гипсом и ангидритом. Залежки соли приурочены к различным геологическим системам. Они встречаются даже в древнейших пластах силурийского периода, как например в американских месторождениях, но главным образом залежки соли встречаются в отложениях пермского периода. В этот период образовались все важнейшие месторождения соли Европы (Стасфурт в СССР, Илецкая защита, Артемовск).

Образование каменной соли шло по следующей схеме:

$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ эвексит; $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ альбит и др. (CaCl) $\text{Ca}_4(\text{PO}_3)_3$ апатит
(Минералы изверженных пород, главным образом содержащие натрий и хлор)

Различные натровые и хлористые соединения водных растворов пояса
выветривания
 NaCl в растворе вод океанов и морей

NaCl каменная соль—отложения морских лагун, заливов, где шло усиленно испарение

Таким образом в конечном счете каменная соль—химический морской осадок. Параллельно с ней связана с глинами и гипсами, предохраняющими пласты соли от размывания. Многие соляные озера (Баскунчак и др.) обязаны своим происхождением залежам каменной



Рис. 76. Каменная соль. Величка, Галиция.

соли в глубине. Также месторождения могут быть названы вторичными. Источники, пробиваясь наверх через пласты каменной соли, выносят ее на поверхность и питают соляные озера.

Каменная соль встречается наконец в качестве продукта volcanism на лавах в виде корок.

Месторождения. Каменная соль встречается во всех странах. Наиболее известные ее местонахождения: Германия (Стассфурт), Америка (шт. Нью-Йорк и многие др.); Испания (Кардона); Япония; Галиция—обширные залежи Велички, у Крайова. В СССР—миллиардные залежи близ Артемовска и в Илецкой защите, близ Оренбурга. Соляные озера к неисчерпаемым запасам соли—Баскунчак и Эльтон, Нижневолжского края. Многочисленные соляные источники Усоля, Уральской обл. дают значительное количество выварочной соли. Лиманы Крыма (Генческ)

служат также источником значительной добычи. Многочисленные месторождения соли и соляные озера известны в Сибири.

Хлористый калий. Сильвин — от искусственной соли Сильвия де ла Бах.

Химический состав. Хлорид калия KCl ; хлора — 47,6%, калия — 52,4%. Часто содержит примесь хлористого натрия.



Рис. 77. Кристалл Сильвина. Стассфурт, Германия.

Внешний вид и физические свойства. Цвет белый, голубой или желто-красный, от включений. Растворим в воде. Вкус соленогорький. Образует зернистые и плотные массы. Редко в хороших кристаллах кубической сингонии (рис. 77). Твердость — 2; уд. вес — 1,97—1,99. Блеск стеклянный.

Формы залегания и происхождение. Сильвин встречается гнездами и слоями в осадочных породах вместе с каменной солью и другими солями, представляющими химические морские осадки. Образовался он, как химический осадок, из насыщенных растворов морской воды в прежние геологические периоды. В редких случаях встречается, как выделение вулканов на лавах.

Месторождения. Стассфурт, близ Магдебурга в Германии. Галиция около Калуша. В СССР очень крупное месторождение открыто в Соликамске, Уральской обл.

Употребление. Как удобрение имеет огромное значение для земледелия. В химической промышленности идет для приготовления многочисленных препаратов калия.

Хлористое серебро $AgCl$ (кераргерит — что значит роговое серебро), бромистое серебро и иодистое серебро — встречаются редко в верхних частях жил с другими серебряными рудами. От действия света разлагаются.

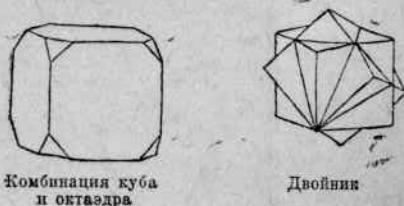


Рис. 78. Форма кристаллов плави-
кового шпата

Плавиковый шпат. Флюорит (рис. 79 и 80). Назван так потому, что употребляется как пламень при плавке руд.



Рис. 79. Плавиковый шпат. Кумберлэнд, Англия.

Химический состав. Фтористый кальций CaF_2 ; фтора—48,9%, кальция—51,1%. Хлор иногда присутствует в ничтожных количествах.

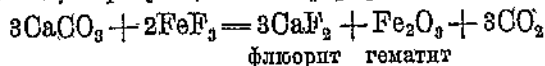


Рис. 80. Плавиковый шпат. Кумберлэнд, Англия.

Внешний вид и физические свойства. Цвет белый, желтый, зеленый, розовый, фиолетовый, синий, коричневый. Часто прозрачен.

Блеск стеклянный. Обладает весьма совершенной спайностью по 'окта'-
эдру. Твердость—4; уд. вес—3,01—3,25. Встречается в прекрасных
кристаллах в виде кубов (рис.78). Кубической сингонии. Многие раз-
ности флуоресцируют в темноте после держания их на свету или при
осторожном нагревании.

Формы залегания и происхождение. Флюорит встречается глав-
ным образом в жилах среди изверженных горных пород и связан с го-
рячими водными растворами зоны магмы. Рудные жилы, свинцовые и
цинковые, обычно содержат флюорит. Контактные месторождения железн-
ного блеска, медных руд и пр., в особенности в области копритососнове-
ния с известняками, образованные действием горячих газов и паров,
богаты флюоритом, образующимся по формуле:



Кроме того он встречается среди известняков, сланцев и других
осадочных пород, возможно, в связи с дислокациями земной коры в мес-
тах, лежащих вблизи областей разлома. Но генезис флюорита в этой
форме его залегания недостаточно изучен. Редко встречается в виде воз-
носов вулканов на лаве.

Месторождения. Франция; Англия — Кумберленд, Корнуэльс и
др.—вместе со свинцовыми рудами; Германия — рудные жилы Сак-
сонии, Гарца; Финляндия — у Питкяранты — с оловянным камнем; мно-
гие штаты Америки. В СССР встречается на Урале — изумрудные копи
вблизи Свердловска, дер. Баево. В Средней Азии и в Сибири также
известен ряд крупных месторождений флюорита.

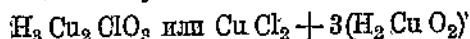
Употребление. При металлургических процессах в виде плавняка.
Для получения фтористоводородной (плавиковой) кислоты.

Криолит (от «криос» — лед и «литос» — камень) — ледяной камень.
Название указывает на внешний вид минерала.

Фтористый натрий и алюминий Na_3AlF_6 или $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$. Фтора
54,4%, алюминия 12,8%, натрия 32,8%. Белый, полупрозрачный.
Плотные массы в жилах газо-водного типа среди гранита. Един-
ственное мощное месторождение — в Гренландии. Небольшие количества
встречены близ Миасса, в Ильменских горах.

Применяется как главная составная часть ванны при электролити-
ческом получении алюминия.

Атакамит. Название от пустыни Атакама в Чили. Зеленого цвета.



Зернистые и шестоватые массы. Встречается с малахитом, вул-
критом и другими медными рудами в доях выветривания.

Месторождения. Чили, Аризона, Австралия.

ВОДНЫЕ ХЛОРИДЫ

Карналлит. $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Хлора 38,3%, калия 14,1%, маг-
ния 8,7%, воды 39,0%. Обычно зернистые массы молочно-белого
и красноватого цвета. Горький вкус. Отложение морей. Встречается
в Стассфурте вместе с сальвином, каменной солью и др. (рис.81).
В СССР карналлит найден в большом количестве в Солнечном Урале—

ской обл., где он может служить неисчерпаемым источником получения магния. Важный продукт для сельского хозяйства как удобрения. В Стассфурте же встречаются расплывающиеся соли:

Бишофит, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Тахидрит, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Эти соли встречаются в озерах и лиманах побережья Черного моря и во многих озерах Сибири.

V класс. ОКИСЛЫ

Окислы имеют большое значение в минералогии земной коры. Более 10% ее составляет один кремнезем. В зоне магмы исключительно важную роль играет кварц как породообразующий минерал и как важнейшее составное горячих водных растворов. Затем идет корунд в светлых кислых породах; магнетит и хромит — в темных основных. В поясе выветривания широко распространены бурый железняк и осадочный кремнезем. Окислы делятся

Рис. 81. Разрез Стассфуртского месторождения калиевых солей (Германия).

на три группы:

1. Окислы кремния.
2. Окислы полуметаллов (мышьяка, сурьмы и пр.).
3. Окислы металлов.

ОКИСЛЫ КРЕМНИЯ

Кварц. Происхождение названия неизвестно¹.

Химический состав. Двуокись кремния SiO_2 ; кислорода—53,3%, кремния—46,7%.

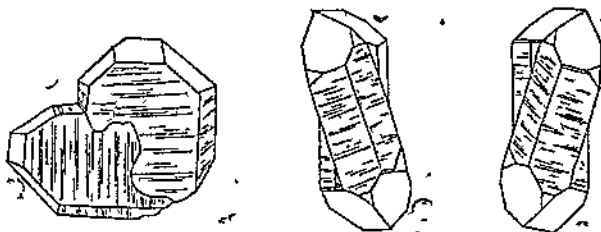


Рис. 82. Двойниковые сростки кристаллов кварца.

¹ Существует указание на то, что название происходит от польского слова «тверды»; так характеризовали его рудокопы в Силезии в отличие от других минералов, встречающихся при добычании руд.

Внешний вид и физические свойства. Кварц встречается в кристаллическом и скрытокристаллическом виде. Твердость—7; уд. вес—

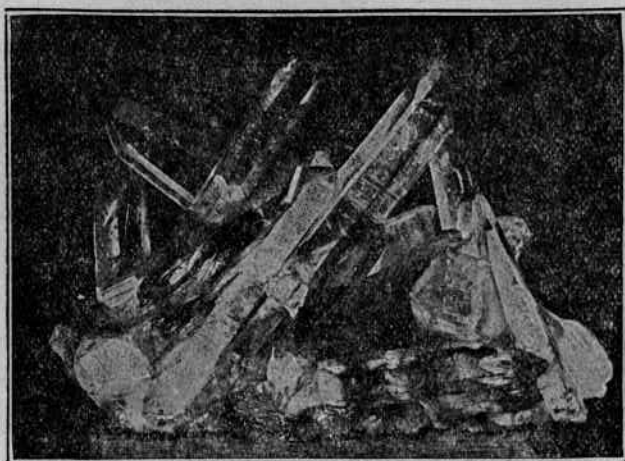


Рис. 83. Кварц. (Горный хрусталь). Дофине, Франция.

2,65. Кристаллы—гексагональной сингонии, обладают богатством форм и часто прекрасно образованы (рис. 82). Встречаются большей частью друзами, выросшими в трещинах и пустотах различных горных пород (рис. 83). По цвету различают следующие разновидности кристаллического кварца: прозрачные кристаллы—горный хрусталь, фиолетовые—аметист, желтые—цитрин, дымчатые—дымчатый горный хрусталь, черные—морион, зеленые от включений лучистого камня—празем. Плотные разновидности кварца тоже различаются по цвету: серого цвета, полупрозрачный—обыкновенный кварц; белый непрозрачный—молочный кварц; розовый—розовый кварц (ювелирный и поделочный камень).

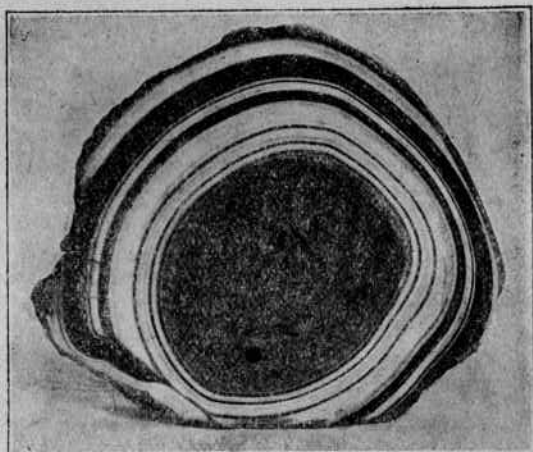


Рис. 84. Агат. Бразилия.

Халцедон (от местности Хальцедония в Малой Азии) образует обычно гроздеобразные, почковидные, сталактитобразные массы, мелкопористые, иногда содержащие жидкость внутри (энгидрос). Полосатые и цветные разновидности халцедона имеют различные названия: краснова-

тая — сердолик; зеленая — хризопраз; полосатая — агат (рис. 84); луковозеленая — плазма; зеленая с красными пятнами — геллотриол. Плотные массы кварца в смеси с глинистыми веществами разных цветов носят название — яшм. Яшмы бывают: красные, зеленые, бурые, коричневые, полосатые, матового блеска, очень плотные и непрозрачные.

Роговой камень (роговик) — кварц, похожий на рог, серый или желтоватый с занозистым изломом. Минерал зоны анаморфизма.

Кремень. Кремнистые желваки в осадочных породах, главным образом в известняках и мергелях, желтоватого и черного цвета с раковинистым изломом. Происходит часто в связи с окременением остатков морских организмов. Органическое вещество, подвергавшееся действию кремнекислых растворов, само переходит в раствор, а кремнекислота отлагается в виде кремнистых стяжений:

Органическое вещество $+ \text{SiO}_2 \cdot n \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{SiO}_2$ (кремень) $+ \text{H}_2\text{O}$
раствор с органическим веществом).

Кварц и его разновидности не имеют спайности и характеризуются раковинистым изломом.

Кварц нередко содержит значительные включения, определяющие его цвет и окраску. Кварц, проросший слюдой в виде эллиптических чешуек, называется авантюрином. Кварц, проросший красноватыми иглами рутила или зеленоватыми иглами актинолита, называется волосятиком. Кристаллы кварца часто содержат включения жидкой углекислоты, воды и различных газов.

Кварц часто образует псевдоморфозы, чаще всего по органическому веществу — дереву (окаменелое дерево), раковинам, а также по различным минералам — кальциту, бариту, гипсу, флюориту и др. Псевдоморфозы кварца по волокнистой разновидности роговой обманки с желтыми переливами цветов носят название тигровый глаз.

Оптические свойства кварца чрезвычайно характерны. Различают правый и левый кварц, так как разности кварца вращают плоскость поляризации света и дают при вытравливании на плоскостях кристалла фигуры разной ориентировки. В кристаллах кварца, выросших в трещинах изверженных пород, преобладает призма, а в кристаллах, возникших при действии высокой температуры, например в порфирах, призма исчезнет и кристаллы являются в форме гексагональных пирамид, состоящих из двух ромбоэдров. То же отсутствие призмы наблюдается на кристаллах кварца из осадочных пород. Изучение связи кристаллической формы с генезисом минерала представляет одну из интереснейших проблем современной минералогии. Необычайное богатство форм и разнообразие генезиса кварцевых образований дает богатый материал для разработки этого вопроса.

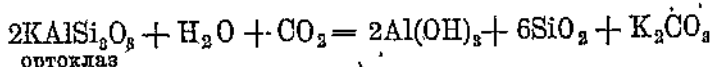
Кристаллы кварца, представляющие собой параллельные сростки и кристаллические комплексы, достигают огромных размеров в сотни килограммов весом и имеют форму одного кристалла.

Формы залегания и происхождения. Кварц самый распространенный минерал в земной коре. Встречается во всевозможных формах —

дейками, жилами, включениями, желваками, цементом различных пород, песками и т. п.

В зоне магмы кварц является порообразующим минералом изверженных горных пород, из которых главные: гранит, гранит-порфир, кварцевый порфир, риолит, кварцевый диорит, дацит и некоторые другие. Обычно в виде неправильных зерен темного и серого цветов, в порфирах же часто в хорошо образованных кристаллах. Кварц выделяется в жилах, дейках и является основным минералом магматитовых жил. Эти образования связаны с действием паров воды и водных растворов зоны магмы. Из этих же горячих водных растворов выпадают прекрасные кристаллы кварца в рудных жилах. Пустоты в изверженных горных породах заполняются кремнекислыми образованиями в виде агатов.

В зоне метаморфизма кварц образуется в огромных количествах при выветривании силикатов. Так ортоклаз при выветривании дает:



Громадное количество минералов, силикатов, разлагаясь аналогично вышеприведенной формуле, дает значительное количество свободной

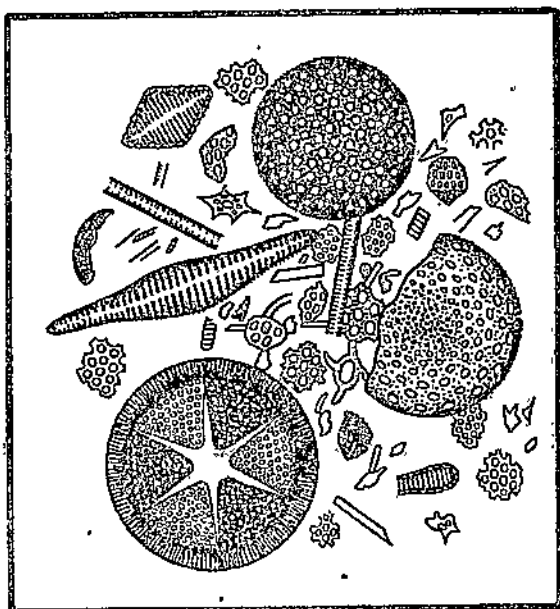


Рис. 85. Кизельгур под микроскопом.

кремнекислоты. В поясе поверхностного выветривания кварц скопляется в виде песка и галек. Эти пески, цементированные растворами кремнезема в поясе цементации, дают кварцы и песчаники. В морях кварц отлагается в виде скорлупы радиоларий и других морских организмов. Эти скопления называются: трепанг, горная мука, или кизель-

гур и залегают среди осадочных пород (рис. 85). Водные растворы зоны катаморфизма отлагают кварц в трещинах и пустотах осадочных пород.

В зоне анаморфизма кварц из кремнекислых растворов и из продуктов выветривания выделяется в виде включений и жил в сланцах и мраморах. Метаморфизованные пески образуют горную породу — кварцит.

В области контактов кварц дает прекрасные кристаллы, друзы и щетки.

Месторождения кварца повсеместны. Красивыми кристаллами славится Мадагаскар, Альпы (Тироль, Дофине), Урал (Мурзинка Березовск), Сибирь (Нерчинский район), Кавказ (Казбек) (рис. 86).

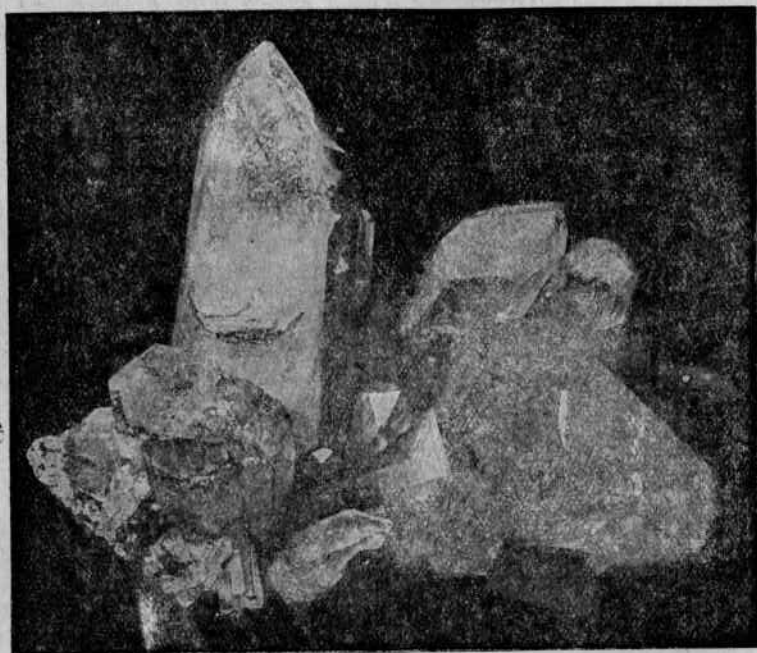


Рис. 86. Друза горных хрусталей. Куро-Цвили, Кавказ. (Минерал. музей Института прикладной минералогии).

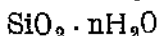
Употребление. Прозрачные разновидности идут для оптических приборов. Чистый кварц без примесей употребляется для приготовления стекла и как флюс для плавки руд. Плавленный кварц идет для лабораторной посуды. Цветные разновидности идут на поделку и огранку как полудрагоценные камни. Пески — для строительных работ и для варки стекла. Кизельгур употребляется как шлифовальный материал и для приготовления динамита.

Тридимит, SiO_2 . Разновидность кремнезема в виде тонких гексагональных пластинок, ромбической сингонии (рис. 87). Встречаются в вулка-

нических породах (андезитах, трахитах) в микроскопически мелких кристаллах.

Опал. Название происходит от греч. *opallios* (лат. *opallus*, «белый камень»).

Химический состав. Кремнезем с различными количествами воды,



Внешний вид и физические свойства. Полупрозрачен, жирный блеск, аморфен. Разных цветов. Прозрачный опал в виде стеклянных натеков — гиаит; красножелтый прозрачный — огненный опал; играющий разными цветами (влияние тонких трещин) — благородный опал. Твердость — 5,5; уд. вес — 2,15—2,30.

Формы залегания и происхождение. Опал встречается, главным образом, в осадочных порных породах в зоне катаморфизма. Отлагается он из водных растворов, часто из горячих вод даже современных источников (гейзеры Йеллстонского парка в Америке, гейзеры Исландии и др.). Опал выполняет трещины, пустоты, образуя при этом натечные формы. Иногда он является цементом, главным образом глинистых и кремнеземистых отложений (опока, менилиты и пр.). Кроме того опал образуется при разрушении силикатовых минералов так же, как кварц. Наконец опал образуется в результате жизнедеятельности организмов и представляет собой остатки этих организмов. Часто встречаются псевдоморфозы опала по дереву, так называемый деревянный опал.

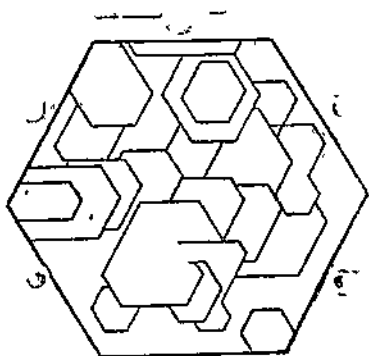


Рис. 87. Схематический чертеж группы пластинок тридимита.

Месторождения. Опал встречается повсеместно. Гиаит встречается в Трансильвании в пустотах лав, как продукт поствулканических процессов, протекающих при избытке воды, дающей выделения водного кремнезема. Благородный опал известен в Венгрии, Мексике и Австралии — в трещинах кварцитов, песчаников и пустотах трахитов. В СССР — Иерзинский район.

ОКИСЛЫ ПОЛУМЕТАЛЛОВ

Эта группа минеральных тел редко встречается и не имеет никакого практического значения. Сюда относятся: арсенолит — As_2O_3 , селармонит — Sb_2O_3 , теллуриит — TeO_2 и др. Все они встречаются в шихе поверхностного выветривания.

ОКИСЛЫ МЕТАЛЛОВ

Группа окислов металлов имеет большое значение в минералогии земной коры. Одна часть является породообразующими минералами изверженных пород, как юфунд, магнетит, хромит, ильменит, рутил; другая часть встречается в зоне катаморфизма и яв-

ляется продуктом выветривания, как например боксит, лимонит, куприт и пр. Группа делится на 2 подгруппы: 1) безводные окислы и 2) водные окислы.

Безводные окислы

Куприт. Название от латинского слова «купрум» — медь.

Химический состав. Окись меди Cu_2O ; кислорода — 11,2%, меди — 88,8%.

Внешний вид и физические свойства. Цвет от красного до красновато-черного. Блеск алмазный, полуметаллический (кроме землистых разновидностей). Твердость — 3,5; уд. вес. — 5,8—6,2. Хрупок. Часто встречается в кристаллах кубической сингонии в виде небольших октаэдров (рис. 88). Обычно же плотными массами, землистыми скоплениями, а также тонковолокнистыми агрегатами.

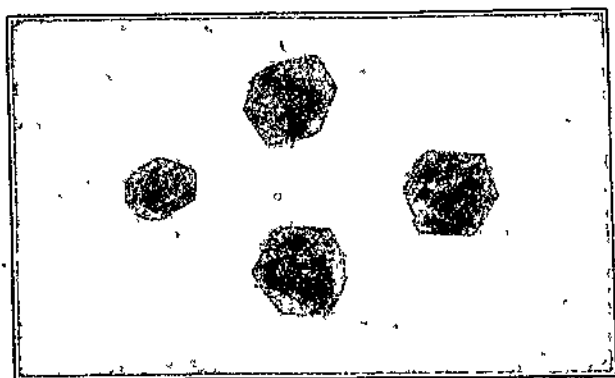
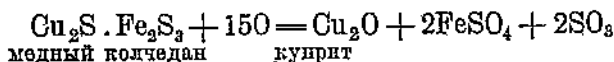


Рис. 88. Кристаллы куприта. Шесси близ Лиона, Франция.

Форма залегания и происхождение. Встречается в верхних частях меденосных жил, вместе с малахитом, кремнистой медной рудой, кварцем, кальцитом и т. п. Образуется из разложения колчеданистых медных руд, например:



Чистых реакций в природе почти нет, здесь идет масса побочных реакций с кремнеземом, с угольной кислотой и серной кислотой, поэтому куприт образуется вместе с вышеперечисленными минералами распада сернистых медных руд.

Месторождения. Франция, Южная Австралия, Чили. В СССР — Урал (Нижний Тагил, Меднорудянский, Богословск).

Употребление. Хорошо плавящаяся медная руда.

Цинкит, ZnO . Красного цвета от достоянной примеси марганца. Встречается вместе с франклинитом и виллемитом в некоторых американских месторождениях. Употребляется в радиотехнике для детекторов.

Тенорит, CuO . Черного цвета. Порошкообразные массы. В поясе выветривания медно-рудных жил на Урале (Меднорудянский).

Корунд. Обычно чистый глинозём Al_2O_3 ; Кислорода — 47,1%, алюминия — 52,9%.

Внешний вид и физические свойства. Кристаллизуется в виде боченкообразных кристаллов гексагональной сингонии разных размеров (рис. 89 и 90). Цвет серый, голубой, синий. Синий прозрачный корунд называется сапфиром; красный прозрачный — рубином. Твердость исключительная — 9, выше чем у всех других минералов, кроме алмаза. Совершенная спайность в одном направлении. Мелкозернистые массы корунда часто в смеси с Fe_2O_3 называются наждаком.



Рис. 89. Форма кристаллов корунда. Гексагональная призма, гексагональные бипирамиды, ромбоэдр и пинакOID.



Рис. 90. Природные кристаллы корунда.

Формы залегания и происхождение. Главным образом корунд встречается в кристаллах вместе с полевым шпатом и слюдой в гранитных породах, а также в пералитовых жилах, где выделяется из расплавленных магм. Кроме того встречается в зонах анаморфизма в мраморах и доломитах, в области контактов их с изверженными силикатовыми породами. В россыпях корунд находится в виде галек.

Месторождения. Америка, Австралия. Рубин и сапфир — о. Цейлон, Бирма и Индия. Наждак — Малайя Азия (о. Нахсос). В СССР Урал — Ильменские горы, Семиз Бугу, Кыштымский район (наждак) и др. места.

Употребление. Для полифовальных кругов (особенно наждак). Прозрачные разновидности рубина и сапфира — драгоценные камни 1 класса.

Красный железняк. Гематит — от «гема» по-гречески — кровь.

Химический состав. Безводная окись железа Fe_2O_3 . Часто наблюдается примесь FeTiO_3 , а также окиси магния. Железа — 70%, кислорода — 30%.

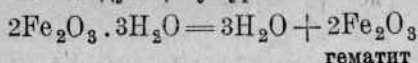
Внешний вид и физические свойства. Цвет от краснобурого до железночерного. Плотные, сланцеватые, оолитовые массы, часто — вкрапления. Иногда находится в виде чешуек (железная слюда — рис. 91), розеток (железная роза — рис. 92). Кристаллы гексагональной сингонии. Псевдоморфоза гематита по магнетиту в форме кристаллов кубической сингонии называется мартитом. Твердость — 5,5; уд. вес — 4,9 — 5,3.

Формы залегания и происхождение. Гематит встречается в метаморфических породах — сланцах, мраморах и др. — пластами и отдельными включениями. Осадочные породы, содержащие бурый железняк $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, подвергаясь давлению и высокой температуре, превра-

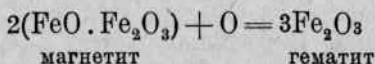


Рис. 91. Железный блеск (железная слюдка).
О. Эльба.

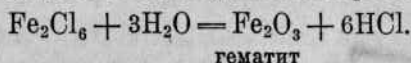
щались в сланцы и другие метаморфические породы, а бурый железняк в них — в гематит по следующему уравнению:



Значительно реже гематит образуется от выветривания магнитных железняков:



Еще более редко кристаллы гематита образуются при вулканических извержениях вследствие взаимодействия паров Fe_2Cl_6 и паров воды:



Наконец гематит выделяется из термальных водных растворов на контакте изверженных горных пород с осадочными.

Месторождения. Прекрасные кристаллы гематита дают о. Эльба; Сен-Готтард в Швейцарии; Этна и Везувий. Залежи плотных руд известны в Норвегии, Швеции, Англии, Саксонии, Сев. Америке.

У нас наиболее богатые залежи красного железняка находятся в СССР по берегам рр. Саксагани и Ингульда. Это так называемые месторождения Кривого Рога. Открытие этих месторождений в 70-х годах создало на юге СССР в течение 10—15 лет огромную железнорудную промышленность. Криворожские месторождения тя-

нуты более чем на 65 км и представляют запас более 46 млн. т руды. Железный блеск с примесью магнитного железняка залегает в железистых кварцитах среди гранито-гнейсов. Кварциты выходят почти на поверхность, почему добыча руд производится открытыми карьерами. Одним из самых замечательных рудников здесь является рудник Карнавата, где огромными открытыми разработками добывалось ежегодно до 200 000 т руды. Вблизи рудников выросли грандиозные чугунолитейные заводы. Построен ряд железнодорожных линий, соединяющих этот район с другими районами СССР.

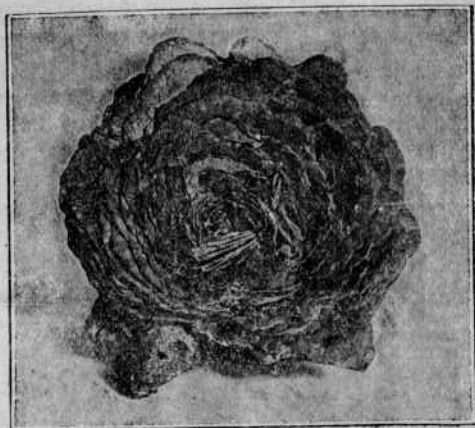


Рис. 92. Железный блеск (железная роза). О-в Эльба.

Днепропетровский район представляет сочетание всех условий, благоприятствующих развитию большой металлургической промышленности. Кроме железной руды здесь имеются: залежи каменного угля, марганцевая руда, известняк, доломит и огнеупорная глина. Поэтому с 90-х годов юг СССР занял первое место по добыче и обработке железных руд и выделке железных изделий.

На Сев. Урале разведано крупное месторождение железного блеска по р. Кутим (Вишерский район).

Употребление. Употребляется как хорошая железная руда.

Титанистый железняк. Ильменит — от Ильменских гор.

Химический состав. FeTiO_3 ; кислорода — 31,6%, титана — 31,6%, железа — 36,8%. Часто содержит магний.

Внешний вид и физические свойства. Цвет железночерный. Блеск полуметаллический. Плотные массы, пластинки, включения, зерна. Кристаллы таблитчатые гексагональной сингонии. Твердость — 5,5; уд. вес — 4,5—5.

Формы залегания и происхождение. Титанистый железняк встречается в связи с изверженными горными породами так же, как и магнетит, в смеси с которым он часто находится. Области контактов и термальные водные жилы при титанистых магмах содержат выделения титанистого железняка. В зоне катаморфизма известны

скопления песков и галек ильменита, как результат механического разрушения изверженных пород.

Месторождения. Норвегия (Арендаль и др.), Канада, Калифорния, в СССР — Ильменские горы, на Южном Урале, на Сев. Урале — Юдрешин камень (месторожденные большого промышленного значения).

Употребление. Руда на титан.

Магнитный железняк. Магнетит (рис. 93). Назван так потому, что некоторые разновидности его являются естественным магнитом.

Химический состав. Магнитный железняк представляет собой минерал, чрезвычайно богатый железом, и считается прекрасной рудой. Содержание железа около 75%, остальные 25% приходятся на кислород. Таким образом в химическом отношении магнетит является соединением железа и кислорода, причем железо в нем находится в двух формах: в форме закиси железа и в форме окиси, в зависимости от чего формула его пишется $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. В магнетите часто присутствует Ti, такие разновидности, богатые титаном, носят название титано-магнетита.

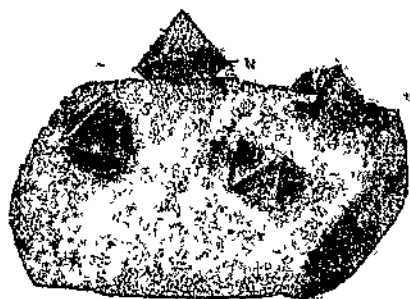


Рис. 93. Кристаллы магнетита в породе.

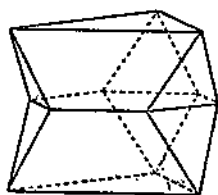


Рис. 94. Двойник магнетита.

Внешний вид и физические свойства. Цвет железночерный. Минерал совершенно непрозрачный даже в тончайших пластинках. Блеск слабый металлический. Твердость — 5,5; уд. вес — 4,9—5,2. Нередко обладает свойствами магнита. Действует на магнитную стрелку. Часто встречаются кристаллы магнетита в виде прекрасных октаэдров (рис. 94). Обычно образует сплошные массы, иногда очень мощные. Встречаются зернистыми выделениями в различных горных породах.

Формы залегания и происхождение. Магнитный железняк образуется в земной коре главным образом тремя различными способами.

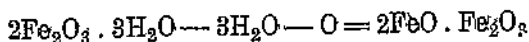
1. Очень часто образование его связано с выделением из изверженных магм. Это магнитный железняк первичного типа. Таковы месторождения его в Швеции и на Урале (гора Благодать). Выходя из глубины земной коры, он кристаллизуется вместе с принесшей его магмой, образуя выделения, а в других случаях мощные пластобразные массы, носящие название шпир.

2. Многие из породообразующих минералов, входящих в состав изверженных порных пород, содержат в себе значительное количество

железа. Таковы: авдит, роговая обманка, гранат — альмандин и др. Содержание окислов железа исчисляется в них от 10 до 40%/о. Выветриваясь под влиянием воздуха и атмосферных вод, проникающих на значительную глубину и циркулирующих в самых плотных породах, они дают во вторичном процессе скопление масс магнитного железняка.

3. Известны крупные месторождения магнетита контактного характера (гора Магнитная на Южном Урале).

4. Среди гнейсов и кристаллических сланцев также встречаются большие скопления магнетита. В этих породах он образуется из других соединений железа, главным образом из бурого железняка действием высокой температуры и огромного давления, господствовавших во время образования гнейсов и сланцев:



По геологическому исчислению образование залежей магнетита относится главным образом к архейской и палеозойской эрам.

Месторождения. Швеция, Норвегия, Америка; в СССР — крупнейшие месторождения на Урале; мировой известностью пользуется гора Благодать. Гора Благодать лежит на Среднем Урале в 1,7 км от Кушвинского завода. Это невысокий (346 м абсолютной высоты) хребет, около 2,2 км длиной. Сложена она из вулканической порной породы — порфира, среди которого на вершинные горы и по восточному ее склону выступают массы магнитного железняка, в виде мощных жил, гнезд и штоков. Открыта гора Благодать в 1735 г. С 1800 г. до настоящего времени с Благодати добыто более 4 млн. т руды.

Гора Высокая, Тагильского района, эксплуатируемая уже около 200 лет, дает лучшую из уральских железных руд. Недалеко от главной залежи находится Лебяженский рудник, где добывается руда с большим содержанием фосфора.

Общие запасы руд обоих месторождений около 54 млн. т. На горе Высокой магнетит залегает в контакте, чередуясь с изверженными породами. Мощность залежей до 12 м. Разрез этого месторождения представлен на рис. 95. Кроме того магнетит добывается на горе Качканар на Среднем Урале и в УССР, около Кривого Рога, где он встречается совместно с гематитом (см. гематит — стр. 181).

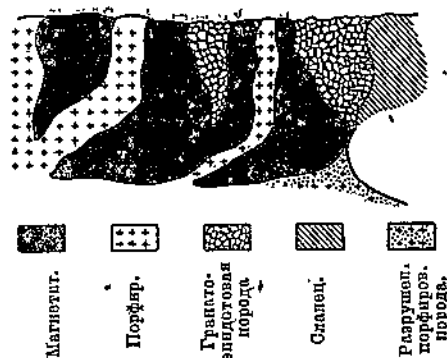


Рис. 95. Разрез месторождения магнетита у г. Высокой, на Урале.

Еще более крупным месторождением магнитного железняка на Урале является гора Магнитная, в 4,5 км от станции Магнитной; со всеми ее отрогами и ветвями она равна 24 км². На рудных запасах основан крупнейший в СССР Магнитогорский завод, входящий в Урало-Кузнецкий комбинат. Рудные залежи расположены среди гранито-диоритовых пород. Из иностранных месторождений славятся залежи на севере

Швеции, особенно гора Гелливар, расположенная в шведской Лалландии.

Шпинель (прохождение названия неизвестно), $MgO \cdot Al_2O_3$. Магний может частью замещаться железом, в таком случае минерал черного цвета (железомagneзиальная шпинель) и называется плеонастом. При замещении части железа хромом мы имеем хромошпинель зеленоватого цвета. Обычная магнезиальная шпинель красного или красноватого цвета. Твердость исключительная—8.

Все шпинели встречаются в кристаллах кубической сингонии, главным образом в хорошо образованных октаэдрах. Шпинель—характерный минерал зоны анаморфизма, часто образуется в контактах магнeзиальных изверженных пород с известняками.

Месторождения многочисленны: Швеция, Финляндия (Паргае); СССР—Южный Урал близ Златоуста, и Кочкарская система.

Употребляются прозрачные разновидности на огранку под рубин и другие драгоценные камни.

Хромистый железняк. Хромит.

Химический состав. $FeCr_2O_4$ или $FeO \cdot Cr_2O_3$; окиси хрома—68,00%, окиси железа—32,00%. Хром частью может замещаться железом.

Внешний вид и физические свойства. Цвет железночерный и коричнево-черный. Плотные и зернистые массы. Сингония ромбическая. Твердость—5,5; уд. вес—4,3—4,6. Блеск от полуметаллического до металлического. Излом неровный.

Формы залегания и происхождение. Наиболее обычны шпоровые выделения хромита в оливиновых основных магмах (рис. 96). Таковы месторождения Норвегии, Австрии. Другая часть месторождений связана с превращением оливиновых пород в змеевит в зоне катаморфизма. Таковы Уральские залежи хромита в Свердловском районе и на Южном Урале. Змеевиты несут в себе обогащенные скопления вторичного хромита.



Рис. 96. Выделения хромита в изверженной горной породе (в перидотите).

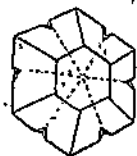


Рис. 97. Тройниковый сросток кристаллов хризоберилла (александрита).

Месторождения. Кроме вышеперечисленных—Канада, Малая Азия (Брусса, Смирна). Мирового значения месторождения находятся в Новой Каледонии.

Хризоберилл («хризос» по-гречески—золото) (рис. 97).

Алюминат бериллия $BeO \cdot Al_2O_3$. Цвет желтый, зеленый. Разность хризоберилла—александрит—днем зеленого, вечером фиолетово-

го цвета. Встречается в пегматитовых жилах. Известен в россыпях с золотом и драгоценными камнями. Встречается в Бразилии, на С. Цейлоне и на Урале. В изумрудных копях на р. Тобовой близ Свердловска.

ДВУОКИСИ

Оловянный камень. Касситерит (от греческого «касситерос» — олово) (рис. 98).

Химический состав. Двухокись олова — SnO_2 ; олова — 78,6%, кислорода — 21,4%. Примеси — Ta_2O_5 и Fe_2O_3 .



Рис. 98. Оловянный камень. Чехия.

Внешний вид и физические свойства. Цвет обычно темный или коричневатый от примесей. В чистых разновидностях бесцветен. Зернистые и плотные массы с алмазовидным блеском. Часто в прекрасных кристаллах, друзах и в двойниках тетрагональной сингонии (рис. 99). Твердость — 6 — 7; уд. вес — 6,8 — 7. Хрупок. Излом неровный.

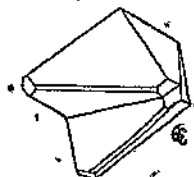
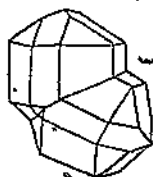
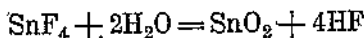


Рис. 99. Формы двойников оловянного камня.

Формы залегания и происхождение. Касситерит связан с кислыми гранитными породами и обыкновенно сосредоточивается в верхних частях гранитных массивов. Жилы оловянного камня образовались под влиянием пневматолитических процессов при участии фтористых соединений. На это указывает парагенезис его с флюоритом, литмевой слюдой, топазом и турмалином. Боковые породы оловянно-каменных жил обычно значительно видоизменены и превращены в так называемый грейзен. Реакцию образования оловянного камня можно представить в следующем виде:



оловянный
камень

Рутил. Название происходит от «рутилус» — красный.

Химический состав. Двухкись титана TiO_2 ; титана — 60,00%, кислорода — 40,00%.

Внешний вид и физические свойства. Цвет красновато-коричневый, иногда желтоватый и даже голубоватый. Блеск металлический. Хрупок. Излом неровный. Твердость — 6; уд. вес — 4,18—4,25. Встречается кристаллами в виде призм тетрагональной сингонии или сростками кристаллов. Грань нецентрирована. В кристаллах ортоэдрической формы встречается полиморфная разность TiO_2 , называемая ортоэдриком (анатаз). В кристаллах ромбической сингонии красного цвета и полупрозрачных известна другая разность TiO_2 , называемая брукитом.

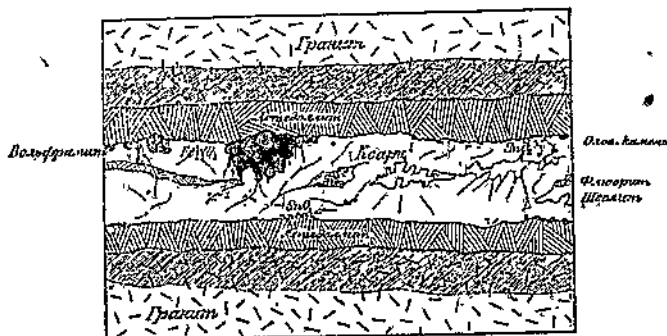
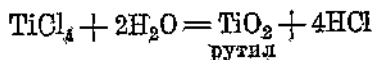


Рис. 101. Жила в граните с оловянным камнем и сопутствующими ему минералами. Цинивальд. Схематический разрез (по Весу).

Формы залегания и происхождение. Рутил встречается в изверженных породах вместе с кварцем, который он часто прорастает своими кристаллами — иглами. Встречается также в пегматитовых жилах. Образование рутила в магмах и пегматитовых жилах в присутствии паров воды идет по схеме:



Второй тип месторождений рутила — это зона анаморфизма, где он образуется в кристаллических сланцах. Вышеописанные разности рутила встречаются главным образом в метаморфических породах в виде отдельных кристаллов.

Месторождения. Альды, штат Геorgia в Сев. Америке, откуда известны наиболее крупные кристаллы. Изумрудные горы и многие другие месторождения на Урале.

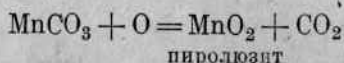
Имеет практическое значение как руда на титан.

Пиролозит. Название от «пир» — огонь, «лоо» — муть, в знак того, что минерал обесцвечивает железистые (бурыло-зеленые) стекла.

Химический состав. Перекись марганца MnO_2 , обычно содержит немного воды.

Внешний вид и физические свойства. Встречается в черных зем-
листых массах, иногда в тонкоигловчатых кристаллах ромбической
сингонии и в виде псевдоморфоз по манганиту и другим минералам. Мя-
гок. Твердость — 2; уд. вес — 4,7—4,8. Разность, кристаллизующую-
ся в тетрагональной сингонии, называют полианитом.

Формы залегания и происхождение. Образуется в поясе вывет-
ривания из других марганцевых минералов. Встречается вместе с ман-
ганитом и псиломеланом. Среди осадочных пород встречается в виде
конкреций, желваков и оолитов. Является прибрежным отложением тре-
тичного моря в наиболее известных месторождениях Урала и юга СССР.
На дне современных морей находится желваками в глубоководном иле.
Парагенетически связан с осадочными железными рудами. Выпадает
из водных растворов аналогично железу, часто при участии жизнедея-
тельности организмов. Наблюдается переход углекислого марганца в
пирролюзит:



Месторождения. В СССР месторождения находятся среди тре-
тичных осадков Мариупольского округа, в Кривом Роге и в Чигатурах,
на Кавказе. Чигатуры — мирового значения месторождение, занимаю-
щее площадь свыше 140 км². На Урале такого же типа залежи Бого-
словского округа. На Южном Урале пирролюзит связан с яшмами и от-
носится к зоне анаморфизма.

Употребление. Хорошая руда на марганец.

Водные окислы

Манганит (манганум — по-латыни значит марганец) (рис. 102),
Mn₂O₃ · H₂O; марганца — 62,4%, кислорода — 27,3%, воды — 10,3%. Ча-



Рис. 102. Манганит. Илефельд, Германия.

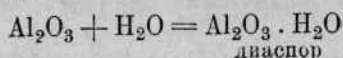
сто в призматических кристаллах ромбической сингонии. Цвет стально-серый. Блеск полуметаллический. Твердость—4; уд. вес—4,2—4,4. Связан с гранитами и порфирами; встречается в жилах, выделяясь посредством выщелачивания водой боковых пород, а также совместно с широзитом в зоне катаморфизма. Встречается в Саксонии, на Гарце. В СССР — на Кавказе и Урале.

Диаспор (рис. 103). От греческого «диаспейро» — он рассыпается перед паяльной трубкой. $Al_2O_3 \cdot H_2O$. Шестоватые, пластинчатые кристаллы желтоватого цвета. Ромбической сингонии. Совершенная спайность в одном направлении; блеск перламутровый. Твердость — 6,5;



Рис. 103. Диаспор. Косой Брод, Урал.

уд. вес—3,3—3,5. Встречается в месторождениях корунда и быть может представляет продукт изменения корунда и наждака термальными водами на глубине



Возможно, что диаспор образуется при разрушении некоторых силикатов, например:



В СССР встречается главным образом на Урале близ д. Косой Брод. Практического значения не имеет.

Гетит. Назван в честь Гёте (Goethite).

Химический состав. $Fe_2O_3 \cdot H_2O$. Таблитчатые и игольчатые кристаллы ромбической сингонии, красного или бурого цвета.

Формы залегания и происхождение. Встречается вместе с бурым железняком и кварцем, иногда в виде включений в кварце. Образуется в зоне поверхностного выветривания.

Месторождения. Онежское озеро (Волк-остров). Обычно встречается совместно с лимонитом.

Лимонит, или бурый железняк. Слово «леймон» — по-гречески значит луг (рис. 104).

Частое нахождение этого рода железной руды в болотных лугах и дало повод назвать ее лимонитом. Бурым железняком называют ее за цвет, резко отличающий лимонит от других железных руд.

Химический состав. Лимонит представляет водную окись железа $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Это довольно устойчивое соединение железа на поверхности земной коры, и в него понемногу превращаются все минералы группы железа, попавшие в сферу действия атмосферы и поверхностных вод. По самым условиям своего образования бурый железняк никогда не бывает чистым. Чаще всего примешиваются кремнекислота, марганец и фосфор.



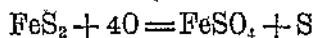
Рис. 104. Лимонит. Тяжелый рудник, близ Златоуста, Урал.

Внешний вид и физические свойства. По внешнему виду различают:

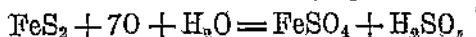
1. Плотный лимонит — сплошные массы темного или темнобурого цвета, всегда более или менее ноздреватые.
2. Охристый лимонит — землистого вида массы желтого цвета.
3. Сильно пористые землистые массы называются дерновыми рудами.
4. Массы, составленные из шарообразных зерен, — оолитовые руды или бобовые руды. Последний тип чаще всего образуется в болотах и называется болотной рудой. Наконец встречаются натечные формы лимонита, отложившиеся из водных растворов. Это плотные лучистого строения массы с металлическим блеском. Цвет бурый, темнобурый. Твердость — 5; уд. вес — 4—5. Кристаллы неизвестны.

Формы залегания и происхождение. Лимонит встречается в разнообразных формах пластами и гнездами от небольших примазок до огромнейших скоплений. Образуется лимонит главным образом в коре выветривания из других соединений железа. Часто встречается лимонит как продукт изменения, выветривания серпистых металлов — пирита,

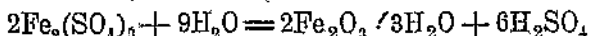
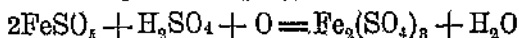
халькопирита и других колчеданов (рис. 105). Скапливаясь в верхней части рудной жилы в больших массах, лимонит дает своеобразное образование, называемое «железной шляпой». Процессы, которые идут при этом образовании, можно выразить в следующих формулах:



или:



Закисное сернокислотное железо FeSO_4 под дальнейшим действием кислорода в поясе выветривания превращается в окисное $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:



лимонит

Значительные залежи лимонита образуются в лаборатории природы из сидерита. Процесс этого превращения можно наблюдать прямо в кучах руды, вынутых из шахты, под влиянием воздуха и влаги на поверх-

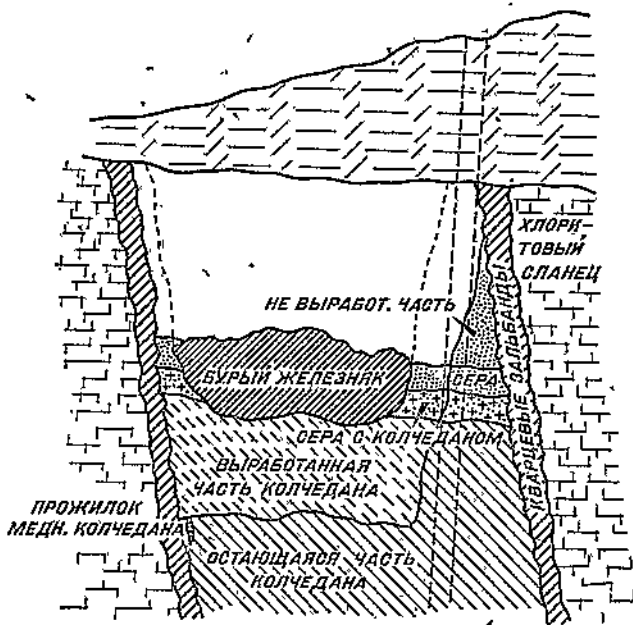
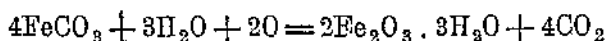


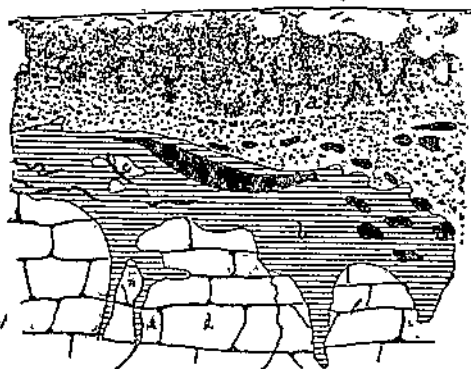
Рис. 105. Разрез месторождения Тисовой горы. Кыштым, Урал.

ности кучков появляется слой охристой, рыхлой, буро-железняковой массы. В природе это совершается в грандиозном масштабе. Схема превращения такова:



Объем поступающего бурого железняка гораздо меньше первоначальной сидеритовой породы, поэтому там часты желваки лимонита и пустотами внутри. В богатейших залежах бурого железняка на Урале (Бакальские рудники, Березовские) до сих пор сохранились пласты неизменившегося сидерита, постепенно переходящего в бурый железняк. На дне озер и болот лимонит отлагается из растворов различных солей железа, часто при посредстве особых железобактерий, в форме зерен, бобов, и называется бобовой рудой.

Месторождения. Бурый железняк — наиболее распространенная железная руда. Встречается в северной и средней частях СССР, главным образом в Московской обл. Тульский район, где началось горно-заводское дело в России. На его железных рудах была поставлена в 1639 г. выплавка чугуна и основаны первые чугуноплавильные заводы. За ними идут районы: Московский, Тверской, Калужский. Бурый железняк залегает среди глин, известняков и песков, главным образом палеозойской эры (рис. 106). На Урале месторождение бурого железняка



а — лимонит и песок
б — оолитовая глина
в — кристаллическая масса
г — девонский известняк

Рис. 106. Условия залегания лимонитов в средней части СССР (Евр.) среди осадочных пород (по Земляченскому).

можно считать сотнями. Самым большим по своим богатствам и известнейшим по чистоте руды является Бакальское месторождение. Отсюда ежегодно отправлялось на разные заводы до 100 000 т прекрасной руды. Бакальские рудники расположены по склонам двух горных хребтов: Буландихи и Иркусана. Залежи руды находятся среди сланцев, кварцитов и глин и связаны с пластами сидерита, из которого они образовались.

Кроме того известны крупные месторождения на Среднем Урале, в Алапаевском горном округе.

Наиболее мощные месторождения лимонита типа осита

находятся близ Керчи в Крыму (запасы около 1 млрд. т). На этих месторождениях построен крупный Керченский металлургический завод.

На северо-западе СССР (в Карелии — Выгозеро, Сямозеро и др.) и в Финляндии бурый железняк добывается со дна озер в форме бобовой руды. Теперь этот род добычи почти оставлен. Но запасы руд далеко не исчерпаны, и в благоприятных условиях железная промышленность может вновь возродиться.

Боксит. Название от провинции Бо (Beaux) во Франции.

Химический состав. Типичный боксит $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$. Содержание воды изменчиво; при формуле $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ называется гидратом глинозема. Глинозем 73,9%, воды 26,1%. Более или менее значительные примеси SiO_2 и TiO_2 и Fe_2O_3 .

Внешний вид и физические свойства. Встречается землистыми массами вместе с глиной, часто оолитовыми скоплениями. Цвет белый, желтый и красный. Уд. вес 2,55.

Формы залегания и происхождение. Залегает среди осадочных горных пород пластами; минерал пояса поверхностного выветривания. Боксит образуется при выщелачивании известняков и доломитов, представляя собой нерастворимую осадочную часть породы. Бокситы, окрашенные окисью железа и загрязненные примесями, образуются в условиях жаркого климата—это так называемые латериты ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

Месторождения. Франция (Бо), Индия, Америка (штаты Арканзас, Джорджия и др.), СССР (Тихвинский район Ленинградской обл., Журавлинское месторождение в Уральской обл.).

На Тихвинском боксите работает первый алюминиевый завод в СССР, в Ленинграде.

Употребление. Важнейшая руда на алюминий (при содержании SiO_2 не более 5—7%), огнеупорные кирпичи.

Бруцит, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ или $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Встречается в зоне выветривания с другими магниевыми минералами.

Псиломелан. «Псилос» — голый; «мелас» — черный (рис. 107).



Рис. 107. Псиломелан. Виргиния, Сев. Америка.

Водный окисел марганца непостоянного состава, черного цвета, в натечных формах, часто сталактитообразных. Твердость—5,5; уд. вес—3,7—4,7. Встречается вместе с пиролюзитом в тех же месторождениях на Кавказе и на юге СССР. Пористые мягкие массы называются «вад» (плавающая марганцевая руда).

VI класс. КИСЛОРОДНЫЕ СОЛИ

Класс VI — важнейший в строении земной коры. Сюда принадлежат главные породообразующие минералы. Скопления некоторых из них, как кальцита, доломита и др., настолько велики, что они представляют собой горные породы, состоящие из одного минерала. Одна часть, как полевые шпаты, амфиболы и пироксены является минералами

магматического происхождения — порообразующими минералами изверженных пород; другая, как группа углекислых, сернокислых (кальциты, гипсы и т. п.) является порообразующими минералами осадочных пород. В этот же класс входят типичные минералы контактов и кристаллических сланцев, как гранаты, везувин, энigmat, хлорит и пр. Этот обширный класс делится на восемь групп: 1) карбонаты; 2) силикаты, 3) нитраты и талалаты, 4) фосфаты, 5) нитраты, 6) бораты и уранаты, 7) сульфаты, 8) вольфраматы.

КАРБОНАТЫ (углекислые)

Группа, характерная для пояса глубинного выветривания и области дисгенеза.

Безводные карбонаты

Кальцит. *Химический состав.* Углекислый кальций CaCO_3 ; двуокиси углерода—44,0%, извести—56,0%. Обычные примеси: магний, железо, марганец, замещающие часть Ca.

Внешний вид и физические свойства. Кальцит один из распространеннейших минералов земной коры и встречается в разнообразнейших формах. По внешнему виду различают: мел, состоящий из микроскопических раковин и остатков морских организмов; плотный известняк, также состоящий из мельчайших раковин; раковчатый

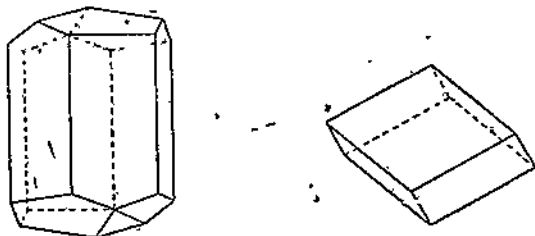


Рис. 108. Формы кристаллов кальцита.

известняк, состоящий из ясно видных раковин; известняк мушкетерный, фузулиновый и т. п., состоящие из остатков определенных морских организмов.

Мергель — смесь известняка с глинной; оолитовый известняк в форме скоплений округлых зерен, известковый туф — пористые и волокнистые скопления углекислой извести, отложившейся на водорослях и тому подобных растениях. Натечные формы — сталактиты (рис. 111). Кристаллические разновидности: собственно кальцит — прекрасные образованные кристаллы гексагональной сингонии, большей частью ромбоэдри и скаленоэдри, выросшие дружно в трещинах и пустотах (рис. 108, 109 и 110); известковый шпат — тяжелый кальцит с весьма совершенной спайностью по трем направлениям по ромбоэдру; прозрачные разновидности известкового шпата называются удволяющим шпатом за свойство удваивать рассматриваемые через него изображения. Зернистые кристаллические известняки называются мрамором. Мраморы бывают разнообразнейших цветов. Совершенно плотные скры-



Рис. 109. Кальцит. Дербишир. Англия.



Рис. 110. Кальцит. Англия.

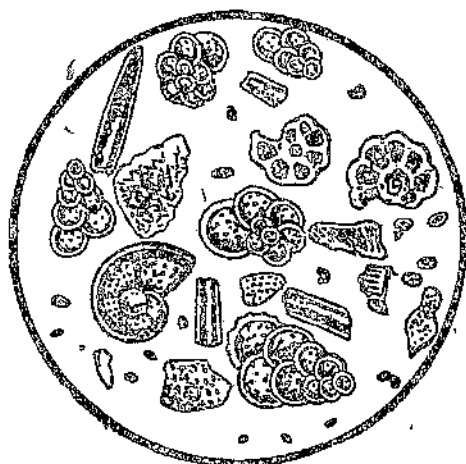


Рис. 111. Мел под микроскопом.

токристаллические разности называются литографским камнем, так как употребляются для воспроизведения рисунков.

Твердость кальцита—3; уд. вес—2,7 (кристаллы). Весьма совершенная юзайность в кристаллических разностях.

Формы залегания и происхождение. Кальцит характерный минерал зоны катаморфизма, особенно пояса выветривания. Значительная часть известняков—животного происхождения; они являются ополженими морей в области диагенеза. Оолитовые известняки и туфы—морские прибрежные отложения. Мраморы образовались под действием высокого давления или высокой температуры и характерны для области

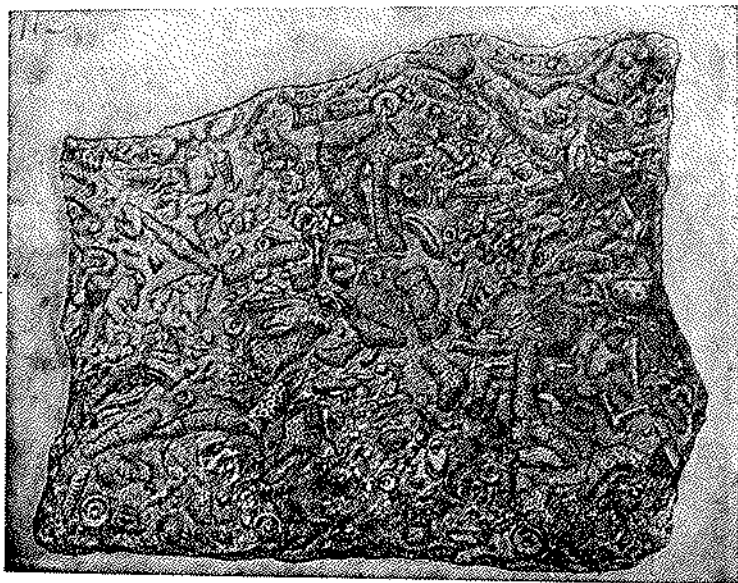


Рис. 111а: Ракушечник мелкоракушечный.

контактов и зоны анаморфизма. Желтый кальцит и кристаллы есть отложения холодных водных растворов поверхностных вод в трещинах горных пород. Медленное испарение известковых вод в пещерах и пустотах известковых массивов дает напечные формы в виде сталактитов (рис. 111б).

Месторождения. Обычный кальцит, как и известняк, встречается повсеместно. Удвоющий шпал встречается в Исландии, в СССР—в Крыму и в Сибири. Мраморы на Урале известны близ Свердловска, в Уфалейском районе и близ Златоуста; а также в Карельской АССР—Петрозаводский район. Знаменитые месторождения мирового значения в Италии (Каррара) и Греции. Строительные известняки известны в Центральной части СССР близ Москвы и Калуги и на юге, близ Одессы и Херсона и др.

Употребление. Строительный камень — известняк. Обжиг на известь. Для цемента. Мраморы идут на отделку и шлифовку. Для флюса. Прозрачный шпатель — для оптических приборов.

Доломит. Назван в честь минералога Доломье (рис. 112).

Химический состав. Карбонат кальция и магнезия $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ или $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$. Углекислоты — 47,9%, извести — 30,4%, магнезии — 21,7%. Примеси карбоната железа и марганца.



Рис. 116. Сталактит. Аризона (Сев. Америка).

Внешний вид и физические свойства. Доломит бывает разных цветов, но большей частью белый, желтый и серый. Плотные мраморовидные массы. Шпатовые жилы. Кристаллы гексагональной сингонии редко встречаются. Спайность совершенная по трем направлениям. Твердость — 3,5; уд. вес — 2,8 — 2,9. Блеск стеклянный, иногда жирный.

Формы залегания и происхождения. Доломит встречается в огромных массах в виде пластов и горных массивов. Относится к зоне анаморфизма и частью к нижней границе катаморфической зоны. Образуется

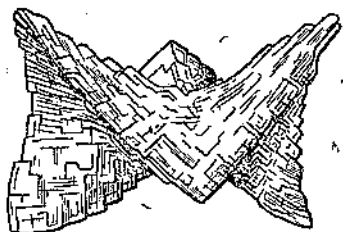


Рис. 112. Седлообразный кристалл доломита.

из известняков под влиянием магнезиальных растворов и при метаморфизме основных магнезиальных горных пород. В этом случае доломит встречается в параллелизме со змеевиком и тальком.

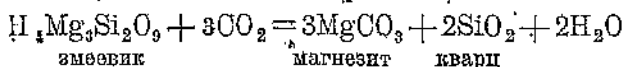
Месторождения. Урал, Сибирь, Кавказ и другие горные районы.

Употребление. Строительный материал. Флюс.

Магнезит. **Химический состав.** Карбонат магнезии MgCO_3 ; углекислоты — 52,4%, магнезии — 47,6%. Примесь углекислого железа.

Внешний вид и физические свойства. Сингония гексагональная как у кальцита и доломита. Цвет желтый, белый, серый и коричневатый. Зернистые массы в виде мрамора и плотные желвакообразные. Твердость — 3,5; уд. вес — 3,3 — 3,12.

Формы залегания и происхождение. Выпадает из холодных водных растворов зоны катаморфизма в связи с известковыми породами. Редже образуется под влиянием магнезиальных лав в области контактов; известен также как продукт выветривания магнезиальных горных пород — змеевиков, оливинов и т. п. (гл. 113).



Месторождения. Ст. Сатка близ Златоуста, с запасами до 50 млн. т, которые эксплоатируются мощным магнезитовым заводом для нужд металлургии и на экспорт; Южный урал — Миасская дача; Норвегия; Швейцария.



Рис. 113. Жилы магнезита в змеевике (по Ries).

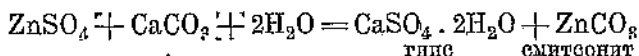
Употребление. Магнезиальные кирпичи для металлургических печей. Для приготовления препаратов магния.

Марганцевый шпат. Родохрозит, MnCO_3 . Розового и красного цветов. Кристаллы гексагональной сингонии; натечки в верхних частях некоторых рудных жил с другими марганцевыми минералами.

Месторождения. Самсония, Колорадо.

Цинковый шпат. Смитсонит.

Углекислый цинк, ZnCO_3 ; окиси цинка — 64,8%. Кристаллы гексагональной сингонии, чаще зеленоватые, голубые зернистые массы и натечные образования в поясе выветривания рудных жил и скоплений. Водные растворы сернокислого цинка, циркулирующие в области распространения цинковых руд, приходя в соприкосновении с известняками, дают:



Вместе со свинцовым блеском и цинковой обманкой встречается в рудных жилах Нерчинского района в Сибири и на руднике Татюхе близ Владивостока. Во многих местах Америки.

✓ Сидерит, или железный шпат. Шпатовый железняк (рис. 114). «Сидерос» — по-гречески значит железо. Отсюда и произошло название сидерит.

Химический состав. Сидерит представляет собой углекиское железо FeCO_3 . Содержание железа — 48%. Обычно содержит магний, марганец и кальций. Сидерит благодаря чистоте и содержанию марганца представляет важную руду для получения хорошей стали.

Внешний вид и физические свойства. Кристаллы сидерита очень похожи на кристаллы известкового шпата. Встречаются друзами. Принадлежат к гексагональной сингонии. Сплошные массы сидерита, часто зернистого сложения, напоминающие мрамор, залегают пластами. Вольным распространением пользуются шарообразные стяжения сидерита в смеси с глинами и мергелями, называемые сферосидеритами или глинистыми железняками. Твердость небольшая — 3—4; уд. вес. — 3,7—3,9 (рис. 115).

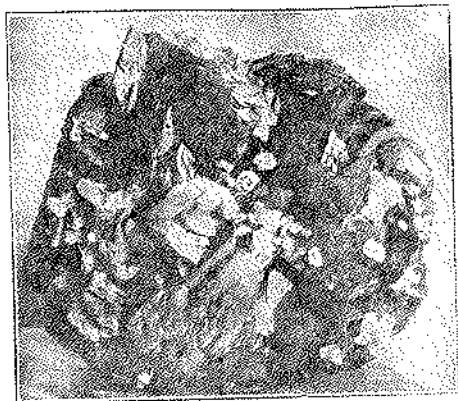
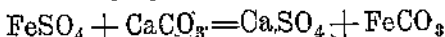


Рис. 114. Сидерит. Франция.

небольшая — 3—4; уд. вес. — 3,7—3,9 (рис. 115).

Формы залегания и происхождение. Плотный сидерит залегает пластами среди осадочных образований древнейших геологических периодов. Палеозойская эра — время образований наиболее значительных залежей сидерита. Залежи сидерита всегда связаны с известняками, так как представляют продукт изменения этих последних.

В Штирийских пластах сидерита можно наблюдать постепенный переход от известняка к руде. Сферосидериты залегают обычно гнездами среди глин, глинистых сланцев и известняков. Происхождение сидеритов объясняется действием железосодержащих растворов на известковые породы. Такие преобразования могут идти различным путем. Как пример может служить образование желваков сферосидерита в Калужском районе. Желваки сферосидерита покрыты кристаллами гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). В глинке же рассеяно множество кристалликов серного колчедана и железного купороса. Химический процесс протекал так:



железный купорос известняк гипс сидерит

Месторождения. Сферосидериты известны во многих местах, в районах: Тульском, Калужском, Тамбовском и др. Но в большинстве случаев сферосидериты очень быстро переходят в бурый железняк, и плавные сплавления железных руд центральной части СССР состоят из бурых железняков. На Урале известно месторождение сидерита на Ельничном руднике, Бакальских разработках, близ ст. Салта, Самаро-Златоустовской жел. дор., на Южном Урале. Износпранных месторож-

девший богатейшие месторождения находятся в Австрии и Штирии. В Англии сферосидериты составляют треть всего рудного богатства страны. Арагонит. Назван по месторождению — в Арагонии (рис. 115).

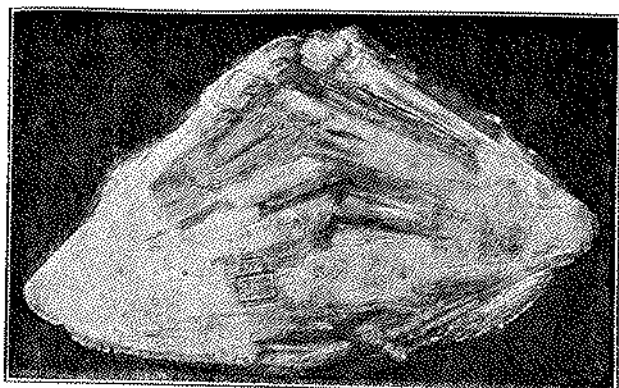


Рис. 115. Арагонит. Овернь, Франция.

Разность кальцита, но в кристаллах ромбической сингонии, часто игольчатых. Выделяется часто из минеральных источников. Образуется исключительно при невысоких температурах. Таков пороховый камень Карлсбада (рис. 116). Хорошими кристаллами славится Вилли в Чехии. На Урале известен в Миасской даче.

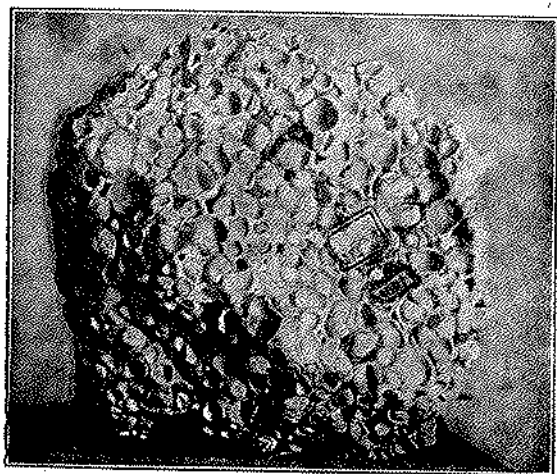


Рис. 116. Арагонит (гороховый камень) Карлсбад, Чехо-Словакия.

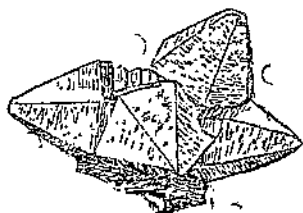


Рис. 117. Группа кристаллов витерита.

Витерит. (рис. 117). Углекислый барий BaCO_3 . Ромбической сингонии. Редко встречается в больших количествах. Известен на Алтае.

Витерит недавно найден в значительных количествах в Туркменистане, в горах Копет-Дат, рудники Арпахлен, вместе с баритом. Практическое значение имеют английские месторождения. Употребляется для получения бариевых солей.

Стронцианит. Удлиненный стронций SrCO_3 . Кристаллы иглычатые, ромбической сингонии и зернистые массы. Прозрачен, белый, серый и желтый. Встречается в зоне выветривания вместе с кальцитом, часто в верхних частях рудных жил.

Месторождения. Саксония, Клаусталь и др. Крым, близ Феодосии. Употребляется для получения стронциевых препаратов.

Церуссит (от «церусса» — белуга) PbCO_3 . Белые, прозрачные кристаллы ромбической сингонии, а также зернистые массы в верхних частях жил свинцового блеска, происходящие от выветривания его.

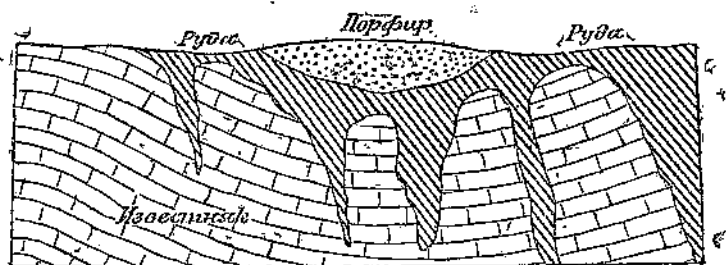


Рис. 118. Разрез месторождения свинцовых руд у Лидвилля в САСШ. Вверху залегает церуссит, внизу — сернистые руды.

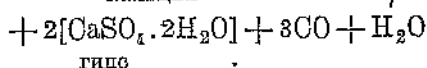
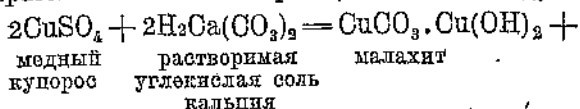
Месторождения. Урал — Березовск; Сибири — Нерчинск. Главнейшие месторождения свинцового блеска все содержат также и церуссит. Руда на свинец, но встречается редко в больших массах. В СССР разведано и начало разработки крупное месторождение церуссита в Казахстане близ ст. Туркестан (Турланское месторождение). Единственное в мире по богатству церуссита месторождения находится в Америке, у города Лидвилль (рис. 118).

Водные карбонаты

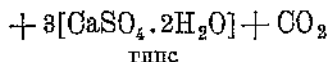
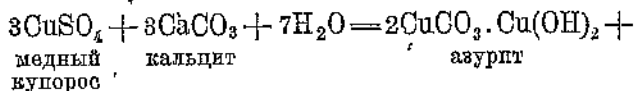
Водные карбонаты связаны с поверхностной областью пояса выветривания.

Малахит, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$. Зеленого цвета плотные массы натечных форм, с красивым рисунком в разрезе (рис. 119 и 120); землистые массы называются медной зеленью; употребляются как краска и как хорошая медная руда. Встречается главным образом в СССР — Нижний Тагил, Меднорудняк, Гуметовск, в верхних частях сернистых медных рудных жил. Аналогичного состава $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, но синего цвета минерал называется медной лазурью, или азуритом. Встречается вместе с малахитом (рис. 121).

Тип образования этих минералов ясен из следующих формул:



или:



Таким образом растворы медного купороса являются источником минералообразования медьсодержащих минералов пояса выветривания.

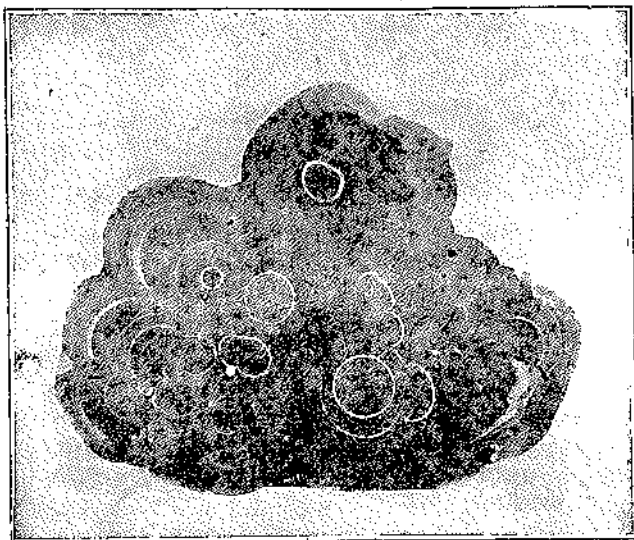


Рис. 119. Малахит. Гумешевский рудник, Урал.

Землистые разновидности того и другого минерала распространены в песчаниках и других породах Пермской системы. Встречаются в Казахской ССР. Азурит иногда находится в сростках кристаллов моноклинной сингонии (Франция, близ Лиона). Кристаллы же малахита чрезвычайно редки.

Плотные малахиты представляют собой первоклассный поделочный камень и встречаются в больших количествах только в СССР, главным образом на Урале в верхних частях меднорудных жил.

Сода, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Термонатрит, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Твердость обоих минералов 1; уд. вес от 1,42—1,6. Цвет—белый бесцветный, желтоватый, сероватый. Встречаются нередко совместно, в виде корок, налетов, выцветов, иногда в виде волокнистых агрегатов, также в сплошных массах.

Выпадают обычно в озерах, а также связаны иногда с породами метомфизитами. Часто содержится в большом количестве в почвах сухих пустынь и степей. Обычно сода выделяется при более низких температурах. При более высоких температурах (от 35—100° и выше) выделяется термонарит. Температурные пределы колеблются в зависимости от примесей других солей.

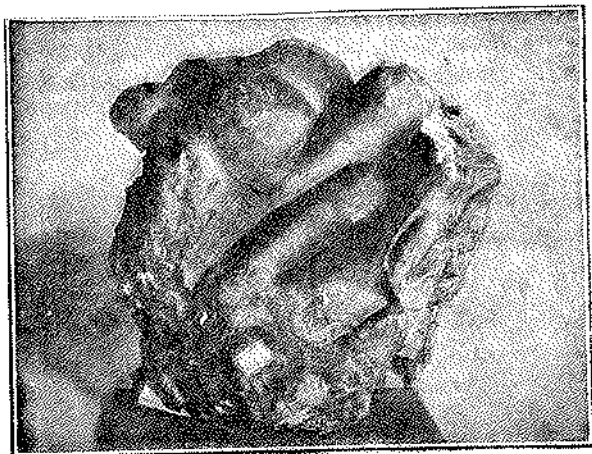


Рис. 120. Малахит. Урал.



Рис. 121. Форма кристаллов азурита. Моноклинная призма и пирамида (с базисами).

Месторождения. Крупные содовые озера известны в Сев. Америке. Наибольшие находятся в Калифорнии. Кроме того содовые озера встречаются в Египте и других местах Африки. В СССР крупные содовые озера открыты в Кулундинской степи в Западной Сибири в 1921 г. (Петуховские озера). Здесь поставлена добыча и обезвоживание соды. В 1927 г. открыта группа Михайловских содовых озер, приблизительно в 60 км от Петуховских, где запасы соды исчисляются в млн. т. В Забайкалье известно Доронинское озеро, из которого тоже добывалась сода. Содовые озера найдены также в Дальневосточном крае.

Употребление. В стекольной промышленности. Для производства мыла и в различных отраслях химической промышленности.

Трона, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Волокнистые или столбчатые массы серого или желтого цвета. Вкус щелочной. Встречается как оплоднение озер в Африке, Калифорнии, Венесуэле.

СИЛИКАТЫ

Силикаты, или соли кремневых кислот, распространеннейшие минералы в земной коре. В состав их входят главным образом следующие основные элементы—кислород, кремний, алюминий, железо, кальций,

натрий, калий, магний и титан. При таком разнообразии элементов химическое строение силикатов чрезвычайно сложно и мало выяснено. Дана различает: 1) соли кремневой кислоты $N_2Si_2O_5$, которые пишутся по формуле $RO \cdot 2SiO_2$ и называются дисиликатами; 2) соли поликремневой кислоты $H_2Si_3O_8$ по дуалистической формуле $2RO \cdot 3SiO_2$; 3) соли метакремневой кислоты N_2SiO_3 по формуле $RSiO_3$; 4) соли ортокремневой кислоты N_4SiO_4 по формуле R_2SiO_4 . В основу группировки Дана кладет отношение числа атомов кислорода кремнезема к числу атомов кислорода основания; так в дисиликатах $RO \cdot 2SiO_2$, в основании

основание кремнезем

атомов кислорода—1, в кремнеземе—4, т. е., 4:1. В метасиликатах отношения кислорода—2:1; в полисиликатах—3:1 и ортосиликатах—1:1. Остальные группы, где отношения кислорода иные, ранее назывались субсиликатами, но теперь их распределяют между вышеперечисленными группами.

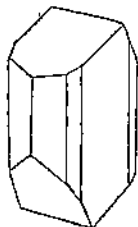


Рис. 122. Форма кристаллов ортоклаза. Комбинация моноклинных призм и пинакоидов.

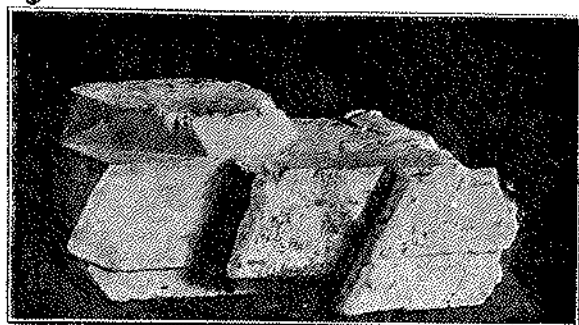
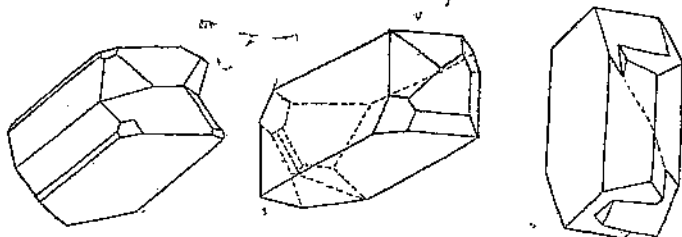


Рис. 123. Ортоклаз. Бавено, Пьемонт.

Генетически силикаты связаны со всеми зонами земной коры и, являясь по преимуществу породообразующими минералами, имеют про-



Манебахский двойник

Бавенский двойник

Карлсбадский двойник

Рис. 124. Двойниковые сростки кристаллов ортоклаза.

матное значение для петрографии и пегеологии. Петрографы на основании исследования оптических свойств породообразующих силикатов приходят к определению породных пород.

Дисиликаты, полисиликаты

Группа полевых шпатов. Сокращенно — полешпаты.

Полешпаты — основная составная часть изверженных горных пород. Разнятся между собой они химическим составом и кристаллическим строением.

Калиевый полешпат. Ортоклаз, что значит раскалывающийся прямо, т. е. по спайностям, под углом в 90° (рис. 123 и 125).

Химический состав. Калиевый алюмосиликат $K \cdot AlSi_3O_8$ или $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$. Часто присутствует натрий в больших количествах, заменяя калий (натроортотлаз); калия — 16,9%, кремнезема — 64,7%.

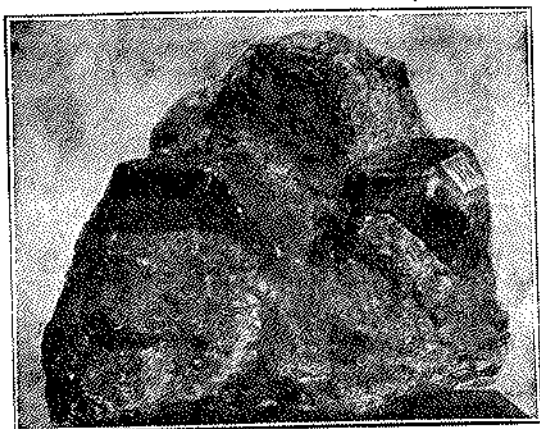


Рис. 125. Ортоклаз. Урал.

Внешний вид и физические свойства. Призматические кристаллы моноклинной спайности, достигающие больших размеров (рис. 122). Весьма совершенная спайность по двум направлениям под углом в 90° . Цвет розовый, мясоясный, желтый. Прозрачные бесцветные разновидности называются адуляром, а отливающие золотистым блеском — солнечным камнем. Твердость — 6; уд. вес — 2,565 (адунар). Встречается часто в двойниковом состоянии. Типичны карлсбадские, бавенские и манебахские двойники (рис. 124).

Формы залегания и происхождение. Породообразующий минерал гранитов, спенитов и других изверженных пород. Кристаллы в пегматитовых жилах и порфирах. Отдельные медельные часто достигают полуметра и более в диаметре (гранит — райшакви в Финляндии).

Месторождения. В областях распространения изверженных горных пород, особенно гранитных: Карлсбад; Италия (Бавено); Урал и Карелия.

Употребление. Материал для калийных удобрений и для изготовления фаянса и фарфора.

Бариевый полевой шпат. Гладкофан $mK_2Al_2Si_4O_{16} \cdot mBa_2Al_4Si_4O_{16}$. Аналогичен ортоклазу.

Микроклин (рис. 126). Разность калиевого полевого шпата, триклинной сингонии и с углами спайности, мало отличающимися от 90° , откуда и название, означающее «мало наклоненный». Зеленые разности называются амазонский камень (от р. Амазонки). Встречается в пегматитах на Урале и в Колорадо.

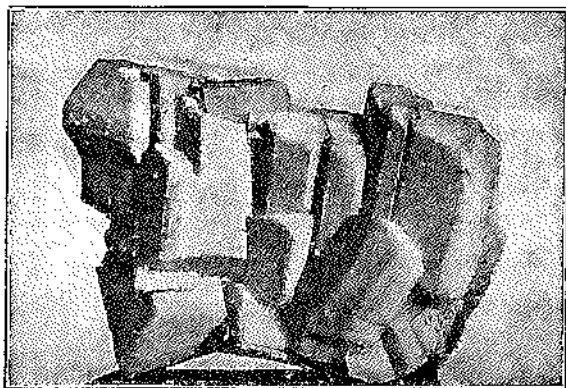


Рис. 126. Микроклин (Амазонский камень). Калифорния.

Натровый полевой шпат. Альбит, что значит белый (рис. 127). Натровый алюмосиликат $NaAlSi_3O_8$ или $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$; натрия 11,8%. Плотные массы белого, желтого цвета. Кристаллы триклинной сингонии, мелкие, щетками и пластинчатой формы, часто прозрачны. Породообразующий минерал. Часто нарастает в трещинах изверженных пород вместе с кварцем (Адыш, Казбек). В пегматитовых жилах (на Урале) часто образует округлые скопления мелких кристаллов. Альбит образуется также при разрушении ортоклаза и в зоне анаморфизма в связи с жилами и контактами в сланцевых горных породах. Уд. вес 2,62.

Кальциевый полевой шпат. Анортит. Кальциевый алюмосиликат $CaAl_2Si_2O_8$ или $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; извести 20,1%. Триклинной сингонии. Похож на альбит, встречается в массивно-кристаллических (в известняке и габбро) и вулканических породах. Уд. вес 2,76.

Известково-натровые полевые шпаты. Плагноклазы. Представляют собой смеси альбита и анортита, $pAb \cdot qAn$ (Ab — альбит, An — анортит).

Олигоклаз, Ab_3An ; уд. вес 2,65—2,67.

Андезин, Ab_2An_2 ; уд. вес 2,65—2,67.

Лабрадор, Ab_1An_1 ; уд. вес 2,69—2,72.

Для известково-натровых полевых шпатов чрезвычайно характерны двойниковое срастание по так называемому альбитовому закону и пертитовая структура, где отдельные недеформированные кристаллы (иногда

микроскопически мелкие) выросли во внешне однородную массу. Все плагиоклазы представляют собой как бы сростки мельчайших основных и кислых. Генетически плагиоклазы связаны с основными магмами. Некоторые массивные породы сплошь состоят из плагиоклаза. Таковы норвежские плагиоклазиты или лабрадорит Вольви.

Употребление. Практическое применение имеет лишь лабрадор (название от полуострова Лабрадор в Северной Америке) благодаря красивой игре цветов, зависящей от включения в тончайших трещинах.

Месторождение. Швеция, Норвегия, Финляндия, Урал и другие горные области. Лабрадор известен в Гадомысловском районе (близ Киева).



Рис. 127.

Морион (черный кварц) и альбит. Мурзинка, Урал.

Лейцит (от «лейкос» — белый).

Химический состав. $KAl(SiO_3)_2$. Встречается в кристаллах кубической сингонии, в виде хорошо образованных двенадцатичетырехгранников — икоса (эйкос) тетраэдров (рис. 128). Цвет белый, серый. Типичный минерал вулканических лав. Известен в лавах Соммы у Везувия и других местах Италии.

На лейцититах Везувия Италии построила свою алюминиевую промышленность.

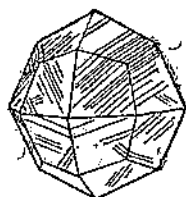
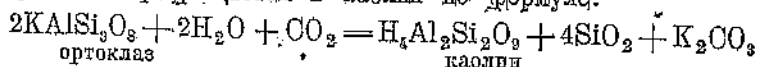


Рис. 128. Кристалл лейцита. Икосатетраэдр (24-гранник) со штриховкой.

Превращения полевых шпатов

Полевые шпаты дают при разрушении каолин, эпидот, ортоклаз превращается в каолин по формуле:



$$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{KH}_2\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{12} + 6\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3$$

ортоклаз мусковит

Аналогично идут процессы превращения других полевых шпатов. Превращения в ортоклаз и каолин:



В последнее время лейцитовые породы приобрели значение руды на калиевые квасцы и другие препараты калия и алюминия, так как лейцит легко разлагается серной и другими кислотами.

Метасиликаты RSiO_3

Группа пироксенов: В эту группу объединены минералы разнообразного генезиса, по химическому же составу — метасиликаты Са, Mg и ючасти Fe. В некоторые пироксены входят кроме того Al и щелочи.

Кристаллизуются пироксены в ромбической, моноклинной и триклинной сингониях и обычно подразделяются на соответствующие три группы. С внешней стороны характеризуются квадратным габитусом триклинных кристаллов.

Ромбические пироксены:

Энстатит, MgSiO_3 ; до 50% FeO.

Бронзит, $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$; от 5 до 15% FeO.

Гиперстен, $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_3$; от 15 до 30% FeO.

Породообразующие минералы главным образом основных магм.

Твердость—5—6; уд. вес—3,1—3,6. Энстатит был найден в метеоритах. Бронзит и гиперстен отличаются металловидным блеском, похожим на бронзу. Встречаются обычно в виде неправильных зерен, но иногда и в виде очень крупных кристаллов; различаются оптическими константами при микроскопическом исследовании.

Моноклинные пироксены

Диолсид. Название перациональное.

Химический состав. Двойная соль, $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$. Цвет ют бесцветного до зеленого. Обычно в тризматических кристаллах, а также в зернах и зернистых массах. Твердость—6; уд. вес—3,11—3,347. Диопсид типичный минерал области контактов.

Наиболее известны кристаллы диопсида в месторождениях Ахматовской копи близ Златоуста и у Байкала близ Слюдянки (байкалит).

УДелит. Название перациональное.

Химический состав. Состав сложный, главным образом:

$$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 \text{ e } (\text{Mg, Fe}), (\text{Al, Fe})_2\text{SiO}_6.$$

Иногда присутствует титан.

Внешний вид и физические свойства. Зеленовато-черный или коричнево-черный. В виде мелких зерен в изверженных породах; реже хорошо образованные кристаллы моноклинной сингонии, в лавах (рис. 129). Твердость — 6,5; уд. вес — 3,19.

Формы залегания и происхождение. Породообразующий минерал изверженных горных пород. Авгиты выпадают главным образом из основных магм. Образуется также в зоне анаморфизма в сланцах и в области контактов магнезиально-железисто-глиноземных магм с известняками.

Месторождения. Кристаллы в лаве Везувия и Этны. На Урале — в Микасской даче, г. Качканар; в Карельской АССР и др.

Акмит. Название от греческого «акме» — острый. Удлиненные, иногда иглообразные кристаллы $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2$. Твердость—6; уд. вес—3,5—3,55. Большие кристаллы в алеолитовом сиените и в кварцевых жилах зоны магм. Встречается в Норвегии, на Кольском полуострове.

Сподумен. Название с греческого — пепельно-серый. $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$.

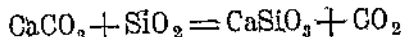
Минералы пегматитовых жил Швеции, Америки, Бразилии. Прозрачные лиловые кристаллы (кунцит) идут в огранку.

Чрезвычайно крупными кристаллами до 9 м сланцев Дакота в САЩ. Используется как руда на литий.

Надеит, $\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$. Контактный минерал; в плотных массах тонкообломистого строения. Служил материалом для брудий первобытному человеку. Идет на поделки и украшения.

Волластонит. Назван в честь химика Волластона.

Метасиликат кальция, CaSiO_3 . Встречается в плотных волокнистых массах среди кристаллических известняков. Минерал зоны анаморфизма, характерен для области контактов. Реакция образования:



Волластонит называют геологическим термометром, так как он образуется при определенной температуре 1180° (опыты Дел и Шефферда).

Месторождения. Венгрия, Саксония, Италия, р. Слюдянка (оз. Байкал).

Триклинные пирооксены

✓ **Кремнистый марганец. Родохит,** от «родон» — роза.

Химический состав. Метасиликат марганца, MnSiO_3 ; кремнезема—45,9%, окиси марганца—54,1%. Обычные примеси: железо, кальций, редко цинк.

Внешний вид и физические свойства. Плотные зернистые массы красно-розового цвета с черными прожилками (MnO_2). Реже кристаллы триклинной симметрии, напоминающие ромбоэдри кальцита. Твердость—5,5—6,0; уд. вес—3,4—3,68. Хорошо шлифуется.

Формы залегания и происхождение. Залегает среди кремнистых сланцев на Гарце и на Урале. Отложения его связаны с метаморфизмом метакристаллических отложений морей, проникнутых марганцевыми рудами осадочного типа. Кроме того выпадает из водных растворов в жилах зоны анаморфизма.

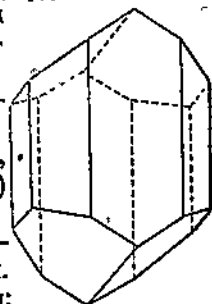


Рис. 129. Форма кристаллов авгита.

Месторождения. Исключительное по размерам месторождение родонита близ Свердловска. За границей в меньших количествах встречается в Испании, Скандинавии и Америке.

Употребление. Прекрасный поделочный камень.

Амфиболы (роговые обманки)

Роговая обманка, или сокращенно рогообманка, в общем аналогична пироксенам по химическому составу и кристаллической форме. Это также метасиликат. Элементы, входящие в пироксеновую, те же самые, что у пироксенов, но количественное соотношение иное, что обуславливает большую сложность химического состава. В земной коре рогообманки распространены шире пироксенов и иногда образуют горные породы, как рогообманковые и актинолитовые сланцы. Образуются рогообманки главным образом в зоне магмы и в зоне анатоморфизма. В зоне магмы они являются породообразующими минералами гранитов, сиенитов и других изверженных пород, в зоне анатоморфизма они связаны с кристаллическими сланцами.

Тремолит. Впервые найден в долине Тримола в Швейцарии. Разность рогообманки состава $\text{CaMg}_3(\text{SiO}_4)_3$. Цвет от белого до зеленого. Уд. вес—2,9—3,1. Зажиги железа не более 3%. При большом содержании железа—темнозеленого цвета; лучистые группы кристаллов называются актинолитом (лучистый камень) (рис. 130).

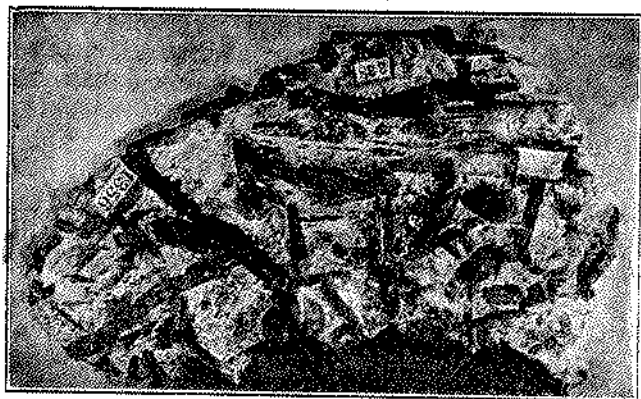
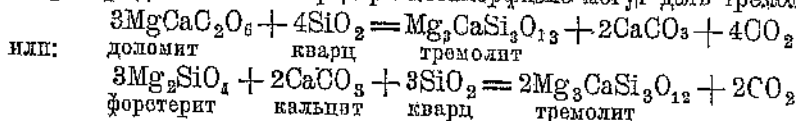


Рис. 130. Актинолит. Тироль.

Типичный минерал зоны анатоморфизма группы кристаллических сланцев. Образуется при метаморфизме из разнообразных минералов. Так например доломит и кварц при метаморфизме могут дать тремолит:



Образует большие скопления в виде актинолитовых сланцев. Встречается на Урале, в Тироле, Саксонии, Чехии и других местах.

Натровая рогообманка. Глаукофан, $\text{NaAl} \cdot (\text{SiO}_3)_2 \cdot (\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_3$, зернистые, волокнистые массы синего цвета. Образуют глаукофановые сланцы в Швейцарии, Японии и Бретани.

Берилл. *Химический состав.* Алюмосиликат бериллия $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$ или $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$; кремнезема—67,00%, глинозема—19,00%, окиси бериллия—14,00%. Часто присутствуют щелочи, особенно K, Na и Cs (цезиевый берилл).

Внешний вид и физические свойства. Хорошо образованные шестигранные призматические гексагональной сингонии от мелких кристалликов до 1 м величиной. Прозрачны или полупрозрачны. Разности берилла зеленого цвета называются изумрудом; цвет изумруда зависит от примеси хрома. Разности цвета морской воды носят название аквамарина. Собственно берилл—желтого цвета. Твердость—7,5—8; уд. вес—2,63—2,80.

Формы залегания и происхождение. Образуется берилл в связи с магмами, главным образом в пегматитовых жилах вместе с попаром, кварцем и сподами.

Превращения. Берилл превращается в слюды и каолин.

Месторождения. Изумрудные копи близ Свердловска; Сибирь—Нерчинск; отрогистости горы Адул-Чолонг; Южная Америка, Колумбия.

Употребление. Зеленый прозрачный изумруд—драгоценный камень I класса. Прозрачные бериллы, аквамарины принимаются, как дешевый цветной камень. Бериллизированная руда.

Ортосиликаты, R_2SiO_4

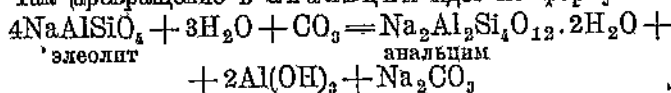
Элеолит. Масляный камень, нефелин.

Химический состав. $\text{R}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$, где $\text{R} = \text{Na} : \text{K} = 3 : 1$ или $3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$. Кремнезема—44,00%, глинозема—33,20%, окиси натрия—15,10%, окиси калия—7,70%.

Внешний вид и физические свойства. Цвет желтовато-серый, зеленоватый, коричнево-красный. Блеск типично жирный, масляный; откуда название минерала. Излом неровный. Твердость—5,5; уд. вес—2,55—2,65. Очень редко в кристаллах, обычно в сплошных массах или выделениях.

Формы залегания и происхождение. Породообразующий минерал изверженных бескварцевых щелочных пород. Слагает так называемый элеолитовый спонат.

Превращения. При действии воды или ее паров дает различные элеолиты. Так превращение в анальцит идет по формуле:



Месторождения. Нефелин—кристаллы гексагональной сингонии в вулканических извержениях Соммы (Италия). Зернистые массы элеолитов в скелете Ильменских гор на Урале и на Кольском полуострове.

Содалит. Натровый камень. Содержит NaCl. Формула $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{NaCl}$. Минерал ярко-синего цвета. Встречается в Ильменских горах на Урале в плотных массах в постоянном парагенезисе с эволитом. Кристаллы его в виде ромбических додекаэдров встречаются очень редко.

Гаюин. В честь Гаюи (Аюи) — кристаллограф.
 $3\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4$, синие зерна в лавах.

Нозеан, $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$, бурые и перые зерна в лавах и базальтах.

Лазуревый камень (ляпис-лазурь), $3\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{S}_3$. Прекрасного синего цвета, встречается в контактах гранитных пород с известняками в Сибири по р. Слюдянке (рис. 131) и Мал. Быстрой, впадающей в р. Иркут; на Везувии, близ Рима; в Афганистане (Бадахшан), в Китае и в Чили. Подделочный камень для украшений.



Рис. 131. Месторождение ляпис-лазури бл. Слюдянки, Байвал.

Группа элеолита довольно хорошо изучена и может быть сведена в следующей таблице:

Основное ядро	Меняющаяся группа элементов	Цвет	Уд. вес	Название
$\text{nNa}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ или nNaAlSiO_4	SiO_2	Серый; красный	2,58—2,64	Элеолит
	$\text{CaO} \cdot 2\text{CO}_2$	Розовый	2,42—2,48	Конкринит
	$3\text{H}_2\text{O}$		2,2 — 2,4	Содалит
	NaCl		2,38—2,42	Ляпис-лазурь
	Na_2S	Яркосиний		
	CaSO_4	Синий	2,4 — 2,5	Гаюин
	Na_2SO_4	Серый	2,27—2,4	Нозеан

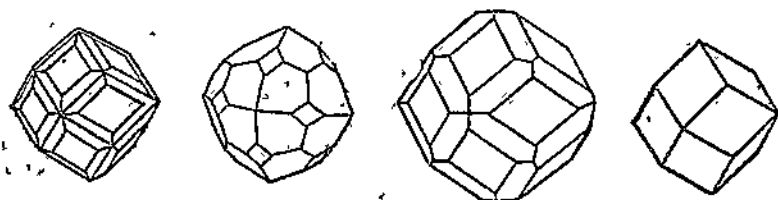
Группа граната

II III
 $\text{R}_3\text{R}_2(\text{SiO}_4)_3$, где R = Ca, Mg, Fe, Mn; R = Al, Fe, Cr, Ti. Гранаты характерны для зоны магмы и для зоны анаморфизма. Гранаты в зоне магмы обычно связаны с кислыми гранитными магмами, пегматитовыми жилами и вообще являются типичными минералами щелочных выделений. В зоне анаморфизма они связаны с кристаллическими сланцами и областью контактов кислых магм с известняками.

Гранаты образуют следующий ряд минералов:

Название	Формула	Уд. вес
Альмандин. Железо-глиноземистый гранат . . .	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	4,1 — 4,3
Андрадит. Известково-железистый гранат . . .	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	3,3 — 4,1
Гроссуляри. Известково-глиноземистый гранат . . .	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	3,4 — 3,6
Пироп. Магнезиально-глиноземистый гранат . . .	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	3,7 — 3,8
Спессартин. Марганцево-глиноземистый гранат . . .	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	3,8 — 3,2
Уваровит. Известково-хромистый гранат . . .	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$	3,4 — 3,5

Альмандин и андрадит являются самыми распространенными видами. Все гранаты кристаллизуются в кубической сингонии и, встречаются главным образом в кристаллах, иногда очень хорошо образованных (рис. 132). В гранатах из сланцев и вообще метаморфических пород преобладает ромбический двенадцатигранный, а из мрамора — двенадцатигранный и более сложные формы. Твердость граната — 7,5—8.



3 [Сорокавосьмигранный
и ромбический доде-
каэдр.

Комбинация ромбического додекаэдра
тралецеэдра,

Ромбический доде-
каэдр (гранатоведр).

Рис. 132. Формы кристаллов граната.

Альмалдин (от местности Алабанда в Малой Азии) (рис. 133). Красного цвета. Встречается в изверженных горных породах. Типичный минерал слюдяных сланцев. Идет в огранку как драгоценный камень.

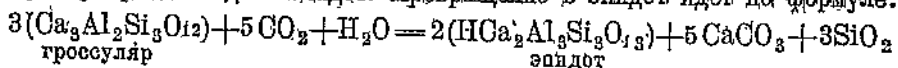
Анрадит (известково-железистый гранат) широко распростран. Разных цветов, от красного до черного (меланит).

Известково-глиноземистый гранат (гроссуляр) (рис. 134). Зеленого и бурого цвета. Минерал контактов и метаморфических сланцев.

Спессартит — малораспространенный минерал, в ясно выраженных кристаллах и в плотных массах, имеет желтовато-красного до красно-бурого.

Известково-хромистый гранат (уваровит). Обычен в контактах с хромистым железняком известковых пород. Ярко-зеленого цвета. Мелкие кристаллы.

Превращения. Гранаты часто дают магнетитовые минералы, после замещения в них кальция магнием, причем железистые части уносятся. Проссультит часто дает энидот. Превращение в энидот идет по формуле:



Практическое применение имеют еще магнетитово-железистый гранат (шпел) как драгоценный камень, и разновид известково-железистого граната на Урале — демантоид, называемая ювелирами хризоломом.

Все виды гранатов встречаются на Урале. Хорошо образованные кристаллы известны в Ахматовской долине, близ Златоуста вместе с кальцитом и хлоритом и на горе Таганай. Большие, хорошо образованные кристаллы известны в хлоритовых сланцах Норвегии.

Оливин. Название от цвета оливкового масла.

Химический состав. $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$, при отсутствии железа Mg_2SiO_4 — форстерит; при 28% содержания железа называется титаноферрит (стекловатое железо). Примесь титана.

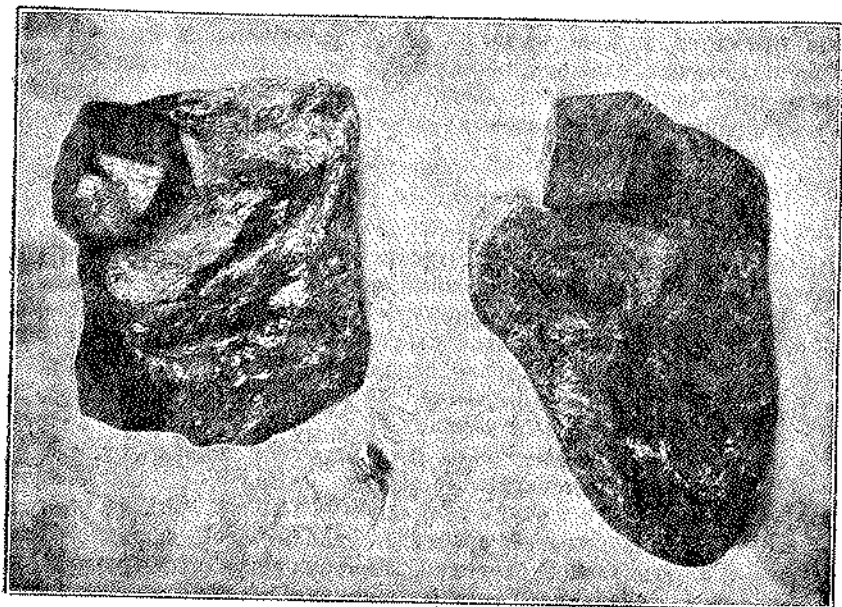


Рис. 133. Алюмандии в сланце, Норвегия.

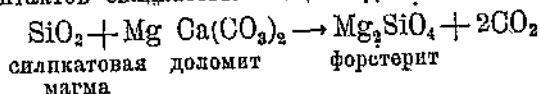
Внешний вид и физические свойства. Цвет оливково-зеленый; прозрачные и золотистым оттенком тусклости называются хризопраз (от «хризос» — золото, «лигос» — камень). Блеск стеклянный. Обычен



Рис. 134. Гроссулар. Монте-Роза, Швейцария.

в зернах и зернистых массах. Кристаллы редки, ромбической симметрии. Твердость—6,5. Уд. вес—3,3—3,4. Хрупок. Излом неровный.

Формы залегания и происхождение. Породообразующий минерал, входящий иногда целиком горную породу (дунит). Существенная составная часть базальта, габбро и др. глубинных изверженных пород. Кроме того выделяется в лавах, иногда в виде «оливиновых бомб» вместе с вулканическим пеплом. Таким образом образование оливина главным образом относится к зоне магмы. Оливин встречается и среди гнейсов и кристаллических сланцев, образуя так называемые перидотиты пикриты и пр. Чистый магnezийный силикат, форстерит образуется в области контактов силикатовых магм с доломитами:



Месторождения. Во всех горных областях, где распространены основные магмезиальные изверженные породы. Дунитовые массивы тянутся по Северному и Среднему Уралу, являясь материнской породой платины (рис. 57). Хризолиты встречаются на Урале близ Свердловска.

Употребление. Хризолиты идут в огранку как драгоценный камень.

Фенацит. От «фенакит» — обманчик.

Ортосиликат бериллия, Be_2SiO_4 ; кремнезема — 54,45%, окиси бериллия — 45,55%. Прозрачные или винножелтые кристаллы таблитчатой, формы гексагональной сингонии. Минерал перматитовых жил. Встречается на Урале и изумрудных копях близ Свердловска и на Южном Урале — Ильменские горы. Употребляется как драгоценный камень.

Рис. 135. Кристалл диоптаза (аширита).

Диоптаз. Аширит, в честь купца Ашира, вывезшего этот минерал в Европу. $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ярко-зеленые призматические кристаллы гексагональной сингонии (рис. 135). Минерал зоны поверхностного выветривания. Встречается в степях Казахстана, в горе Алтын-Тюбе.

Группа скаполита.

Эта группа включает минералы:

Мариалит, (Ma) — $3\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10} \cdot 2\text{NaCl}$.

Мейонит, (Me) — $3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{CaO}$.

Скаполит, $p\text{Ma} + q\text{Me}$.

Все три минерала кристаллизуются в призматических квадратных кристаллах. Наиболее часто встречается *вернерит*, иногда называемый общим именем группы — скаполитом.

Внешний вид и физические свойства. Белые, серые, красноватые массы, иногда, очень крупные, призматические кристаллы тетрагональной сингонии. Твердость — 5—5,5; уд. вес — 2,63—2,79. Блеск стеклянный, иногда жирный.

Формы залегания и происхождение. Чаще всего вернерит встречается в контактах магм с кальцитами. Типичный минерал зоны анаморфизма. Превращения в скаполиты алюмосиликатов идут разнообразными путями.

Кроме того вернерит встречается в пустотах вулканических пород и очень редко в пегматитах. Месторождения, наиболее известные хранилища кристаллами, — Норвегия (Арендаль), Финляндия (Питкаранта), озеро Байкал в Сибири, в слюдяных месторождениях по р. Слюдянке.

Везувиан. Название от первоначального нахождения минерала на вулкане Везувий. Основной кальцевоалюминиевый силикат: $3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ с присоединением групп (ОН), CaF_2 и CaSiO_3 . Цвет зеленый, бурый и желтый. Встречается в хорошо образованных кристаллах тетрагональной, сингонии, большей частью, в комбинациях призм и пирамиды. С пинакоидом, а также и в виде плотных мелкозернистых масс. Твердость—6,5; уд. вес—3,35—3,45. Типичный минерал контактов изверженных пород с известняками. Иногда встречается в лавах.

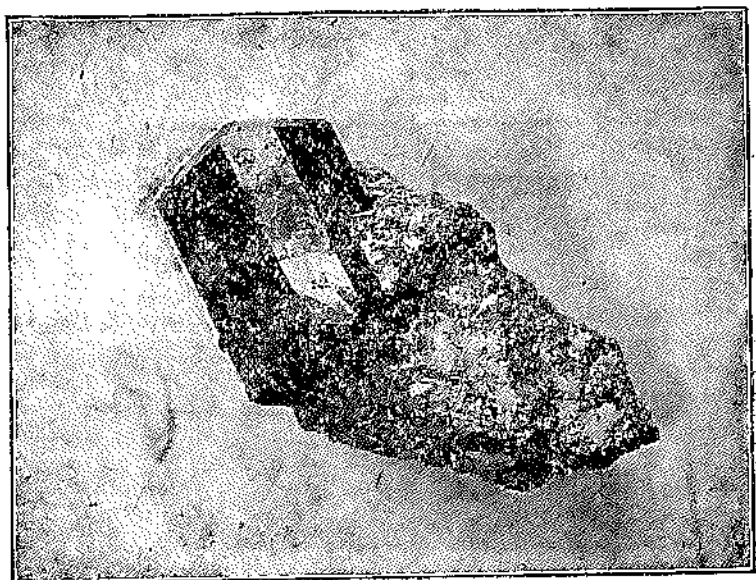


Рис. 136. Виллоит (везувиан) в породе. Якутская АССР.

Месторождения. Южный Урал — Шиханские горы (контактные образования), Сибирь, р. Вилюй, где встречается вместе с грассуларом в виде прекрасно образованных больших кристаллов, носящих название *виллоит* (рис. 136). За границей везувиан встречается на Везувии и в Норвегии. Употребляется редко как поделочный камень.

Циркон. Название от элемента цирконий (рис. 138).

Химический состав. ZrSiO_4 ; кремнезема 32,8, окиси циркония 67,2%. Обычно примесь Fe_2O_3 и радиоактивных элементов (U_3O_8) в небольшом количестве.

Внешний вид и физические свойства. Хорошо образованные кристаллы тетрагональной сингонии (рис. 137). Обычно мелкие, но иногда достигают до 1 кг и более весом. Цвет буро-желтый, гниациново-красный (пинацит). Твердость—7,5; уд. вес—4,68—4,70. Блеск алмазный.

Формы залегания и происхождение. Встречается вросшими кристаллами в граниты, сиениты и другие изверженные породы. Также находится в пегматитовых жилах.

Месторождения. Норвегия, Цейлон, Южный Урал, близ Мпаса (Ильменские горы).

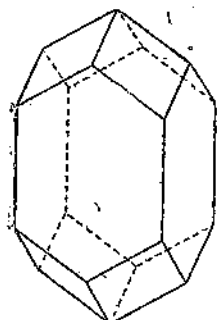


Рис. 137. Форма кристаллов циркона.

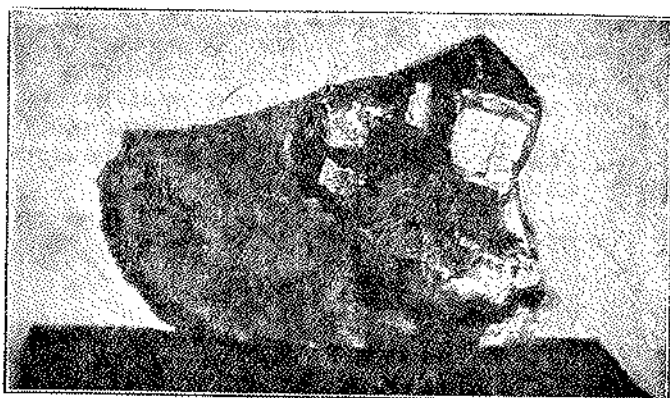


Рис. 138. Циркон в породе. Ильменские горы, Южный Урал.

Употребление. Для препаратов циркония. Окись циркония — высокоосновного.

Топаз. Название происходит от острова Топазоса на Красном море (рис. 140).

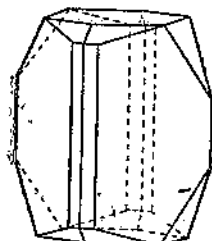


Рис. 140. Топаз. Комбинация ромбических призм.



Рис. 141. Топаз и морюн. Мурзунка, Урал.

Химический состав. $(\text{AlF})_2\text{SiO}_4$; обычно содержит гидроксил OH , и тогда формула пишется $[\text{Al}(\text{F}, \text{OH})]_2\text{SiO}_4$; кремнезема 32,6%, глинозема 55,4%.

Внешний вид и физические свойства. Бесцветные, голубые, розовые и светлые кристаллы ромбической сингонии. Тип призматический, часто с многогранными головками (рис. 139). Твердость высокая—8; уд. вес—3,4—3,6. Спайность весьма совершенная.

Формы залегания и происхождение. Типичный минерал пегматитовых жил. Встречается вместе с кварцем, полецпитом, слодами из оловянным изадеам.

Превращения. Наблюдаются псевдоморфозы по топазу каолина и слод, что указывает на превращения топаза в эти минералы.

Месторождения. Урал: дер. Муззунка в северу от Свердловска; ст. Миас — Ильменские горы; Коткарская система, где известны розовые топазы в россыпях. Сибирь — Забайкалье, горы Адун-Чолонг, Браззелья, Салсоння.

Употребление. Прозрачные разности ценятся как драгоценный камень, известный у ювелиров под именем тяжеловеса. Название же топаза у ювелиров относится к дымчатому кварцу — «Раух-топаз».

Известны следующие минералы состава Al_2SiO_5 : андалузит — ромбической сингонии; кшанит — трилинной сингонии; силлиманит — ромбической сингонии. На примере этих минералов мы видим случай полиморфизма вещества Al_2SiO_5 .

Андалузит. От местности Андалузии, в Испании.

Встречается в призматических кристаллах ромбической сингонии, по габитусу близких к квадратной. Цвет серый, желтый, бурый. Разность с перестрообразными включениями темной породы почти назавание кшанит.

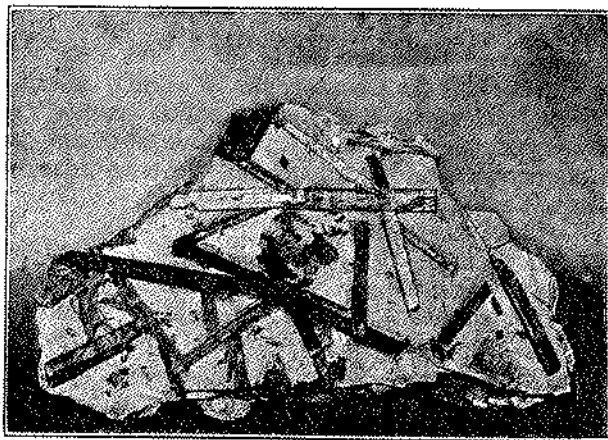
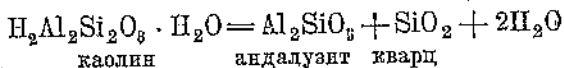


Рис. 141. Кшанит в сланце. Швейцария.

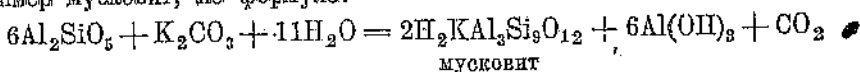
Кшанит, или дистен (рис. 141) обладает совершенной спайностью и часто синим цветом. Характеризуется также тем, что твердость у него на плоскостях спайности резко различная: по длине кристалла—4, а поперек—6.

Плотные волокнистые массы из эпидидотидных тонких призм серого и желтого цвета называются снллиманитом. Минералы группы андалузита образуются при высоком давлении и высокой температуре и являются типичными минералами зоны анморфизма, образуясь из гли. Так реакция распада каолит при высокой температуре такова:

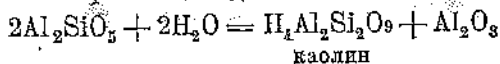


Отсюда ясно, что минералы группы андалузита характерны для сланцев, кристаллических сланцев и в редких случаях выпадают из магм. Кланит распространен на Южном Урале в гранатово-силовых сланцах горы Таганай, близ Златоуста, за границей — в Швейцарии; андалузиты известны на Урале в районе дер. Мурзинки и за границей, в Финляндии, в Испании, Бразилии и др. местах.

Превращения. Андалузит дает часто вторичные слюды, как например мусковит, по формуле:



Кроме того от действия H_2O андалузит дает также каолит. Превращение в каолит идет по нижеприведенной формуле, поэтому кристаллы его часто покрыты вторичной слюдой:



Употребление. В керамике — как исключительного качества огнеупорный материал.

Датолит. Название нерациональное.

Основной ортосиликат бора и кальция. HCaBSiO_5 или $\text{Ca}(\text{BOH})\text{SiO}_4$. Бесцветные, белые кристаллы и зернистые массы разных цветов. Образуется в области контактов в связи с горячими водными растворами и в результате поствулканических процессов вместе с цеолитами. Встречается в Крыму (Карадаг); Норвегии (Арендаль).

Эпидот. Название нерациональное.

Химический состав. $\text{HCa}_2(\text{AlFe})_2\text{Si}_2\text{O}_{12}$.

Внешний вид и физические свойства. Цвет фиолетово-зеленый. Плотные массы шестоватого сложения. Кристаллы призматические, моноклинной симметрии, нарощены обычно друзами (рис. 142). Твердость — 6,5. Удельный вес — 3,3—3,5. Весьма совершенная спайность в одном направлении.

Формы залегания и происхождение. Находится в трещинах, в жилах, на контактах, особенно с калцитом. Эпидот может образоваться в областях метаморфизма при взаимодействии различных минералов; так при метаморфизме полевшаты, гематит и кальцит дают эпидот.

Полевые шпаты (плагноклазы) часто целиком переходят в зоне катоморфизма в эпидот. Точно так же слюды и рогообманки могут превращаться в эпидот. Значительно реже он выпадает из водных растворов.

Месторождения. Тироль. Норвегия (Арендаль). Урал близ Златоуста, Свердловский район.

Циозит. Разность эпидота без железа. Образуется при тех же условиях, как продукт превращения полешпатов, рогообанов, слюд в бедной железом среде области контактов и метаморфизма. Кристаллизуется в ромбической сингонии.

Химический состав. $\text{H}_2\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{26}$; часть Al_2O_3 замещается Fe_2O_3 .

Месторождения. Тироль, Зальцбург, САСШ; Урал — бл. Мраморского завода (вместе с наждаком).

Ортит. По химическому составу аналогичен эпидоту с цери-

ем и иттрием. Общая формула $\text{R}(\text{AlOH})(\text{RSiO}_4)_3$, где $\text{R} = \text{Ca}$, Fe

и $\text{R} = \text{Al}$, Fe и металлы иттрид-группы — Y , Ce , La , Di . Черные, со смолистым блеском в изломе пластинчатые кристаллы. Встречается в кислых изверженных породах гранитного типа. Минерал радиоактивный. Известен на Урале — Ильменские горы. В Сибири у Байкала — ст. Слюдянка. Норвегия.

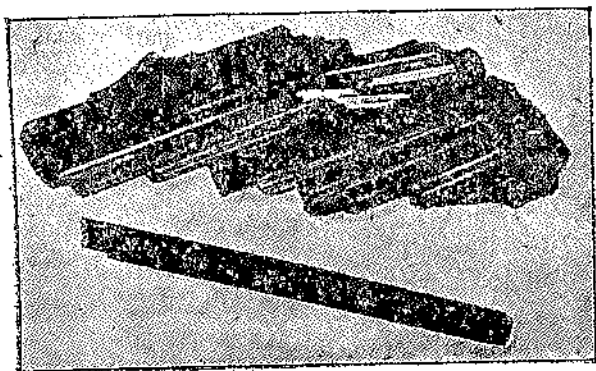


Рис. 142. Кристалл и сросток кристаллов эпидота.

Пренит (куфолит). Название перацональное.

Ортосиликат кальция, $\text{H}_2\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$; кремнезема 43,7%, глинозема 24,8%, извести 27,1%, воды 4,4%. Твердость — 6,5; уд. вес — 2,8—2,9. Цвет светлоселеный, серый. Зернистые массы, натечные корки, сплошные кристаллы ромбической сингонии. Образуется при метаморфизме полешпатов, также в контактах и выпадает из горячих растворов. Иногда встречается в изверженных породах — базальтах, диабазлах и пр.

Месторождения. Урал, Финляндия, Норвегия, Северная Америка.

Хондродит. Название с греческого «хондрос» — зерно.

Химический состав изменчив, главным образом входят SiO_2 , MgO , FeO , F и H_2O . Теоретически: $\text{Mg}_3(\text{MgF})_4(\text{MgOH})_2\text{Si}_8\text{O}_{32}$ или $n\text{Mg}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{Mg}(\text{Mg}(\text{OH}, \text{F})\text{SiO}_4$. Встречается в зернистых массах желтого

или красноватого цвета. Образуется в области контактов оливиновых плагов с известняками. Известен в Финляндии (о. Паркас), Норвегии и др. Каламин. Водный кремнекислый цинк.

Химический состав. H_2ZnSiO_5 , или $Zn(OH)_2SiO_3$; кремнезема 25,0%, окиси цинка 67,5%, воды 7,5%.

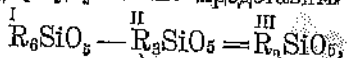
Внешний вид и физические свойства. Сплотные зернистые массы, нелучные почковидные формы белого, голубого, зеленоватого, бурого и серого цветов. Твердость—4,5; уд. вес—4,5—5. Кристаллы гемиморфные, ромбической сингонии (рис. 143).

Формы залегания и происхождение. Верхние части цинковых жил, часто с глиной и углекислым цинком—смитсонитом. Минерал зоны каламорфизма.

Месторождения. Польша, Сибирь—Нерчинский район, Тетюхе близ Владивостока и многие другие цинковые месторождения у нас и за границей.

Турмалин. Название синталезское, данное на о. Цейлоне.

Химический состав. Турмалины—превычайно сложные соединения. Теоретически формулу можно представить так:



где:

$R^I = Na, Li, K; R^II = Mg, Fe, Ca; R^III = Al, B, Cr, Fe \dots$

Сильно железистый турмалин называется шерлом. С содержанием хрома—хром турмалины.

Внешний вид и физические свойства. Встречается в кристаллах в виде вытянутых призм гексагональной сингонии, обычно пароспных, с хорошо образованным головками кристаллов (рис. 144 и 145).

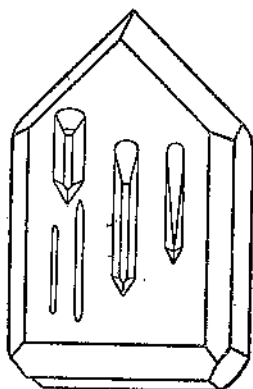


Рис. 143. Кристалл каламина (с фигурами вытравления).

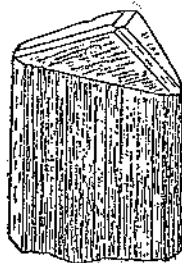


Рис. 144. Тип кристалла турмалина. Комбинация призм и двух тригональн. пирамид.

Цвет—черный, зеленый, розовый, бурый, иногда один кристалл разноокрашен. Попадаются светлые кристаллы с черной головкой (головка непра). Некоторые разновидности настолько различаются в поглощении по-

лризованных лучей обыкновенного и необыкновенного, что употреб-
ляются как поляризатор и анализатор в специальном приборе, называе-
мом турмалиновыми щипцами. При
нагревании, трении электризуется,
причем на разных концах одного
и того же кристалла развиваются
различные заряды (гемиморфизм),
Твердость 7,5; уд. вес 2,98—3,20.

*Формы залегания и проис-
хождение.* В зоне магмы турмалин
главным образом минерал пегмати-
товых жил и верхних частей кис-
лых гранитных магм, где идут пне-
матолитические процессы. Гранит
иногда настолько проникнут турма-
лином, что называется турмалиновым
гранитом. В зоне анаморфизма тур-
малин характерен для сланцев (тур-
малиновые сланцы) и для контактов.

Месторождения. Урал Сред-
ний и Южный; зеленые и розовые
шерлы близ Свердловска (Мурзинка,
Алабашка и др.) (рис 146). Сибирь,
у ст. Борзя (Шерловые горы), Аду-
Чолонг. Калифорния. Канада. Бра-
зилия.

Употребление. Красиво окра-
шенные разновидности ценятся как дра-
гоценный камень.



Рис. 145. Гигантский кристалл турма-
лина. С. Америка. (Уменьшено вдвое).



Рис. 146. Турмалин. Алабашка, Урал.

Ставролит. Название от формы сростания кристаллов в виде креста. Состав приблизительно $\text{HFeAl}_3\text{Si}_2\text{O}_{12}$.

Призматические или крестообразные сростки кристаллов (рис. 147) ромбической спитонии в слюдяных сланцах. Обычно вместе с гранатом.

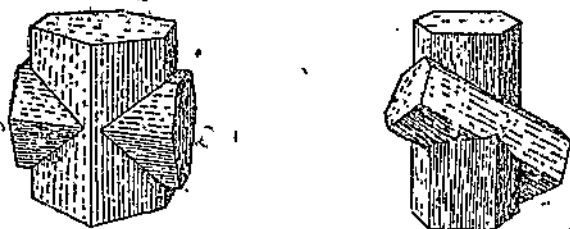


Рис. 147. Ставролит. Характерные двойниковые сростки кристаллов.

Минерал кристаллических сланцев.

Месторождения. Встречается на Урале близ Златоуста (гора Таганай); в Швейцарии (вместе с кальцитом) и других местах.

Водные силикаты

Группа цеолитов

Название цеолитов происходит от слова «цео» (дзео) — всплывать и «литос» — камень; дано за свойство всплывать и вспениваться перед пламенной трубкой.

Химически цеолиты характеризуются основным алюмосиликатным ядром, по составу аналогичным полевым шпатам, и содержанием воды.

Содержание воды непостоянно в одном и том же минерале и находится в зависимости от термодинамических условий среды, но тем не менее настолько всегда характерно и тесно связано с молекулярным строением, что вода носит название цеолитной воды. Цеолитная вода легко выделяется даже при слабо повышенной температуре.

По внешности цеолиты обычно бесцветные или белые, красноватые, желтые, бурые. Встречаются кристаллами, выросшими друзами, на стенках пустот трещин в разложившихся основных изверженных породах, особенно в базальтах. Уд. вес очень незначителен — 2,2—2,3; твердость не выше 5.

Образование цеолитов связано с избытком воды при образовании или разрушении основных порных пород. Такой избыток воды бывает в конце вулканических извержений, при смеси паров воды с расплавленной лавой. Застывающая лава потрескивается в пустотах и трещинах выделением цеолитов.

Второй тип образования — в зоне катаморфизма, где при разрушении породы силикатовые части при обилии водных растворов дают цеолитовые заполнения трещин.

Как новейшие образования цеолиты известны на стенах древних зданий, выстроенных из вулканических пород.

Важнейшие цеолиты следующие:

Апофиллит, $\text{H}_7\text{KCa}_4(\text{SiO}_3)_8 \cdot 4\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Кристаллы тетрагональной сингонии (рис. 148). Встречаются в Гренландии, Исландии, Мексике и Германии (Андреасберг).

Гейландит, $\text{H}_4\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. В базальтах белые и красно-бурые кристаллы и зернистые массы.

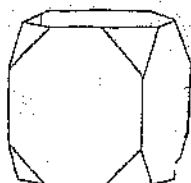
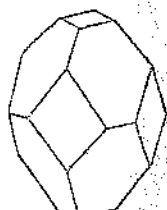


Рис. 148. Формы кристаллов апофиллита. Комбинация тетрагональной призмы и бипирамиды.

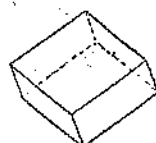


Рис. 149. Ромбоэдр шабазита.

Десмин, $\text{H}_4(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{AlSi}_5\text{O}_{18} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Тонкие пластинчатые и снепо-видные агрегаты кристаллов моноклинной сингонии в миндалинах базальтовых пород.

Шабазит, $(\text{CaNa}_2)\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Встречается в базальтовых породах, в виде друз — прозрачных и белых кристалликов гексагональной сингонии (рис. 149). Ауссит в Чехии.



Рис. 150. Натролит р. Ангары, Сибирь.

Анальцит, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Встречается в характерных двадцатичетырехгранниках кубической сингонии бесцветного, а также белого, желтого и зеленоватого цветов. Встречается вместе с другими цеолитами. Гора Благодать на Урале. Ауссит в Чехии и многие другие месторождения.

Натролит, $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{16} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Белые, желтоватые, красноватые радиальнолучистые и желтоватые массы (рис. 150). Реже призматические кристаллы ромбической сингонии. Встречается в базальтах и тому подобных породах. Известен как продукт разрушения амсилина в сиенитах. У нас в Забайкалье.

Сколецит, $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Встречается в кристаллах, имеющих вид столбиков, реже — тонких плит (рис. 151), а также и в

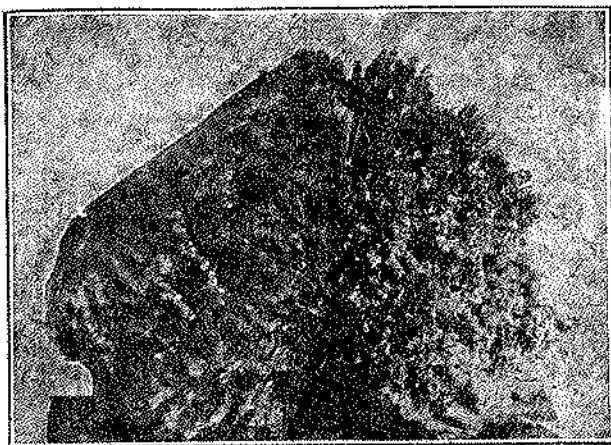


Рис. 151. Сколецит. Исландия.

сильном виде, образуя лучистожилковатые агрегаты, бесцветные, белые, иногда желтовато-серые.

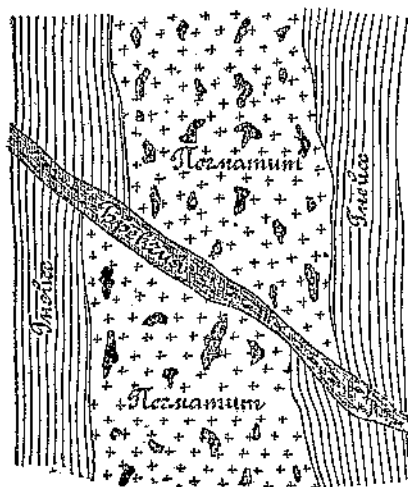


Рис. 152. Мусковит в пегматитовой жиле (черные пятна). Разрез месторождения в Бенгалии, Индия. (По S. Hugh.)

Встречается реже натролита, большей частью в пустотах базальтовых пород, в Исландии, Колорадо (Сев. Америка) и некоторых других местностях.

Томсонит, $(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Встречается в пустотах лав, а также с эвезитом как результат выветривания. Цвет белый, блеск стеклянный, иногда перламутровый. Просвечивает, но чаще мутный.

В СССР цеолиты встречаются на Кавказе в окрестностях Тифлиса и Батума; в Сибири по р. Селенге.

Употребление. Цеолиты прекрасно очищают загрязненную воду и употребляются в большом количестве для фильтров.

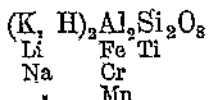
Обычно для этой цели цеолиты готовят искусственно.

Слюды

Слюды — очень распространенные в земной коре минералы. Они являются обычными породообразующими минералами изверженных гор-

ных пород и кристаллических сланцев. Их образование следовательно связано главным образом с зоной магмы и с зоной анаморфизма.

В гранитах слюды представляют собой одну из главных составных частей (рис. 152), а некоторые кристаллические сланцы нацело состоят из слюды, как например слюдяной сланец. Химически слюды мало изучены; по Вернадскому, главной составной частью слюды является алюмосиликат типа:



Чрезвычайно характерно присутствие H_2O (вероятно ионы OH), содержание которой достигает 10,8%. В большинстве случаев анализы слюды дают результаты, не укладывающиеся в формулу. Все слюды отличаются весьма совершенной спайностью в одном направлении и легко расщепляются на упругие листочки. Твердость невелика, от 2,5 до 3. Кристаллы в моноклинной спайности в форме табличек и пластинок, редко в виде пирамидальных кристаллов.

Все характерные свойства слюды и их образование можно свести в следующую таблицу:

Название	Формула	Генезис	Внешний вид
Мусковит			
Калиевая слюда	$H_2KAl_2(SiO_4)_2$	Магмы. Пегматитовые жилы. Метаморфические породы	Цвет белый. Прозрачна в тонких листках
Парагонит			
Натровая слюда	$H_2NaAl_2(SiO_4)_2$	Кристаллические сланцы	Белого цвета
Лепидолит			
Литиевая слюда (рис. 153)	$F_2(K, Li)_2Al_2Si_2O_6$	Пегматитовые жилы	Светлого фиолетового цвета
Биотит			
Магнезиально-железистая слюда	$(K, H)_2(Mg, Fe)_2(Al, Fe)_2Si_2O_{12}$	Изверженные и метаморфические породы	Черного цвета
Флогопит			
Фтористо-магнезиальная слюда (рис. 154 и 155)	$FK_2Mg_3AlSi_3O_{12}$	Контакты	Бурого и зеленоватого цвета

Слюды вторичного происхождения широко распространены в метаморфических породах, образуясь из многих минералов, как например из полевшатов, елсолита, андалузита и др.

Серицит. Разновидность калиевой слюды, характерная для метаморфических пород. Глинистый и анаморфичные сланцы часто заменяются в серицитовый сланец. Это явление называется серицитизацией.

Таким же видоизменениям могут подвергаться порфиры, граниты, гнейсы. Внешний вид минерала чешуйчатый, светлый, с шелковистым блеском. Месторождения слюд. Мусковит часто скапливается в значительных количествах в пегматитовых жилах. Отдельные «кристаллы» до-



Рис. 153. Лепидолит в ортоклазе. Урал.

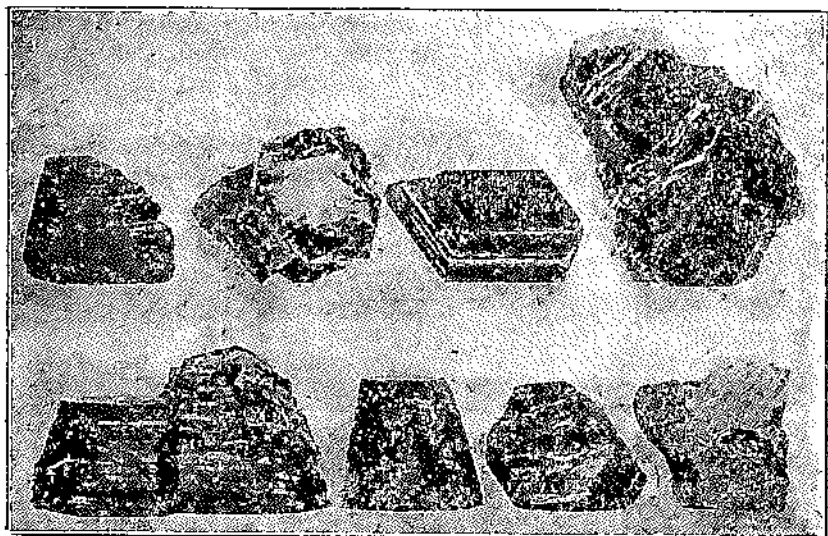


Рис. 154. Кристаллы флюоропатита. Сев. Америка.

стигают иногда до 16 кг и более весом и дают пластинки до 0,5 м². Старинные месторождения известны на севере СССР в районе Архангельска. Эти месторождения разрабатывались еще в XVII в. Значи-

тельные месторождения известны в Сибири, на р. Маме, Красноярского района. По р. Слюдянке, на юг от Байкала встречается флогопит. На Урале значительно менее, богатые залежи мусковита известны в негматитовых жилах Ильменских гор. Мировое значение имеют месторождения Индии и Канады, главные поставщики слюды на мировой рынок.

Употребление слюды. Практическое применение имеет лишь калиевая слюда и некоторые флогопиты. Калиевая слюда, как не проводящая электричество, применяется в качестве изолятора для динамо-машин, для этой же цели идут и флогопиты; в силу тугоплавкости и прозрачности слюда идет для окон плавильных печей; кроме того на мембраны для граммофонов.

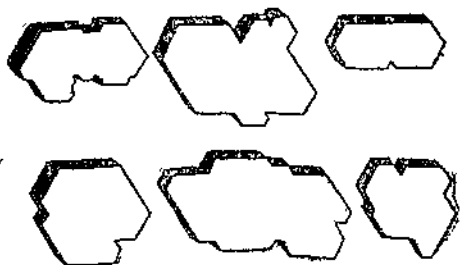


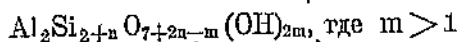
Рис. 155. Схематический чертеж сростков кристаллов флогопита.

Группа хлоритов и хлоритойдов

Химически обе эти группы мало изучены. По Вернадскому, хлориты являются производными кислот:



хлориты же:



По физическим свойствам очень схожи со слюдами. Обладают весьма совершенной спайностью, таблитчатым видом кристаллов, большей частью моноклинной симметрией. Твердость хлоритов 2—3; хлоритойдов 4—6,5. Блеск часто перламутровый. Цвет зеленый, черно-зеленый, редко белый и фиолетовый (при содержании хрома).

Образование этой группы совпадает при невысоких температурах, при высоком давлении в присутствии воды. Таким образом они являются характерными минералами процессов метаморфизма, но не простого выветривания.

Характерны они также для области контактов и некоторых жильных месторождений.

Широко распространенные на Урале хлоритовые сланцы большей частью целиком состоят из минералов этой группы.

Хлоритойд, $\text{H}_2(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_2\text{SiO}_7$. Твердость 4,5. Цвет — от зеленого до черного. Хрупок. Встречается в чешуйчатых и пластинчатых агрегатах.

Различают: оттрейлит — хлоритойд, богатый магнием; кальциевый хлоритойд носит название маргарита с формулой $\text{H}_2\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$. Минерал весьма распространен в хлоритовых сланцах.

Хлориты. К группе хлоритов относится много различных минералов. По характеру воды, входящей в состав хлоритов, различают:

ортохлориты (вски вода выделяется лишь при полном красном калении) и плетитохлориты (вода выделяется выше 600°).

Кроме того выделяют группу гидроксидитов — алюмосиликатов, богатых преолитовой водой.

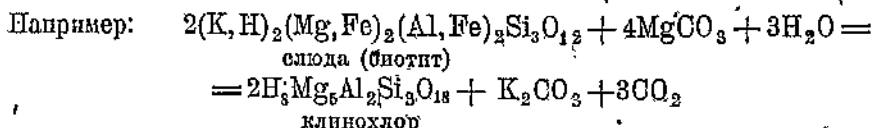
Важнейшие хлориты следующие:

Клинохлор, $H_2Mg_5Al_2Si_3O_{18}$. Твердость 2; уд. вес 2,55—2,78. Цвет зеленый. Обладает совершенной спайностью. Гибом. Образует прекрасные моноклинные кристаллы, часто группирующиеся друзами. Существеннейшая составная часть хлоритового сланца.

Парагенетически часто связан с гранатом, диоксидом и т. п. В СССР встречается на Урале. Прекрасными кристаллами клинохлора славится Ахматовская копь.

Шепидия, $H_{20}Mg_{13}Al_4Si_8O_{45}$. Моноклинные кристаллы, группирующиеся друзами. Твердость 2,5; уд. вес 2,6—2,8. Перламутровый блеск. Составная часть хлоритовых сланцев.

В хлориты чаще всего переходят следующие минералы: полевые шпаты, слюды (биотиты); авиниты и роговые обманки; гранаты.



Месторождения. Прекрасными кристаллами хлоритов славится Ахматовская копь близ Златоуста. Хлоритовид известен у д. Косой Брод близ Свердловска, вместе с корундом и диаспором. За границей — Швейцария, Швеция.

Группа Змеевика и талька

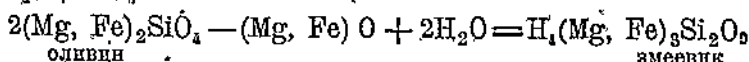
Змеевин. Название по внешнему виду.

Химический состав: силикат магния, $H_4Mg_3Si_2O_9$, или $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$; кремнезема 44,16%, магния 48,0%, воды 12,90%; железо часто замещает магний.

Внешний вид и физические свойства. Плотные массы с заполненным изломом, зеленого цвета различных оттенков до темного в зависимости от количества железа. Часто пятнистый от вкраплений хромистого железняка. Некоторые разности волокнистого строения с шелковистым блеском, называются хризотилом и асбестом. Твердость 2,5—4; уд. вес 2,5—2,65.

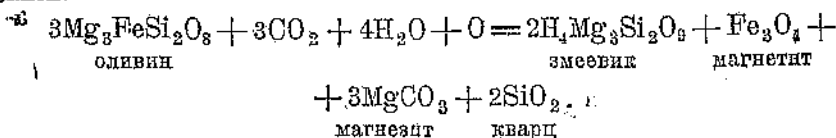
Формы залегания и происхождение. Змеевики залегают огромными массами, образуя горную породу. Связаны они обычно с оливковыми породами и происходят от выветривания оливинна.

Процесс протекает так:



т. е. совершается выделение железа и магния и присоединяется вода, но так как это происходит в присутствии углекислых растворов, то

обычно выпадает еще магнезит, а железо переходит в формы закис-
окися:



Месторождения. В СССР широко распространен на Среднем и Южном Урале. Обычно является материнской породой хромистого железняка, магнезита, талька и асбеста.

Асбест змеевиковый. Волокнистая разновидность змеевика. Находится в виде жил и прожилков, состоящих из тонких шелковистых волокон, ориентированных перпендикулярно стенкам жилы (рис. 156). Такие жилы различной мощности от долей миллиметра до 10 см и более иногда пронизывают сплошь толщи змеевика (рис. 157).



Рис. 156. Асбест в породе. Важенно, Урал.

Происхождение асбеста до сих пор не вполне ясно. Повидно-
мому, это продукт более или менее глубокого метаморфизма.

Месторождения. Урал Средний и Южный, Финляндия; Сев. Аме-
рика (Канада). Мирового значения залежи асбеста у нас на Урале
в районе Свердловска (Важенно).

Употребление. Волокнистые разновидности — асбест — широко применяются для несгораемой ткани, картона и т. п. как изоляционный от жара материал и в последнее время — как материал строительный. Плотные массы красивых цветов — как декоративный камень.

Тальк. *Химический состав:* метасиликат магния, $H_2Mg_3(SiO_3)_4$; кремнезема 63,5%, окиси магния 31,7%, воды 4,8%. Иногда присутствует никель в небольших количествах.

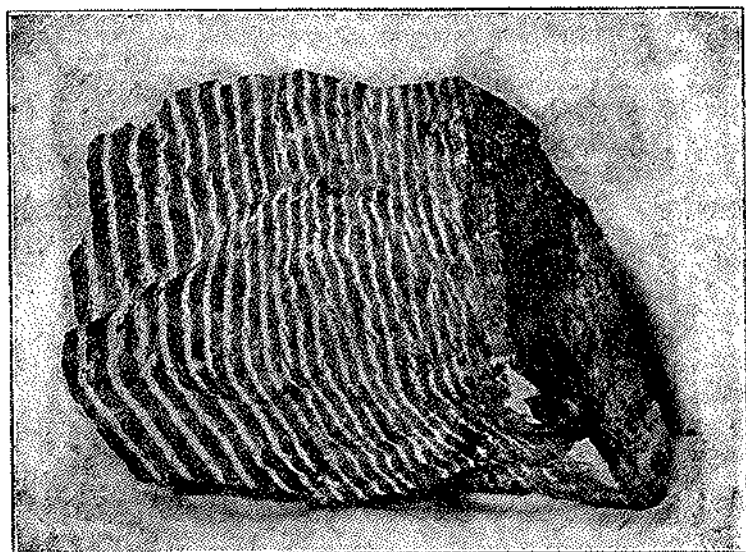
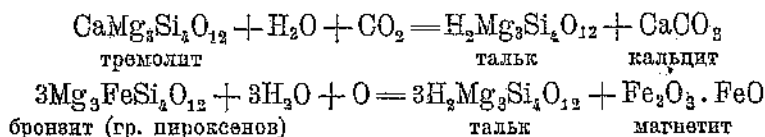


Рис. 157. Тигровый асбест. Байдариово, Урал.

Внешний вид и физические свойства. Плотные массы белого, серого цветов, жирны на ощупь (жировит, мыльный камень). Листоватые массы с весьма совершенной стайностью в одном направлении, зеленоватые, желтоватые и другие цвета (рис. 158). В тонких листах гибок. Очень мягок. Твердость 1; уд. вес 2,7—2,8.

Формы залегания и происхождение. Встречается пластами, гнездами, часто образует горную породу — тальковые сланцы. Образуется в зоне анаморфизма вместе со сланцевыми породами. Кроме того при выветривании роговых обманок, авгитов, слюд и других минералов. Так тремолит при участии углекислых растворов метаморфизуется в тальк:



Месторождения. Урал близ Свердловска и в Миасской даче. Кыштымский район (д. Шагры).

Употребление. Наибольшее применение в резиновой промышленности, кроме того в бумажном, парфюмерном и кожевенном производствах, для смазочных масел, пудры; плотные, вязкие тальки (серагит или порпечный камень) — для огнеупорной посуды.



Рис. 158. Тальк. Ср. Урал.

Морская пенка. Селенит, $H_4Mg_2Si_2O_{10}$. Желваки в змеевиковых породах белого, желтоватого и серого цветов. Легко режется ножом. Порист. Твердость 2,5; уд. вес 2. Продукт выветривания змеевика, встречается в Малой Азии; употребляется для мундштук и труб.

Гарниерит, или нумент. (Разновидность, встречающаяся в СССР, называется реддиискит.)

Химический состав. $H_4(Mg, Ni)_2(SiO_4)_3 + 4H_2O$. В общем состав очень изменчив. Содержание Ni доходит до 25%.

Внешний вид и физические свойства. Сплошные землистые поздраватые массы, часто пронизанные собой пористый кварц. Типичного яблочно-зеленого и изумрудно-зеленого цвета. Твердость 2—4; уд. вес 2,27.

Формы залегания и происхождения. Гарниерит связан обычно с выветриванием змеевика и оливина и залегает совместно с железистыми и кварцевыми продуктами выветривания оливковых пород. Эти продукты заполняют трещины в окружающей породе, образуя жилкообразные массы (рис. 159). По А.

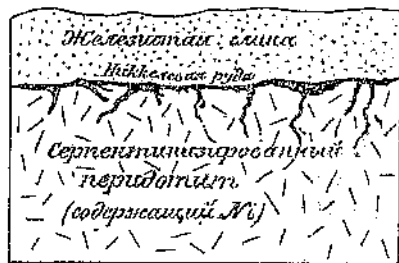


Рис. 159. Образование гарниерита.

Карпинскому, происхождение русских реддиискитов таково: никель содержащие змеевики, отдавая в раствор магнезию, MgO , и обо-

тапшая кремнеземом, концентрируют Ni в трещинах и в местах контактов с глинами и другими породами.

Месторождения. Мирового значения залежи известны на о. Новая Каледония.

В СССР никелевый силикат встречается на Среднем Урале у ст. Ревда и носит название ревдинсита.

Употребление. Применяется как руда на никель.

Группа каолина

Каолин. (Каолинит.) Название с китайского языка — фарфоровая глина.

Химический состав. $H_4Al_2Si_2O_9$, или $Al_2O_3 \cdot 2H_2O \cdot 2SiO_2$; кремнезема 46,5%, глинозема 39,5%, воды 14,0%. Каолиновое ядро имеет формулу $H_2Al_2Si_2O_8$, вследствие чего каолин иногда рассматривают как свободную алюмосиликатную кислоту, способную давать соли.

Внешний вид и физические свойства. В чистом виде каолин представляет собой белые, пыльные, землистые массы, дающие с водой пластичную массу. Он является основной составной частью глин. Твердость 2; уд. вес 2,6—2,63.

Формы залегания и происхождение. Обычный минерал полей поверхностного выветривания. В каолин переходят полевые шпаты, слюды и другие алюмосиликаты. Каолинизация горных пород — распространеннейший процесс в природе. Залегает каолин в связи с полевшатовыми изверженными породами в первичных месторождениях. Так например во многих местах южной части СССР, в Сибири можно найти граниты, где весь полевой шпат превратился в каолин, но структура гранита еще сохранилась.

Вымытый и унесенный водами каолин отлагается во вторичных месторождениях среди осадочных пород (Чернигов, Глуховский район).

Кроме процессов поверхностного выветривания каолин повидному образуется и под влиянием более глубоких процессов гидротермальных и даже пневматолитических.

Месторождения. Мировой известности залежи каолина находятся в Саксонии и связаны с гранитными породами. В СССР месторождения каолина находятся главным образом на Украине (запасы до 50 млн. т), и приурочены к выходам гранитных пород (Турбово, Глуховский завод, ст. Волноваха, Белая Балка, Мариупольский район и др.). Не čistый каолин в форме глин разных видов известен в Воронежском районе у ст. Ламой, у ст. Часов Яр в Донбассе, в Московском районе (Гжель), в Калужском, в Боровичском (Ленинградской обл.) и во многих других местах СССР.

Минералы глин

Кроме каолина в состав глин входят следующие водные алюмосиликаты:

Галлоизит. Разновидность каолина $H_4Al_2Si_2O_9 + H_2O$. Составная часть глин.

Пирофиллит. $\text{H}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_4$. Листоватые радиально-пластинчатые и жилковатые массы (рис. 160). Блеск перламутровый. Твердость 1; уд. вес 2,8—2,9. Плотные разновидности называются агальматолитом и употребляются для вытесывания различных украшений.

Волконскоит — водосодержащий хромосиликат типа глины, встречающийся на Урале, близ д. Самосадки, Частинского района.

В последнее время найден в больших количествах.

Интересен как зеленая очень прочная краска, применяемая в живописи.

Аллофан, $\text{Al}_2\text{SiO}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Кремнекислая медь. Хризоколла, $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; кремнезема 34,3%; окиси меди 45,2%; воды 20,5%. Яркозеленого цвета аморфные массы со стекляннм блеском. Встречается в породе выветривания медно-рудных жил.

Месторождения. Урал, Алтай.



Рис. 160. Пирофиллит. Сев. Каролина.
Сев. Америка.

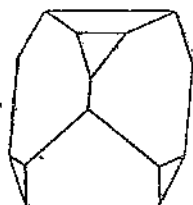


Рис. 161. Форма кристаллов сфена
(титанита)

Титаносиликаты

Титанит (от содержащая титана), CaTiSiO_5 . Встречается многочисленными кристаллами моноклинной сингонии (рис. 161) коричневого, серого, зеленого и других цветов, вросшими в граниты. Минерал

распространенный. Известен на Урале в Ильменских горах¹ (контакты с кальцитом) близ Златоуста в Ахматовской копн. На Кольском полуострове (Хибинские горы).

Перовскит, CaTiO_3 . Название нерациональное. Редкий минерал области контактов с кальцитами. При высокой температуре реакция магмы, содержащей Ti с кальцитом, идет так:



Месторождения мировой известности — Южный Урал близ Златоуста в так называемой «Чувакской степи».

НИОБАТЫ, ТАНТАЛАТЫ

Эта группа объединяет минералы редких земель, большей частью известных как выделения гранитных магм. Химически очень мало изучена; минералы, сюда относящиеся, большей частью радиоактивны благодаря содержанию Th и U.

Пирохлор. Название нерациональное. $\text{RNb}_2\text{O}_6 \cdot \text{R}(\text{Ti}, \text{Th})\text{O}_3 \cdot \text{NaF}$, где R — металлы щелочной группы, а также кальций и другие. Встречаются хорошо образованными октаэдрами, также в зернах, вросшими в слениты. Цвет коричнево-желтый, блеск жирный, хрупок. Твердость 5,5; уд. вес 4,2—4,36.

Месторождения. Урал близ Мизаса; Норвегия — Лаурик.

Танталит-колумбит, $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$, черные призматические кристаллы ромбической сингонии в пегматитовых жилах гранитных магм.

Месторождения. Урал — Ильменские горы, Колумбия, Норвегия.

Самарскит. (Уранотанталит.) Основное название нерациональное.

$\text{R}_2\text{R}_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_{21}$, где $\text{R} = \text{Fe}, \text{Ca}, \text{UO}_2$ и др., $\text{R} = \text{Ce}, \text{Y}, \text{Er}$; состав чрезвычайно сложен и плохо укладывается в формулу. Черные со скопленным блеском в изломе призматические кристаллы ромбической сингонии и скопления кристаллов в кислых гранитных породах. Радиоактивен.

Месторождения. Урал — Ильменские горы; Норвегия; Сев. Каролина.

Эшнит. Название нерациональное. $\text{RNb}_4\text{O}_{13} \cdot \text{R}_2(\text{TiTh})_2\text{O}_{13}$, где R — металлы Ce-группы, а также FeO, CaO и др. Главное отличие от самарскита — большое содержание Ti и Th. Радиоактивен. Черные червеобразно изогнутые кристаллы в гранитах со слюдой и цирконами.

Месторождения. Урал — Ильменские горы, Норвегия.

¹ Ильменские горы представляют собой естественный минералогический музей, где известно более ста копей с разнообразными минералами (рис. 162).

Чаще всего встречаются: нефелин (элеолит) — породообразующий минерал, слагающий распространенную здесь породу, так называемый нефелиновый сленит. Микроклин со своеобразной пергитовой структурой; мусковит, биотит, ильменит, циркон в превосходных кристаллах, офен; группа редкоземельных минералов: пирохлор, самарскит, эшнит, монацит; минералы пегматитовых жил — топаз, берилл, фенацит, вместе с ниобовотанталовым минералом колумбитом; кроме того корунд, роговая обманка, графит в виде шарообразных включений в граните и многие другие.

Монацит. Название нерациональное.

Химический состав. Фосфат цериевых металлов $(Ce, La, Di)_3(PO_4)_2$. Присутствует ThO_2 , что придает многим монацитам радиоактивные свойства.

Внешний вид и физические свойства. Обычно в таблитчатых коричневатых, желтоватых кристаллах моноклинной сингонии (рис. 163). Твердость 5—5,5. Уд. вес 5—5,2.

Формы залегания и происхождение. Отдельными небольшими кристаллами и группами кристаллов в пегматитовых жилах вместе с топазом и кварцем. Пески в россыпных месторождениях золота и драгоценных камней.

Месторождения. Урал — Ильменские горы. Россыпные месторождения — Кочкарская система на Южном Урале, Нерчинский район, некоторые районы Германии. Мировой источник монацита — россыпные месторождения Бразилии.

Употребление. Идет для получения препаратов редких земель и тория; редкие земли находят применение в производстве аэуровских молотков для газовых горелок, пирроформых сплавов и т. д.

Апатит. Название нерациональное. (Рис. 164).

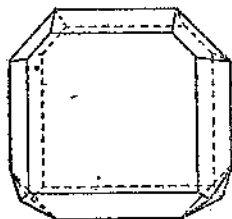


Рис. 163. Форма кристаллов монацита.

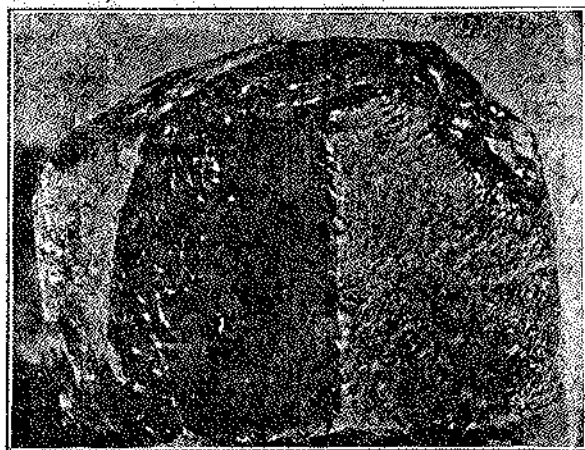


Рис. 164. Апатит. Река Слюдянка, оз. Байкал.

Химический состав. Различают хлорапатиты, $(CaCl)Ca_4(PO_4)_3$ и фторапатиты $(CaF)Ca_4(PO_4)_3$.

Внешний вид и физические свойства. Апатит встречается обычно в призматических кристаллах гексагональной сингонии; реже в таблитчатых кристаллах, обычно срастающихся друзами. Мелкие кристаллы бывают чисто игольчатые. Твердость типичная 5; уд. вес 3,2. Окраска очень разнообразна: известны бесцветные, белые, фиолетовые, бурые,

зеленые апатиты. Светлозеленые разновидности апатита, встречающиеся у оз. Байкала близ р. Слюдянки, называются морокситом.

Формы залегания и происхождения. Мелкие кристаллики апатита обычны в изверженных горных породах. В зоне мыл и в связанных с ней отложениях горячих водных растворов находятся главнейшие запасы апатита. Кроме того встречается на контактах с известняками.

Месторождения. Урал — перматиты изумрудных полей и изверженные породы Ильменских гор, Сибирь — контакты близ оз. Байкала, у р. Слюдянки, где находятся крупные кристаллы мороксита. Аналогичное Слюдянке месторождение известно в Канаде. На Кольском полуострове (Хибинские горы) и в Норвегии апатиты широко распространены в изверженных горных породах. В южной части Хибинских гор замечательно Кукивумчорское апатитовое месторождение, на котором заложены рудники, питающие новый мощный завод для переработки апатита.

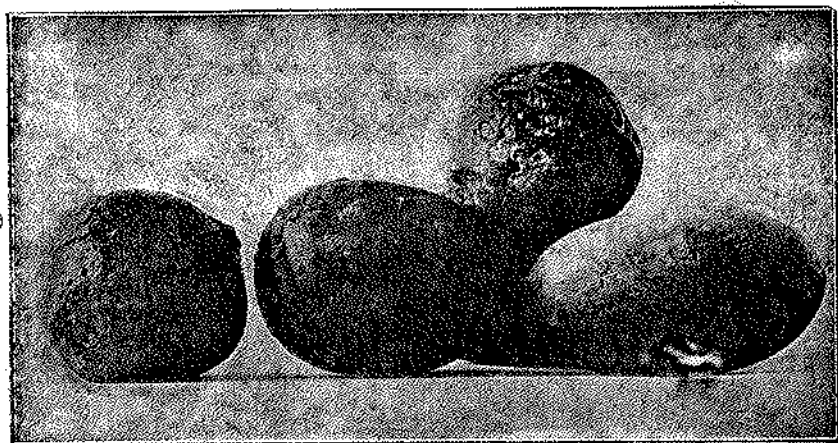


Рис. 165. Фосфорит подольский. (Музей Научн. инст. удобр.).

Употребление. В случае крупных залежей может иметь промышленное значение как удобрение.

Фосфорит. Землистый фосфат кальция, близкий по составу к апатиту; минерал осадочных пород. Образуется в связи с остатками организмов; залегает желваками в известняках, песках, песчанниках и сланцах (рис. 165 и 166). Содержание P_2O_5 от 15% (бедные фосфориты) до 30%.

У нас известны огромные залежи обычно бедных фосфоритов по всей европейской части СССР. Наиболее богаты фосфорной кислотой подольские фосфориты (рис. 167). В последнее время обнаружены многочисленные новые месторождения, из которых наиболее значительные в Московском, Костромском, Вятском и Саратовском районах и около Актобинска в Казахстане.

За границей месторождения мирового значения во Флориде и в Алжире.

Зеленая свинцовая руда. Пироморфит. Мелкие зернообразные и боченкообразные зеленые и бурые кристаллы и группы кристаллов (рис. 168). Реже натечные формы. Химический состав $(\text{PbCl})\text{Pb}_4(\text{PO}_4)_3$



Рис. 166. Фосфорит брянский (верхний горизонт).
(Музей Научн. инст. удобр.).



Рис. 167. Фосфорит брянский (средний горизонт).
(Музей Научн. инст. удобр.).

пятиокиси фосфора 15,7%, окиси свинца 81,7%, хлора 2,6%. Выпадает из горячих водных растворов в рудных жилах, встречается вместе с другими свинцовосодержащими минералами. Фосфор может замещаться мышьяком, и при формуле $(\text{PbCl})\text{Pb}_4(\text{AsO}_4)_3$ минерал зовется миметизитом. Если фосфор замещен ванадием, то получим ванадинит $(\text{PbCl})\text{Pb}_4(\text{VO}_4)_3$, минерал желтого или красноватого цвета. Все разновидности этого ряда встречаются часто вместе.

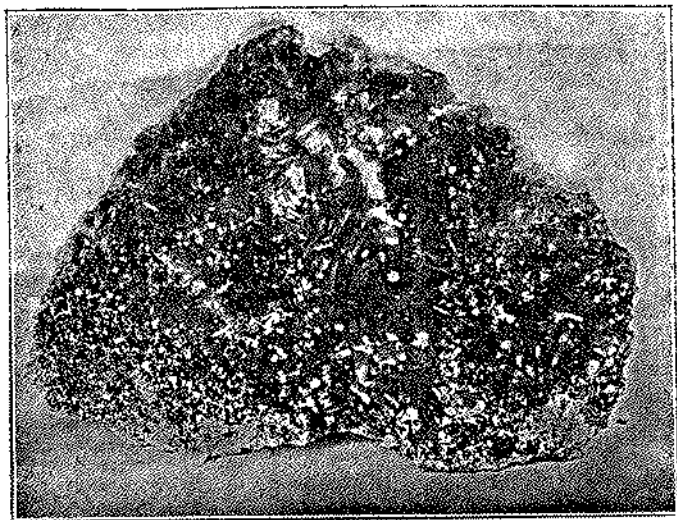


Рис. 168. Пироморфит. Фридрихсгаген, Германия.
(Минерал. музей МГА).

Месторождения. Урал — Березовский завод, близ Свердловска. В Казахстане — Сулейман-Сайский рудник (ванадинит).

Пироморфит промышленного значения не имеет. Ванадинит — ценная ванадиевая руда.

Вивинанит. Название в честь английского минералога Вивiana. Водный фосфат железа, $\text{Fe}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; пятиокиси фосфора 28,3%, закиси железа 43,0%, воды 28,7%. Белого, синего цветов, землистый или в кристалликах моноклинной симметрии, вместе с раковинами и остатками животных. Типичный минерал поща поверхностного выветривания. Твердость 1,5; уд. вес 2,58—2,68. Встречается в болотистых местностях СССР. В Керчи — в раковинах (жеринит).

Вавеллит. Назван в честь доктора Вавелля.

$4\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Обычно радиально-лучистые скопления в трещинах осадочных пород или зернистые массы. Цвет белый, переходящий в желтый, зеленый и бурый. Минерал пояса выветривания. Встречается на Урале, в Чехии, в Бразилии.

Бирюза. Водный фосфат алюминия, окрашенный соединениями меди. $\text{AlPO}_4 \cdot \text{Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Аморфные массы, иногда в налочных фор-

мах голубого цвета. Твердость 6; уд. вес 2,6—2,83. Минерал пояса выветривания. Встречается в разрушающихся трахитах, порфирах.

Месторождения. Персия (Нипшур), Таджикская ССР (Ходжент).

Ураниты, или урановы слюдки

Медный уранит (торбернит), $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2\text{P}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Пластинчатые кристаллы яркозеленого цвета, напоминающие листочки слюды. Пластинки

хрупки. Твердость 2,5; уд. вес 3,4—3,6. Минерал пояса выветривания. Вместе с урановыми рудами в Исахимстале (Чехо-Словакия) и в Саксонии.

Известковый уранит (отунит), $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{P}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Тонкие таблитчатые кристаллы и пластинчатые агрегаты желтого цвета. Аналогичен медному ураниту.

НИТРАТЫ

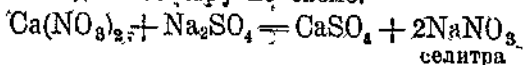
Нитраты, соли азотной кислоты, будучи легко растворимы в воде, дают мало устойчивых минералов.

Селитра. Натровая селитра NaNO_3 , известна в Чили. Образовалась в условиях климата пустынь. Образование ее относится к поверхностному поясу земной коры. Азотистые газы выделяются из вулканов и образуются в воздухе при грозовых разрядах. Соли азотной кислоты образуются часто в почве при участии нитробактерий или же получаются при разложении отбросов животных организмов. Скоплению селитры в пустынных местностях Чили, Перу и Боливии (рис. 169) способствует крайне сухой климат; здесь бывают области, где в течение 4—5 лет не выпадает ни капли дождя. Это ведет к тому,

Рис. 169. Месторождения бурь и селитры в Перу, Чили и Аргентине (южн. Америка).

Кроме бурь и селитры эти государства славятся как месторождения различных редких серебросодержащих минералов. Интересны здесь галогенные соединения серебра — амболит $\text{Ag}(\text{Cl}, \text{Br})$, нодирит AgI и др. Кроме того в пустыне Атакама известен азеленый акатамит $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$.

что в почвенном слое может накапливаться, не вымываясь, значительное количество азотнокислых соединений. Азотная кислота с известью почвы дает азотнокальциевую соль, которая под действием растворов сернонатровой соли дает селитру по схеме:



Месторождения селитры обычно связаны с месторождениями NaCl , Na_2SO_4 и других легкорастворимых солей, обычных в этих пустынных местах.

Небольшие залежи селитры, связанные с органическими остатками, известны во многих местах, пронизав собой известняки и продукты разложения горных пород.

Употребление. Для удобрения; для получения азотной кислоты.

Калиевая селитра, KNO_3 , главным образом встречается в виде выплетов в лавозных ямах, на стенах погребов и т. п. Употребляется для выделки пороха.

БОРАТЫ И УРАНАТЫ.

Борацит, $\text{Mg}_7\text{Cl}_2\text{B}_{10}\text{O}_{30}$; трехокиси бора 62,5%, магния 31,4%. Землистые желваки белого цвета или маленькие выросшие кристаллики, по внешнему виду кубической сингонии (рис. 170), но повидимому слагающиеся из ромбических неделимых. Твердость 7; уд. вес 2,9—3,0. Встречается как отложение морской воды вместе с ангидритом и гипсом в Стассфурте. Употребляется для изготовления буры и других борных препаратов.

Бура, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Выпадает из борнокислых растворов некоторых озер в Калифорнии, Неваде и Тибете. Кристаллы

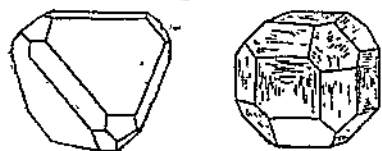


Рис. 170. Формы кристаллов борацита

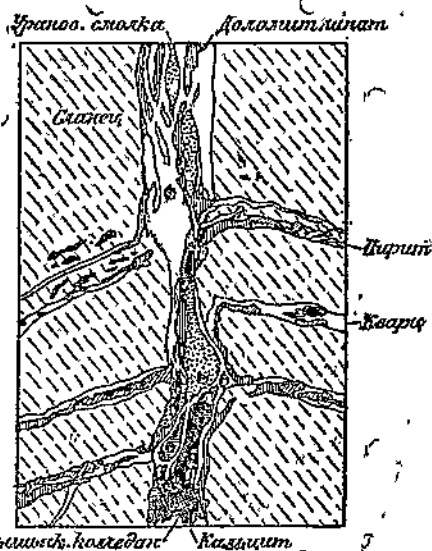


Рис. 171. Схематический разрез жилы с урановой смолкой.

моноклининой сингонии, очень похожи на кристаллы авгита, только белого цвета. Твердость 2,5; уд. вес 1,69—1,72. Часто землистые массы. Вкус сладко-щелочной. Употребляется как химический препарат для изготовления эмали, особых сортов стекол, при спайке металлов, в медицине и т. д.

Борнонатрокальцит, $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{14} \cdot \text{Na}_4\text{B}_4\text{O}_7 + 18\text{H}_2\text{O}$.

Нежные, белого цвета кристаллические пластинки, которые соединяются в почковидные агрегаты. Находится вместе с ламповой солью,

гинсом и шпиделинитом в залежах селитры в Южной Америке. Известен также в месторождениях соды и буры в Неваде и Калифорнии.

Урановая смоляная руда. *Химический состав:* оксидов урана 80%, остальное — свинец, торий, церий, иттрий, железо, висмут и многие другие примеси. Формула точно не установлена.

Внешний вид и физические свойства. Сплошные зеленовато-черные, смоляно-черные массы с жирным блеском, иногда кристаллы кубической сингонии. Твердость 5—6; уд. вес 9—7,9. Радиоактивна. Действует на электроскоп и на фотографическую пластинку.

Формы залегания и происхождение. Встречается в диамитовых и в рудных жилах, вместе с никелевыми, серебряными и висмутовыми рудами, выпадая из горячих водных растворов (рис. 171).

Месторождения. Иохимтегаль в Чехо-Словакии; Рудные горы — Саксонии, Бельгийское Конго в Центральной Африке.

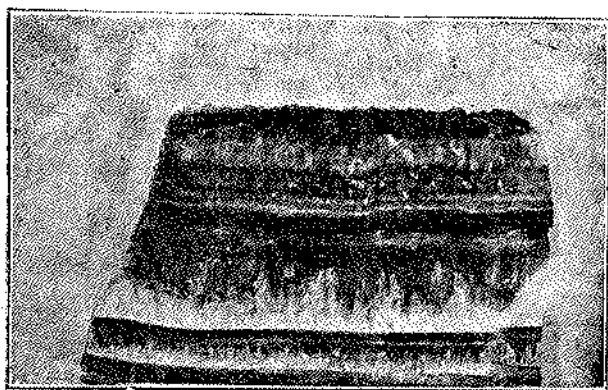


Рис. 172. Сталагмитовая кора. Тюя-Мун, Фергана. (Минералог. музей МГА).

Употребление. Идет для приготовления урановых и радиевых препаратов.

Карнотит. *Химический состав.* $K_2O \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot 3H_2O$; K_2O 11%, U_2O_5 64%, V_2O_5 20%, H_2O 5%. Количество заключающегося в минерале радия в переводе на бромистый радий может быть выражено цифрой 0,000000527%.

Внешний вид и физические свойства. Порошкообразные, землистые массы лимонно-желтого цвета. Радиосактивен пропорционально содержанию урана.

Формы залегания и происхождение. Карнотит находится в осадочных горных породах, в кварцевых песках и в пустотах песчаника. Сопровождается азуритом и малахитом.

Месторождения. Главные месторождения находятся в Америке, в Монтрозе и в Колорадо.

Употребление. Еще недавно представлял собой главную руду на радий в Америке.

Тюямунит, $V_2O_5 \cdot 2UO_3 \cdot CaO \cdot 4H_2O$. Близок к карнотиту. Желтые и землистые массы находятся в карстовых пустотах и трещинах известня-

зов Узбекистана близ Анджана (рудник Тюя-Муюн). Пустоты имеют карстовый характер, что видно из кальцитовых корок на стенах (рис. 172). Месторождение имеет промышленное значение, разрабатывалось на уран и ванадий, а в последнее время кроме того поставлено производство радия из тюямунита. Запасы радия (видимые запасы) ис-

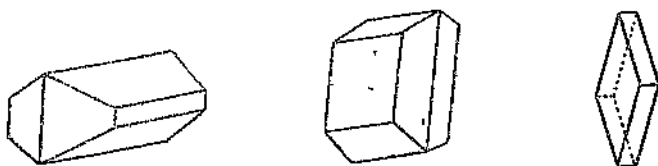


Рис. 173. Формы кристаллов барита.

числяются до 10 г (мировой запас до войны исчислялся в несколько килограммов).

СУЛЬФАТЫ И ХРОМАТЫ

Барит. От греческого «барюс», что значит тяжелый (рис. 174).

Химический состав. Сульфат бария BaSO_4 ; окиси бария 65,7%. Часто примеси сульфата кальция и стронция.



Рис. 174. Барит, Саксония. (Минерал. музей I МГУ).

Внешний вид и физические свойства. Встречается грубозернистыми, плотными массами белого, голубого, красноватого цветов. Часто встречается в хорошо образованных табличчатых кристаллах ромбической сингонии (рис. 173). Кристаллы сростаются друзами, сростками, часто со всевозможными включениями. Некоторые образцы светятся

в темноте после действия на них солнечных лучей (болонский фосфор). Твердость 3,5; высокий уд. вес 4,3—4,6—выражается в распространенном названии этого минерала — тяжёлый шпат. Слово шпат подтверждает весьма совершенную спайность барита.

Формы залегания и происхождение. Барит обычно встречается в жилах с сернистыми минералами, выпадая из горячих водных растворов в рудных жилах, главным образом в верхних частях. Барий выделяется из бариевых полевых шпатов, серная кислота — из разрушенных сернистых минералов. Таким образом в поясе выветривания бариты образуются вместе с железной рудой из разрушаемых молчеданов, среди горных пород, содержащих барий. В поясе выветривания встречается вместе с кальцитом и целестином. Хорошие кристаллы в глине как продукт разрушения верхней части рудной жилы. Иногда служит окаменевшим веществом ископаемых моллюсков.

Месторождения. Южный Урал близ Златоуста — вместе с сернистыми минералами рудных жил; Кавказ, Восточная, Кавказская, Сибирь, Англия (Кумберленд).

Употребление. Для получения бариевых препаратов, для красок и пиротехники (азотнокислая соль бария).

Целестин, SrSO_4 ; окиси стронция 56,4%; Промеси кальция и бария. Волокнистые массы в известняках. Кристаллы мало отличимы от кристаллов барита. Твердость 3,5; уд. вес. 3,95—3,97. Бесцветен или окрашен в синеватые цвета. Встречается редко в рудных жилах, обычно среди осадочных пород в мергелях, гипсах, известняках. Минерал зоны поверхностного выветривания. Известен в гипсах близ с. Доробаны, в Бессарабии, в Кырму около Феодосии, на Кавказе; в Узбекистане (Тюя-Мун, Лякан и др.). В Сицилии вместе с серой и во многих других местах.

Употребляется для приготовления препаратов стронция.

Свинцовый купорос (англезит), PbSO_4 . Прозрачные, белые массы и кристаллы ромбической сингонии. Твердость 3; уд. вес 6,2—6,3. Блеск матовый. Находится в верхних частях галенитовых жил. Известен на Урале; в Нерчинском районе; в Сардинии; в Англии.

Ангидрит (в переводе с греческого — безводный — в отличие от гипса).

Химический состав. CaSO_4 ; окиси кальция 41,2%; SO_3 58,8%.

Внешний вид и физические свойства. Обычно зернистые массы синеватого, красновато-белого цветов. Кристаллы ромбической сингонии, редки и мелкие. Совершенная спайность по трем направлениям. Твердость 3; уд. вес 2,9—3,0.

Формы залегания и происхождение. Встречается пластами, прожилками и желваками в осадочных породах, вместе с каменной солью и гипсом, являясь отложением морской воды.

Месторождения. Уральская обл. (Кунгур), Нижегородский край, Артемовское соляное месторождение, Германия — Стассфурт.

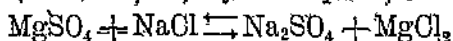
Употребление. Для получения серной кислоты и ангидритового цемента.

Крокот (от крокос — шафран). Хромовосищенный свинец, PbCrO_4 . Яркого красного цвета. Призматические кристаллы моноклинной сингонии

в рудных жилах вместе с таленитом и другими рудными минералами. Встречается в Березовском заводе близ Свердловска; в Бразилии и Тасмании. Минерал радий.

Брошантит. Назван в честь минералога Брошана. Основной сульфат меди, $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$; окиси меди 70,30%; SO_2 17,70%; воды 12,00%. Изумрудно-зеленого цвета. Почкообразные, лучистые массы. Кристаллы ромбической сингонии, мелкие, друзами. Твердость 3,5; уд. вес 3,78—3,90. Спайность весьма совершенная. Встречается вместе с малахитом и купритом в поясе выветривания рудных жил на Урале — Гумешевск, Нижний Тагил; в Колорадо, Атакама.

Глауберова соль (мирабилит), $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; окиси натрия 19,30%; SO_2 24,80%; воды 55,90%. Бесцветные, со стеклянцем блеском моноклинные кристаллы, выпадающие из воды соленых озер при низких температурах (ниже -3°) в результате реакции:



Реакция обратима, так что выпадавшие зимой при охлаждении воды массы мирабилита летом при повышении температуры опять растворяются.

Мирового значения месторождения мирабилита расположены по берегам мелководного залива Карабугаза, находящегося в восточной части Каспийского моря, где эта соль зимой образуется в огромных массах у берегов. Карта Карабугаза и сведения о промышленной добыче мирабилита приведены в разделе «Месторождения полезных минералов СССР».

Мирабилит употребляется для приготовления безводного сульфата натрия.

Водные сульфаты

Гипс. Химический состав. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Внешний вид и физические свойства. Белые, красноватые, серые зернистые массы (алебастр); пластинчатые, прозрачные и полупрозрачные скопления; кристаллы моноклиной сингонии; двойники в форме ласточкина хвоста, (рис. 175 и 176); друзы, розетковидные сростки (рис. 177); волокнистые в виде заполнения трещин массы (седенит) с шелковистым блеском. Спайность весьма совершенная. Легко раскалывается на тонкие пластинки, отчего его называют в народе «слодой» за внешнее сходство со слюдой. Твердость 2; уд. вес 2,31—2,32.

Формы залегания и происхождение.

Типичный минерал осадочных пород; залегает вместе с глинами, сланцами, мергелями, а также с каменной солью и другими минералами, химическими осадками морей. Образуется иногда из ангидрита в процессе выветривания от присоединения воды:

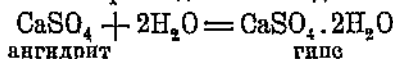


Рис. 175а

175б.

Кристаллы гипса. Справа — двойник „ласточкин хвост“.

Месторождения. Месторождения многочисленны. В СССР — Кунгурский и Осицкий районы Уральской обл., Нижегородский и Казанский районы и в других местах среди пермских пестроцветных отложе-

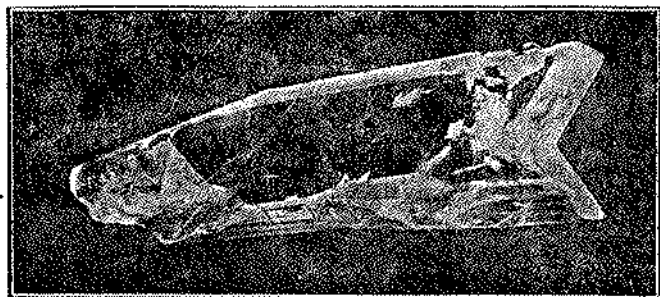


Рис. 176. Гипс „ласточья хвост“. Монмартр, Франция. (Минерал. музей МГА).
ний. Также в Крыму и Сибири. Во Франции крупные кристаллы близ Парижа; в Сев. Америке.

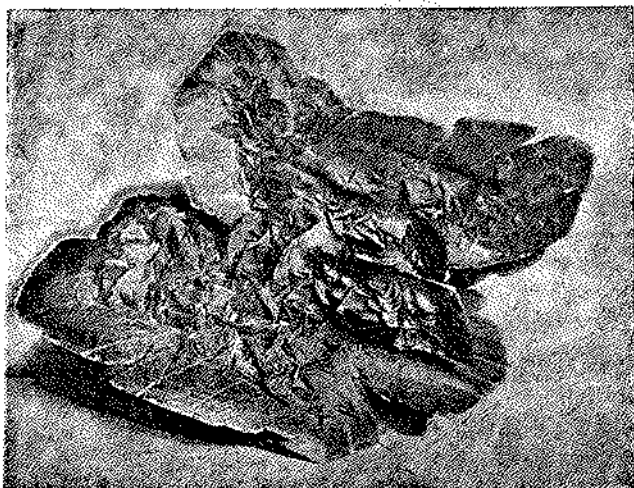
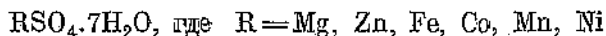
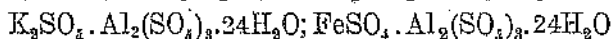


Рис. 177. Гипс. Баскунчак. (Минерал. музей МГА).

К числу водных сульфатов относятся: 1) многочисленная группа купоросов состава:



отдельно или в изморжном замещении друг друга, и несколько особняком стоящий медный купорос, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и 2) группа квасцов:



и др. Относящиеся сюда минералы легко растворимы в воде и не обра-

зуют устойчивых минеральных видов. Поэтому они встречаются в особых условиях пустынного климата в виде выплетов или же выделяются среди пород, обогащенных разрушающимся серным колчеданом (углистые квасцовые сланцы) или другими сернистыми минералами (зоны окисления сульфидных жил).

Эпсомит, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (горького вкуса, тонковолокнистые или натежные массы белого цвета) — химический морской осадок.

Основные сульфаты

Алунит. Квасцовый камень, $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Белые, серые, красноватые массы. Продукт разрушения трахитов и других изверженных пород под влиянием сернистых газов и вод. В СССР встречаются алуниты также среди осадочных пород. Глины, особенно юрские и углестые каменноугольные, содержат большое количество пирита, FeS_2 . Пирит окисляется в $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ образованием свободной H_2SO_4 , разлагая по пути каолин, полевые шпаты и слюды в глинах, песках и песчаниках. Таким образом получается K_2SO_4 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, реакция между которыми в известных условиях и может привести к образованию алунита.

Именно такого происхождения залежи алунита были открыты в Уральской обл. по р. Чусовой в так называемом Журавлинском месторождении. Цвет таких алунитов белый, серый, желтоватый; по внешнему виду они похожи на каолин или глину. Иногда образуют крупные желваки.

Другой путь происхождения алунитов — в результате вулканических процессов, при которых в алунит переходят полевые шпаты изверженных горных пород. К последнему типу относится Заглинское месторождение алунита в Азербайджане близ Ганджи.

ВОЛЬФРАМАТЫ И МОЛИБДАТЫ

Вольфрамит. *Химический состав.* Вольфрамат железа и марганца $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$; FeO 18,8%; MnO 4,7%.

Внешний вид и химические свойства. Таблитчатые или призматические кристаллы моноклинной сингонии. Цвет темный или коричнево-черный. Блеск полуметаллический. Очень тяжел. Уд. вес 7,2—7,5; твердость 5,5. Спайность весьма совершенная по одному направлению.

Формы залегания и происхождения. Встречается обычно включениями в кварцевых жилах газоводного характера (рис. 178), вместе с оловянным камнем и литиевой слюдой. Кроме того выпадает и в рудных жилах вместе с мышьяковым колчеданом и другими рудными минералами.

Месторождения. Мировой поставщик — Испания. Рудные горы в Саксонии. На Урале дер. Баевка близ Свердловска. В Сибири Забайкалье — обширные залежи — будущий центр вольфрамовой промышленности СССР.

Употребление. Вольфрам идет для приготовления инструментальной стали, для нитей в электрических лампочках накаливании.

Шеелит. Назван в честь химика Шееле, открывшего вольфрам, CaWO_4 ; WO_3 80,6%; извести 19,4%. Зернистые и столбчатые мас-

сы, очень часто кристаллы тетрагональной симметрии пирамидальной формы. Цвет белый, коричневый, красноватый. Твердость 4,5—5; уд. вес 5,9—6,2. Встречается в газодонных жилах вместе с плавиковым шпатом, вольфрамитом, оловянным казем, а также в рудных жилах.

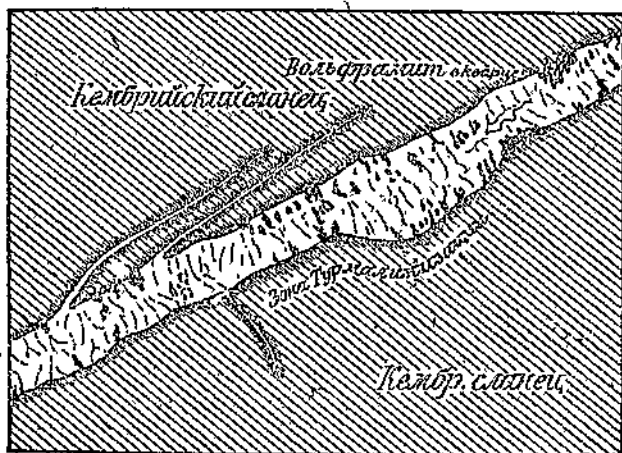


Рис. 178. Схематический разрез кварцевой жилы с вольфрамитом (черные пятна—вольфрамит).

Месторождения. На Урале близ горы Магнитной и в Нерчинском районе в Сибири. Англия (Корнуэльс). Саксония.

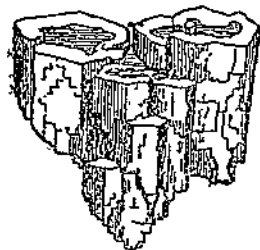


Рис. 179. Ванадинит. Тип остроконечных кристаллов.

Вульфенит, $PbMoO_4$. Жирного блеска, оранжево-желтые кристаллы пластинчатой или пирамидальной формы. Реже зернистые скопления. Твердость 2,5; уд. вес 6,7. Встречается в верхних и средних частях свинцово-рудных жил в Мексике, Венгрии, Саксонии и других местах.

Ванадинит, $SnPb_5(VO_4)_3$ (рис. 179). Такого же вида, как пироморфит. Цвет желтый, красный или коричневый. Твердость 3; уд. вес 6,8—7,2. Встречается в рудных жилах Мексики, Аризоны. В СССР находится в Березовском руднике близ Свердловска вместе с пироморфитом и в последнее время найден в Сулейман-Сайском руднике в Казахстане. Употребляется для извлечения ванадия, который необходим для изготовления специальных сортов стали.

VII класс. СОЛИ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

Меллит. От слова «мелль» — мед — по цвету.

Водяной глинозем, связанный с медовой кислотой, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Медового цвета квадратные пирамиды и плотные включения в углях; органического происхождения. Деревня Малевка — близ Тулы.

VIII класс. УГЛЕВОДОРОДИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

К этому классу относятся смолы, нефти и угли. Все эти минералы органического происхождения и чрезвычайно важны в практической жизни. Обычно угли и нефть рассматриваются в специальных курсах геологии.

Янтарь, $\text{C}_{40}\text{H}_{64}\text{O}_4$. Уд. вес 1,06—1,11; твердость 2—2,5.

Желтого, бурого или молочного цветов со смолистым блеском. Плавится при 270° ; горит светлым пламенем с копотью, распространяя

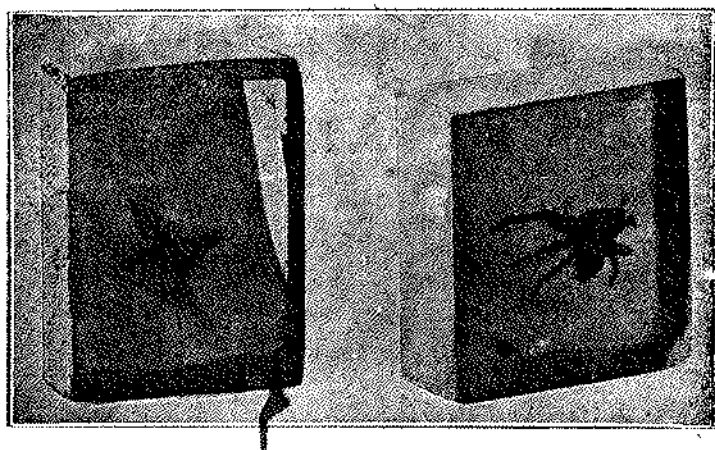


Рис. 180. Насекомые в янтаре (по Браунсу).

приятный запах. Легко электризуется трением. На янтаре были впервые обнаружены в древности явления электричества.

Янтарь — это ископаемая смола сосны третичной эпохи — *Pinus succinifer* — так называемой янтарной сосны. Он представляет собой застывшее смолистое выделение этого растения. Выделение это появляется при болезни дерева. Часто содержит остатки насекомых (рис. 180).

Леса, состоявшие из янтарной сосны, росли в третичную эпоху, затем были погребены под осадками позднейших отложений.

Слои, содержащие янтарь, известны на побережье Белого моря и в Киевщине по р. Днепру. Главным образом янтарь встречается на Балтийском море в Восточной Пруссии (рис. 181), где залагает в наносных отложениях и выбрасывается волнами, вымытый из бе-

поверхности и дна. Употребляется на поделки и украшения и для дорожных лаков.

Нефть. Жидкий минерал.

Химический состав. Основное ядро — члены так называемого парафинового ряда, C_nH_{2n+2} , но в состав нефти входят углеводороды и ряда этилена C_nH_{2n} . Различаются два типа нефти: 1) парафиновая и 2) беспарафиновая нефть, дающая большой выход смазочных масел.

Нефть представляет собой черную, желтую, желто-зеленую или буроватую жидкость, различную по плотности и не растворимую в воде.

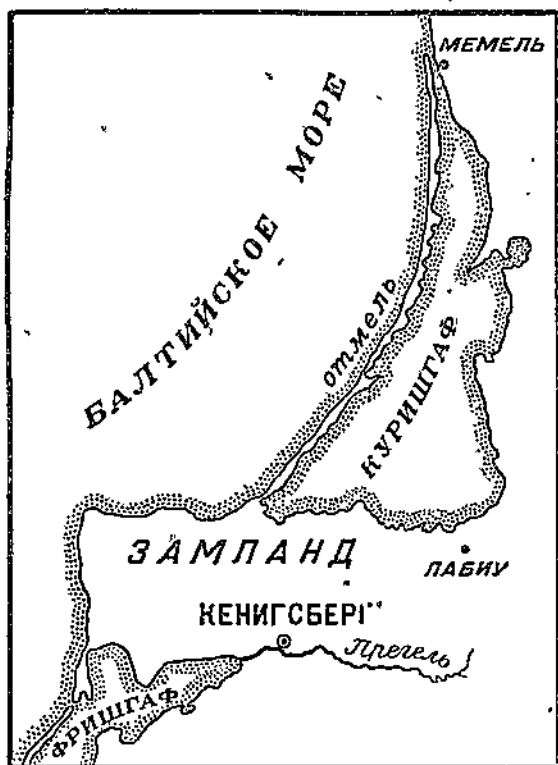


Рис. 181. Месторождения янтара на Балтийском море.

Нефть содержит главным образом углеводород и примесь небольшого количества кислородных сернистоазотистых и минеральных соединений.

Состав некоторых нефтей

	%		Средний	Балаханская нефть	Пенсильванская нефть
	от	до			
C . . .	79,5	87,4	85,0	86,5 — 87,4	82,0 — 84,9
H . . .	9,6	14,8	13,0	11,7 — 12,5	13,1 — 14,8
O . . .	0,1	6,9	2,0	0,1 — 1,5	1,4 — 3,2
N . . .	0,02	1,1	—	—	—

Внешний вид и физические свойства. Цвет темновеленый и темный, в редких случаях светлый, светложелтый (сураханская нефть), темнокрасный (кубанская нефть). Светлые сорта нефти легкие, темные — тяжелые. Уд. вес 0,8—0,96.

Формы залегания и физические свойства. Нефть часто пронизывает мергелистые породы (горючие сланцы), песчаники (кир). Циркулирует подобно воде по трещинам пород, вырываясь на поверхность иногда под большим давлением (нефтяные фонтаны). Происхождение нефти не установлено с достаточной ясностью. Мы придерживаемся гипотезы образования нефти из органических остатков как продукта их сухой перегонки в глубинах земной коры. Огромные массы органического вещества, образовавшегося в прежние геологические эпохи, несомненно могли дать начало большим запасам нефти в природе.

Месторождения. Месторождение мирового значения — Апшеронский полуостров у Баку (около 8 000 000 *т* в год) (рис. 182), близ Грозного в Чеченской автономной обл. (около 1 640 000 *т* в год); Майкоп — Северокавказского края; близ Керчи, Казакстан — близ устья р. Эмбы. Недавно открыты месторождения нефти на Урале (Чусовские Горы близ Перми и в Стерлитамакском районе — в Башкирии). Иностраные месторождения — Галлиция, Америка — Пенсильвания (месторождение мирового значения), Мексика; Персия, Месопотамия.

Употребление. Извлечение керосина, бензина, смазочных масел и нефтяных остатков — мазута — для топлива.

Главные продукты переработки нефти следующие:

Бензин. Главные потребители бензина — автомобильные и авиационные двигатели; кроме того огромное количество его употребляется для извлечения масла из растительных семян. Бензин имеет важное значение также в резиновой промышленности, где он служит для размачивания сырого каучука. Способность бензина удалять жирные пятна обуславливает его применение для так называемой «химической чистки». Бензин может служить источником для изготовления горючего газа.

Существуют различные сорта бензина. Они отличаются друг от друга температурой кипения. Так автомобильный бензин должен кипеть при температуре не выше 200°; бензин для извлечения масла из семян и резинового производства должен иметь точки кипения — начало 70°, конец 110° и т. п.

Керосин. Применение керосина общеизвестно.

Смазочные масла. Смазочные масла обычно применяют трех родов: веретенное, машинное и цилиндрическое; они различаются по степени вязкости. Веретенное масло служит для смазки легких, быстро движущихся механизмов, как например веретена, центрифуги. Это наименее вязкое масло. Машинные масла употребляются для смазки, как показывает само название, машин и различных двигателей. Цилиндрическое масло идет на смазку цилиндров паровых и других машин. Здесь употребляются наиболее вязкие смазочные масла, так как работа происходит при высоких температурах.

Мазут. Остаток, получаемый из нефти после отгонки керосина и бензина, идет на рынок в качестве топлива; кроме того часто мазут

перерабатывается на смазочные масла. Крекинг-процесс дает возможность перерабатывать топливный мазут на бензин.

Парафин. Многие нефти богаты парафином; в таковым относятся некоторые прозенские нефти, где содержание его достигает 60%.

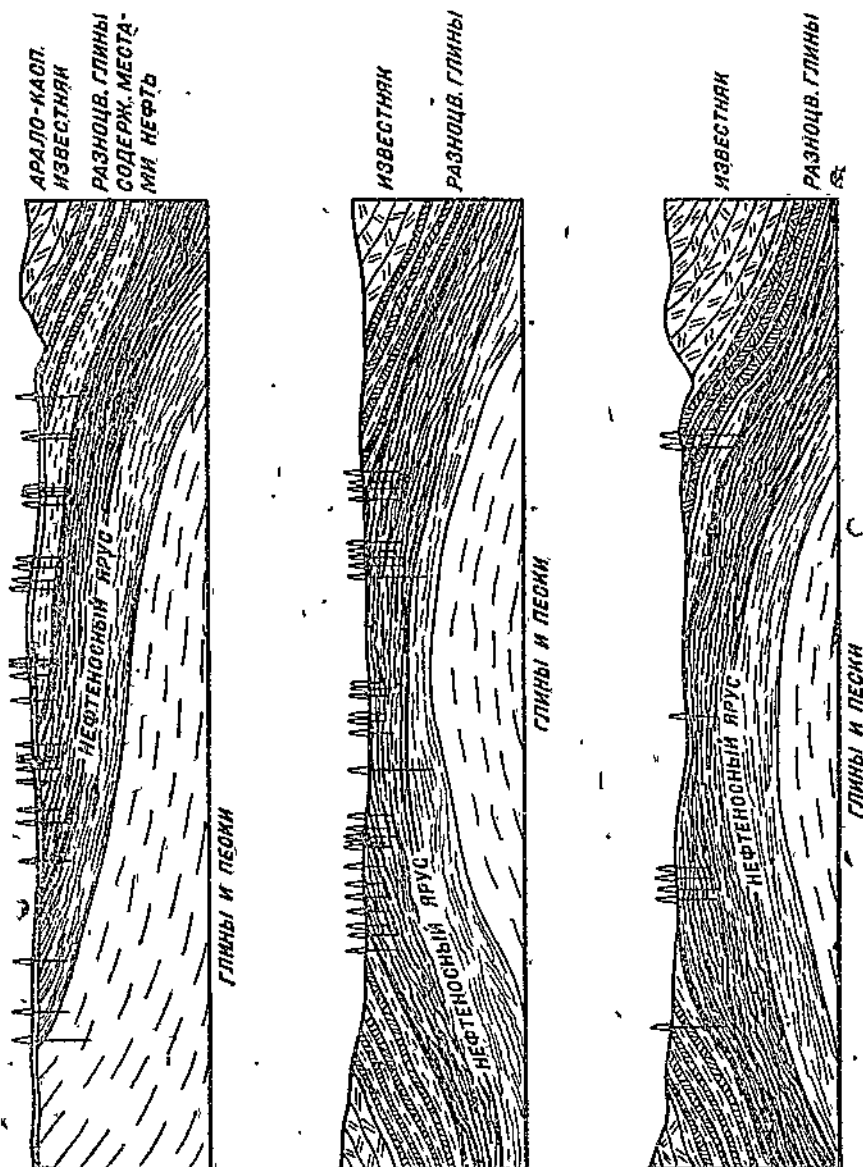


Рис. 182. Разрез Вапшских месторождений. Залегание нефти в складках осадочных горных пород.

Парафин представляет собой твердое, легко плавящееся вещество, употребляющееся для выделки свечей, для пропитки восковой бумаги, для пропитки кирпичей и т. п.

Главным моментом оценки парафина является его плавление: вышние сорта соответствуют высоким точкам плавления.

Вазелин. Вазелин представляет собой очищенный остаток от перегонки парафинистых нефтей. Он имеет широкое применение в медицине и косметике.

Асфальт (нефтяной). Из масляного гудрона очень легко получается искусственный асфальт путем окисления, если пропускать через него струю воздуха при нагревании выше 200° ; кислород окисляет различные составные части гудрона, превращая их путем окисления в полутвердое смолистое вещество. Нефтяной асфальт применяется для дорожных работ.

Кокс. При крекинг-процессе конечный остаток перегонного куба представляет собой твердую блестящую массу, называемую нефтяным коксом. Это чрезвычайно ценный продукт, так как он совершенно не содержит золы и употребляется в электротехнике для изготовления электродов.

Кроме всего перечисленного из нефти можно получить бензол и толуол, но в данном случае эти вещества гораздо дешевле и выгоднее получаются из каменного угля.

Для различных продуктов перегонки нефти, особенно для тех, с которыми идет работа при высоких температурах (керосин, бензин, цилиндровые масла и т. п.), важным признаком оценки служит температура вспышки.

Асфальт. По химическому составу представляет окисленную нефть — смесь углеводородов и кислородных соединений. Пропитывает известняки, мергели и песчаники. Встречается близ г. Сырчи, в Казахстане и в Сибири. Употребляется для изготовления лаков и для асфальтирования дорог.

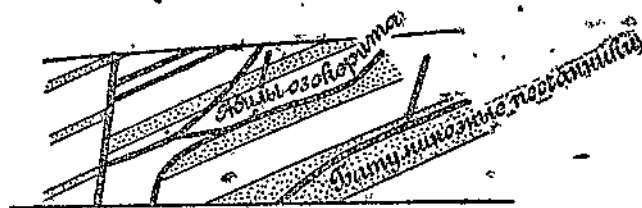


Рис. 183. Месторождения озокерита среди битуминозных песчаников у Борислава, Галиция.

Горный воск, или озокерит. 84% углерода и 16% водорода.

По внешнему виду и физическим свойствам очень схож с воском. Продукт изменения нефти. Встречается в третичных песчаниках Карпат (рис. 183), в Молдавии. В СССР — в Туркменистане на о. Челекене, на Нафтедаге и Чикишляре. Употребляется для пропитки тканей, презервативов и т. п.

Каменные угли. Углеводороды с механическими подмесками колчедана и кварца.

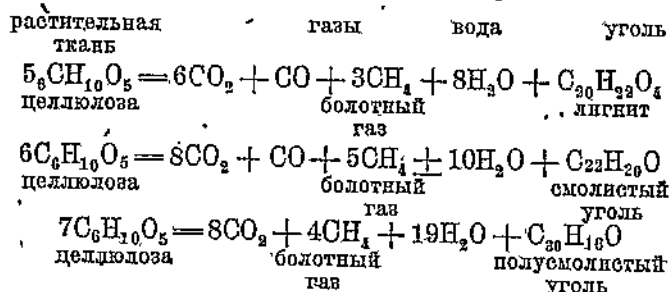
ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕЙ.
(в процენტх)

	C	H	O ¹	N	S	Зола	Влаж- ность
Торф	59,47	6,52	31,51	2,51	—	—	22
Лигнит	52,66	5,22	27,15	0,71	2,02	12,24	—
Смолистый уголь	82,70	4,77	9,39	1,62	0,45	1,07	—
Антрацит	90,45	2,43	2,45	—	—	4,67	—

По внешнему виду различают блестящие угли, как антрациты, и матовые угли, как смолистые угли, коксовые и др. Обычно же классифицируют угли по отношению к пламени — угли толстые, не спекающиеся и дающие порошкообразную золу; угли полужирные, обнаруживающие некоторые признаки спекаемости, и жирные, дающие спекшийся кокс. Твердость 2—2,5; уд. вес 1,26—1,35.

Формы залегания и происхождение. Каменные угли представляют собой горючую породу. Образование их связано с изменением вещества растений и деревьев прежних эпох, главным образом каменистоугольной. Каменные угли рассматриваются теперь как отложения соленых и пресных вод. Массы растительных остатков свосились речными водами в озера, болота, лиманы, где скоплялись, покрывались песком, илом и метаморфизировались в различные угли.

Химические процессы идут так:



По Арберу, угли очень разнообразного генезиса, и классифицировать их можно по происхождению так:

1. Наземные образования.

Бурые угли (частью).

Лигниты.

Торф.

2. Озерные отложения (пресноводные):

Сапропелевые угли (остатки водорослей).

Кеннельский уголь, богаче.

Гумусовые угли (частью).

Антрацит (частью).

3. Лиманские образования (соленых вод):

Лигниты (частью).

Бурые угли (частью).

Гумусовые угли (частью).

Антрацит (частью).

Месторождения. Донецкий бассейн; Подмосковный каменноугольный бассейн; Боровичский район Ленинградской обл. (бурые угли); Урал — Кизеловские копи, Егоршино, Луньевские копи, Челябинский район (бурые угли); Сибирь — Кузнецкий бассейн, Анжерские копи близ Томска; Черемхово у Иркутска, Сучаяские копи — Уссурийский район; Англия; Германия; Франция; Америка.

Применение. Как топливо. Для получения светящегося газа и продуктов перегонки каменноугольной смолы, аммиака и пр. В последнее время из бурых углей получают путем перегонки дериваты нефти вплоть до бензина.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ МИНЕРАЛОВ СССР ЦЕНТРАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ

Центр европейской части СССР (Ивановская промышленная, Московская обл. и Нижегородский край) является областью осадочных пород. На всей ее обширной площади широко распространены ледниковые отложения, характерные огромной массой валунов кристаллических горных пород, принесенных ледниками из Швеции, Норвегии, Финляндии. Эти валуны собираются и свозятся главным образом в Москву, для мощения дорог.

Ледниковые моренные отложения содержат залежи песка и гравия — необходимого материала для строительных работ. Лучшие сорта песка, встречающиеся в различных местах области, употребляются для кирпичных и стекольных заводов; моренная глина, встречающаяся по всей области, служит основным сырьем для кирпичных заводов. В центральной обл. широко развиты отложения каменноугольной, меловой и третичной системы. Известняки добываются для строительных целей и для цементных заводов.

По обширности распространения осадочных пород Центральная обл. является одной из величайших в мире. Полезные минералы области являются характерными минералами осадочных пород и заключают в себе (см. прилагаемую карту — рис. 184) залежи главным образом угля, железных руд, глины, фосфоритов, строительного известняка и мергеля для цементного производства, а также всевозможные строительные материалы, как то: гальку, песок, гравий и т. п. Среди угля и по речным долинам (преимущественно в юрских отложениях), встречается серный колчедан.

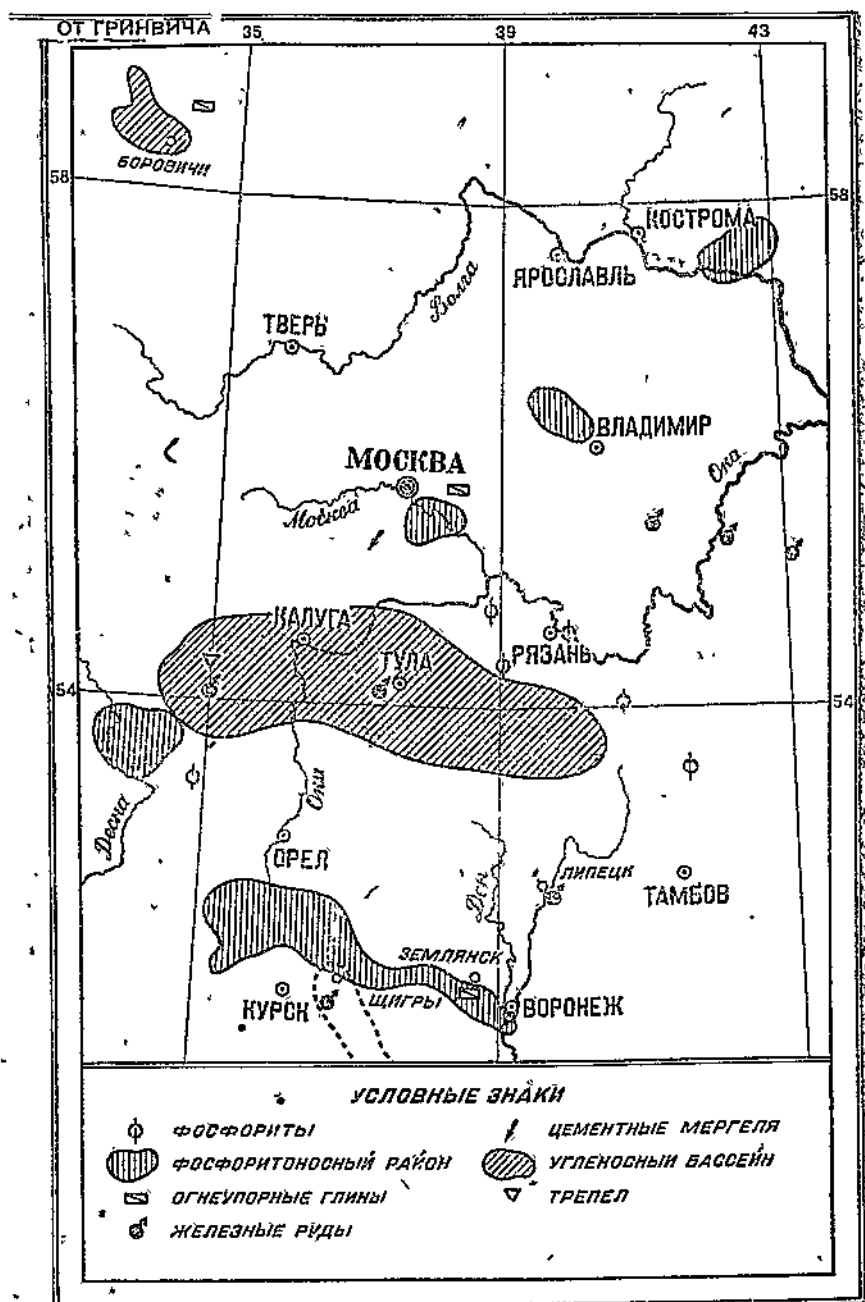


Рис. 184. Карта центральной области.

Уголь залегает в площади так называемого Подмосковного каменно-угольного района и служит топливом для ряда электростанций, из которых наибольшие — Побединская и Каширская электростанции. Последняя расположена в 100 км от Москвы, основана на использовании подмосковного каменного угля. Недостаток подмосковного угля — слишком большая зольность, доходящая иногда до 20%, и сернистость.

Отброс в виде золы может быть использован для цементного производства. Кроме того предварительное обогащение дает уголь значительно лучшего качества.

В связи с последними достижениями в области использования бурых углей для получения газового топлива Подмосковский каменноугольный бассейн приобретает большое значение для центральной области.

Запасы подмосковного угля исчисляются в 8 200 млн. т и обеспечивают собой развитие электрификации и газификации областей. В ближайшее время вступает в эксплуатацию мощный Бобринковский комбинат.

Железная руда — главным образом бурый железняк или лимонит. Руды залегают в Калужском, Тульском и Нижегородском районах. Наиболее были известны в этих районах Мальцевские доломитовые заводы и Выксунские близ Нижнего Новгорода.

По правому берегу р. Хопра, южнее Липецкого железорудного района, еще с 90-х годов известны месторождения железных руд, разведанные более подробно в последнее время.

Руда представлена почти исключительно бурым железняком и лишь изредка — сидеритом.

На важнейших участках содержание железа в этих рудах 63—64%, а по основным качествам они приближаются к криворожским. Разведанный запас руды около 75 млн. т.

Близость этого месторождения к линии железной дороги (Сталинград — Грязи и намеченная линия Саратов — Миллерово) как нельзя лучше может способствовать промышленному расцвету района, так же, как и непосредственное соседство Хоперских железорудных месторождений с коксуемыми бело-капитвинскими углями.

Глины послужили основанием большой керамической промышленности, центром которой являлись, с одной стороны, Глазьев, с другой, — Калужский район, где находятся Мальцевские заводы, делающие фарфоровую и глиняную посуду. Запасы глины достаточно мощны. Сорта вполне удовлетворительны. Поэтому можно считать нашу среднерусскую керамическую промышленность обеспеченной этими глинами.

Месторождения глины находятся по всему пространству центральной области, как это видно на прилагаемой карте.

Строительный известняк. Цементный известняк залегает вблизи Москвы, особенно близ Подольска, где на основе использования его как цементного сырья работают подольские цементные заводы с большой производительностью цемента.

Известняк, имеющий строительное значение, приближающийся даже к мрамору, известен в Тарусском районе Московской обл. (так называемый тарусский мрамор), а также близ с. Шамардина (шамардинский

мрамор, дающий прекрасный материал для лестниц, ступеней, облицовки домов и т. д.). Кроме того во всей области широко распространены карьеры или каменоломни строительного песчаника, жернового камня для мельниц, а также песок и гравий.

Что касается *фосфоритов*, то они известны в целом ряде районов. Наиболее крупные разработки находятся в Егорьевском районе Московской обл. (рис. 185).

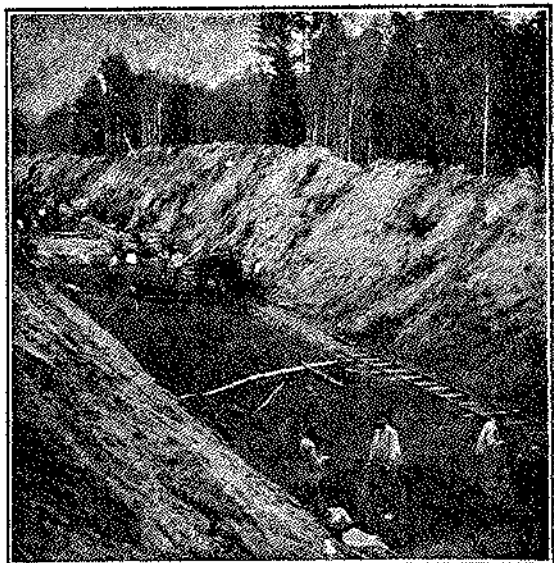


Рис. 185. Разработка фосфоритов. Район г. Егорьевска, Московской области.

Примечание. Крупные залежи фосфоритов находятся также в Вятском, в Смоленском и Курском районах; разрабатываются преимущественно в Вятском районе; еще и в Смоленском и Курском районах могут служить основанием большого фосфоритного дела.

СЕВЕР СССР

Север СССР сложен, с южной стороны, изверженными породами, с другой стороны — метаморфическими. Огромные пространства Кольского полуострова заняты выходами нефелиновых сиенитов и гранитами. Гранитные массивы тянутся вдоль Белого моря к Архангельску, являясь источником кварца, слюды и полевого шпата. Нефелиновые массивы изобилуют минералами редких земель, содержащими цирконий, титан и др., и мощными залежами апатита. Апатит, содержащий до 33% P_2O_5 , является источником для крупной туковой промышленности. Нефелиновые сиениты, составляющие целые хребты, являются прекрасным материалом для производства стекла.

Метаморфические породы представлены сланцами, мраморами и кварцами. Осадочные породы в виде различных видов глин и песков особенно распространены в юго-восточной и южной частях области.

Север СССР, охватывающий Карельскую АССР, Ленинградскую область (с Кольским полуостровом), Северный край с автономной обл. Коми (зырян), обладает интереснейшими полезными ископаемыми в области строительного дела (см. карту, рис. 186).

Прежде всего необходимо отметить горную породу диабаз, выходящую на Онежском оз. во многих местах по юго-западному берегу. Эта порода представляет собой материал, чрезвычайно легко обрабатываемый в рубники для мостовых, хорошо держащий промост и могущий с успехом заменить шведский гранит, употреблявшийся раньше для мощения улиц наших столиц. Несомненно при предстоящем замощении наших крупных городов онежские диабазы получат исключительное значение и будут в большом количестве транспортироваться в глубь СССР, так же, как и залегающие в тех же местах *кварциты*, особенно похонский кварцит, который обладает красивым красным цветом и может служить материалом для цоколя различных построек.

Из строительных материалов нужно указать еще на *мрамор*, залегающий у селения Белая гора, приблизительно в 100 км к северу от Петрозаводска. Мрамор Белой горы был широко использован при постройке Этнографического музея в Ленинграде, где им облицованы огромные стены центральной залы. Исключительный по красоте, этот мрамор может служить предметом добычи для облицовки различных общественных зданий.

В настоящее время здесь развитая кустарная промышленность, которая вырабатывает из этого мрамора мелкие вещи: тернильницы, доски для столбов и т. д.

В кашукском районе гальки трепела или инфузорной земли послужили основой для строительства заводов трепельного кирпича. Трепельный кирпич значительно более теплоизолируем, чем красный кирпич и вдвое легче его.

Железные руды в Ленинградской обл. представлены главным образом бурыми железняками, залегающими чаще всего на дне озер. Эти так называемые озерные руды довольно чистые, с большим содержанием флюидов могут быть вполне эксплуатируемы, но в настоящее время пока не добываются.

Медные руды севера СССР, представлены главным образом медным колчеданом, залегающим в кварцевых жилах, но отличаются чрезвычайной бедностью и поэтому до сих пор не разрабатываются.

Из полезных минералов в настоящее время разрабатывается барит, употребляемый в качестве естественной белой краски. Барит в смеси с окисью цинка дает прекрасные белки, известные под названием «лигнопон». Барит залегают гнездами и жилками в трещинах пустой известняков. Гнезда барита достигают размеров до 2 м в поперечнике.

Шалевой шпат, идущий для производства фаянсовых и фарфоровых изделий, добывается в настоящее время в Карельской АССР в различных местах (рис. 187) и представляет материал, чрезвычайно цен-

ОТ ГРИНВИЧА

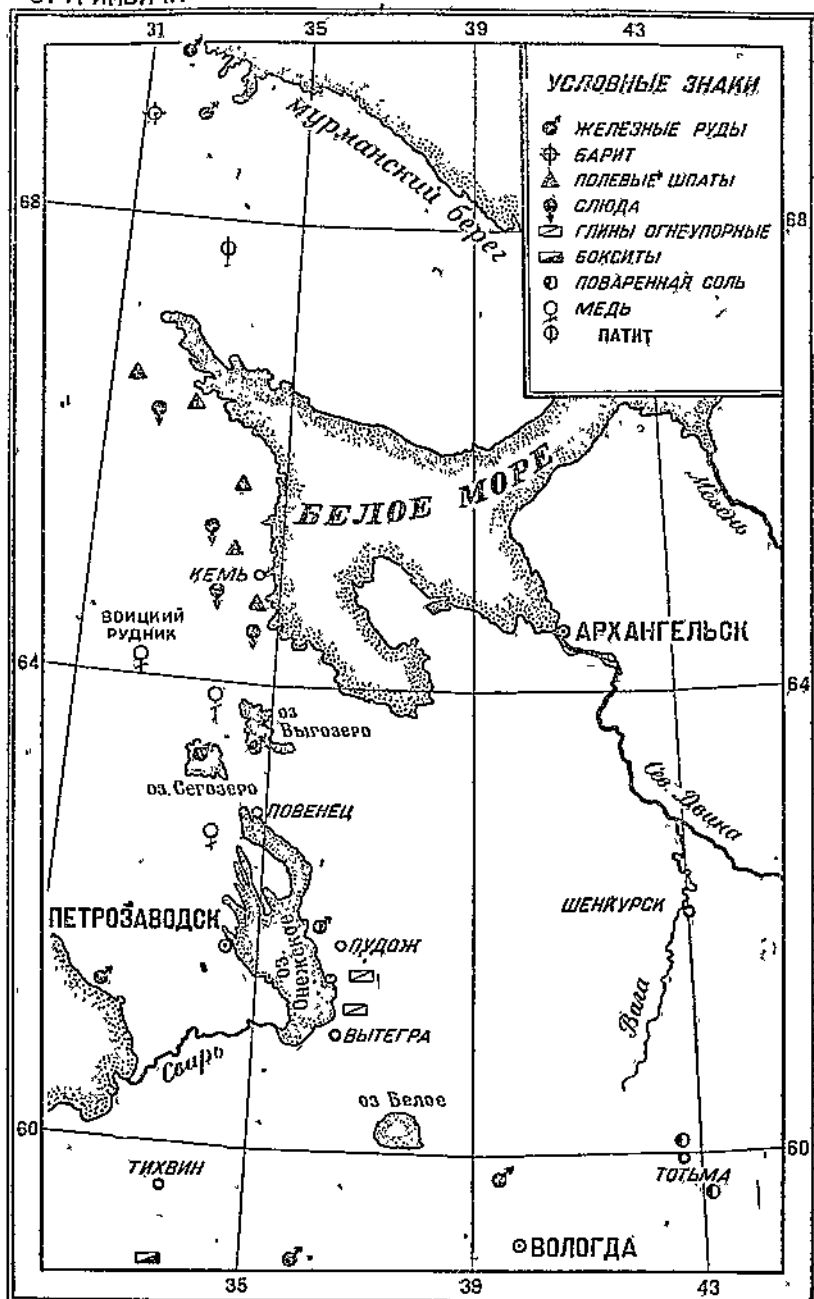


Рис. 186. Карта севера европейской части СССР.

ный для центральной части СССР, ввиду большей близости этих месторождений, чем уральские месторождения полевого шпата.

Письменный гранит, или пегматит, шедший до сего времени в отброс, будет использован на новом пегматитовом заводе как прекрасная замена чистого полевого шпата.

Слюда, употребляемая в электротехнике как изоляционный материал для приготовления слюдяных порошков для красочного производства, а также в виде листов, употребляемых в оконных плавильных печах, встречается в значительном количестве в Карельской АССР и на Мурмане. Месторождения слюды расположены в твердых гранитных породах и мало разведаны, хотя из этих мест слюда экспортировалась еще в XVI в.

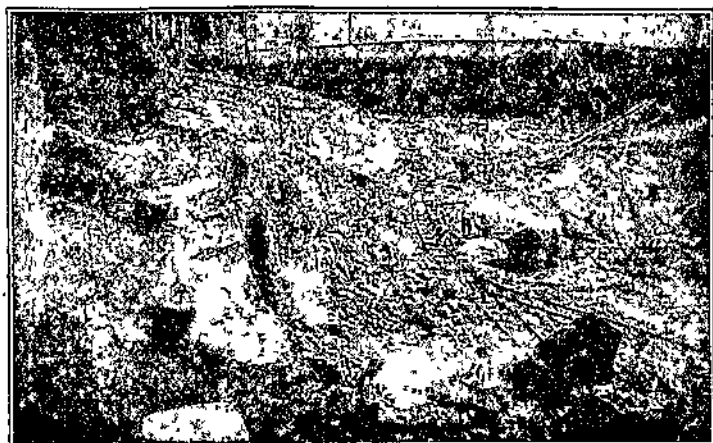


Рис. 187. Разработки полевого шпата.

Далее необходимо отметить месторождение *огнеупорных глин* высокого качества, находящиеся в Вытегорском, а также в Лодейнопольском районах, издавна разрабатывавшиеся для нужд заводов нашего севера. Высоким качеством в отношении огнеупорности обладают черные огнеупорные глины; интересны также рончарные глины, находящиеся в Лодейнопольском районе и могущие вполне удовлетворить потребность на полях севера СССР, но и центра.

Апатит имеется на Кольском полуострове, в южной части Хибинских гор, в районах Куисвуомторр, Расвуомторр и соседних отрогов, в виде мощных линз нефелиново-апатитовой породы, содержащей P_2O_5 от 25 до 33% и выше. Запасы руды всей группы месторождений определяются минимально в 500 млн. т. В настоящее время начата эксплуатация Куисвуомторрского месторождения, которое соединено железнодорожной веткой с Мурманской ж. д.

Апатит, как прекрасное фосфорнокислосое удобрение, которое может идти в дело непосредственно после обогащения и размолта, без пред-

варительной химической обработки, имеет значение не только для земледелия Союза, но и для экспорта.

Боровичский комбинат разрабатывает и эксплуатирует месторождения глины; разработка их частью находится в руках кустарей. Боровичский район, в котором присутствует также и каменный уголь, является очень важным для керамического дела в стране.

Необходимо отметить еще лудожский строительный камень близ Ленинграда и *горючие сланцы* на границе с Эстонией близ Кунгисаппа.

Боксит — алюминиевая руда — найден недавно в огромных массах среди глин Тихвинского района Ленинградской обл. До сих пор в СССР не было известно крупных залежей боксита. Произведенные детальные разведки дают основания утверждать, что запасы обеспечивают постановку в стране собственной алюминиевой промышленности. Алюминий все является важнейшим металлом нашего времени. На нем основано все авиостроительство, а сплав его с медью, так называемый дуралюминий, может заменять железо и сталь во многих изделиях.

Боксит широко используется также как превосходная красная краска.

В центральной части авт. обл. Коми находится Ухтинский нефтеносный район.

ПОВОЛЖЬЕ

По геологическому строению и по рельефу Поволжье (см. карту — рис. 188), разделится на две различные части — западную и восточную.

Наиболее характерными для северо-западной части являются каменноугольные и пермские отложения. На всем остальном пространстве, вплоть до Волги, преобладают отложения юрского и мелового периодов, с третичными и послетретичными напластованиями. Южноульяновская приволжская возвышенность сложена сплошь нижнетретичными трепелоносными глинами, песками и песчаниками. На Самарской луке выдвинуты вследствие сброса глубокие каменноугольные слои (Жигули), которые, проходя узкой полосой, уходят под доломиты (пермо-каменноугольного периода).

Ниже Сызранского моста, снова обнажаются каменноугольные и пермские породы, однако вскоре сменяемые юрскими, меловыми и третичными отложениями. В высях правого берега Самарской луки (от Печерского до Сызрани) добывается много асфальта, пропитывающего каменноугольные и пермские отложения.

Юго-восточная часть Поволжья почти целиком покрыта насчитанными и глинистыми осадками каспийской трансгрессии. Здесь лежат соляные озера Эльтон и Баскунчак. Невысокие горные массивы сложены древними породами, начиная от пермских (горы Богдо, Улаган, Чапчал).

Поволжье обладает крупными месторождениями гипса, асфальта и самосадочной соли.

Залежи *гипса* расположены главным образом в Нижегородском районе, где он обнажается, и из него делается алебастр (жженный гипс), необходимый в строительном деле. Кроме того в Нижегородском районе

ОТ ГРИНВИЧА

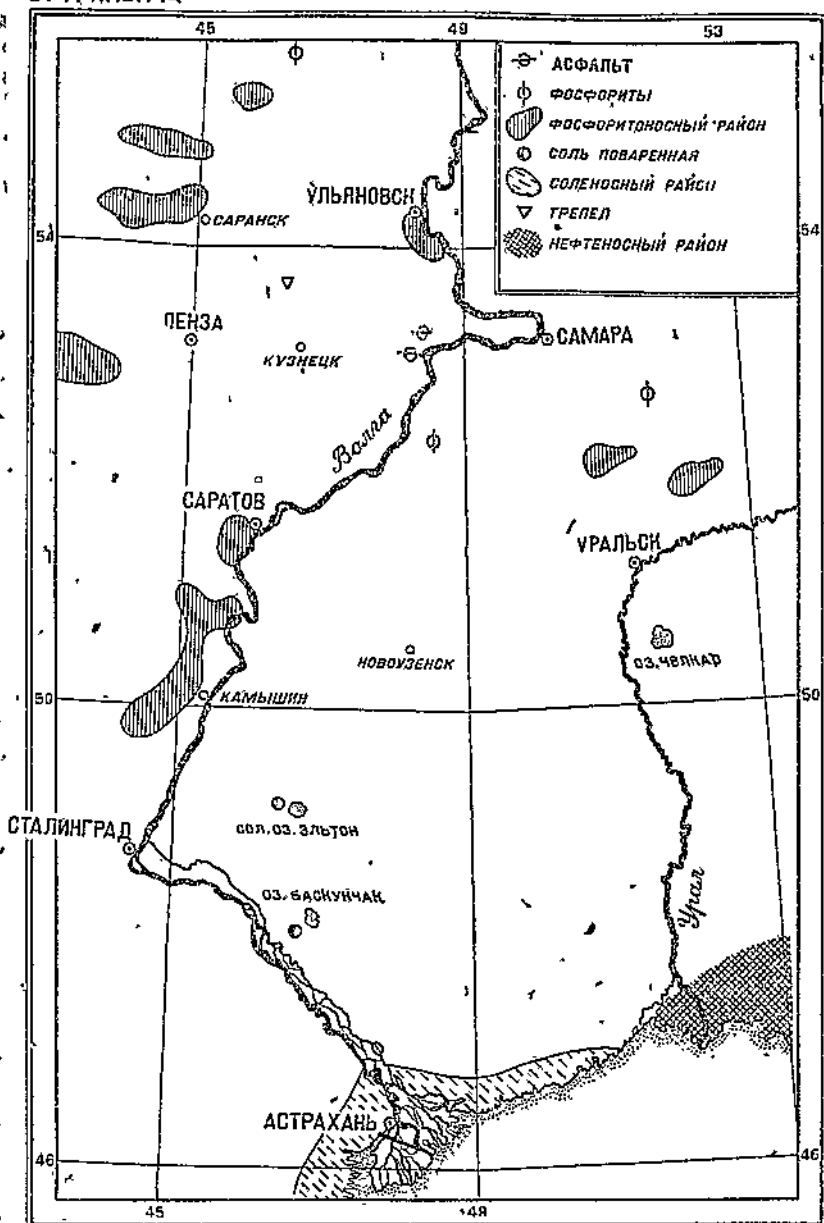


Рис. 188. Карта Поволжья.

существует целый ряд кустарей, вырабатывающих из глинсы всевозможные изделия.

Крупное общесоюзное значение имеет месторождение *асфальта* близ Сызрани, расположенное у берега Волги и представляющее собой известняк, пропитанный асфальтом. Общая площадь залежей равна 30 км². Там же поставлены асфальтовые заводы, которые вырабатывают этот материал главным образом для замощения тротуаров и мостовых. Общее количество добываемого асфальта определялось в размере 40 000 т ежегодно, что составляло около 85% всей асфальтовой промышленности СССР.

Наконец нужно отметить залежи *каменной соли*, расположенные около озера Баскунчак, вблизи Сталинграда, а также лежащее восточнее озеро Эльтон (рис. 189). Запасы каменной соли Баскунчака практически неисчерпаемы и могли бы одни всецело удовлетворить всю потребность Союза.

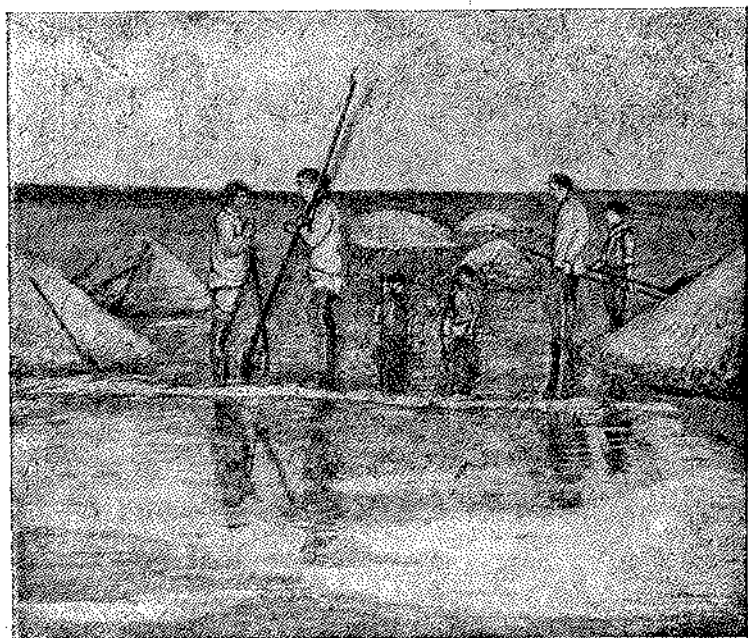


Рис. 189. Добывание соли на оз. Эльтон.

Промысла механизированы, что даст возможность добывать значительно большее количество, чем добывается в настоящее время.

Баскунчакская соль имеет значение для всех районов, связанных водными путями с Поволжьем. Особенную роль играют эти месторождения для рыбных промыслов Каспийского моря, так как весь засол рыбы производится баскунчакской солью.

В области р. Урала, прилегающей, собственно говоря, к Поволжью, необходимо отметить месторождение *нефти* у устья Эмбы,

впадающей в Каспийское море. Это месторождение давало ранее около $1\frac{1}{4}$ млн. т в год и имело большое значение в период гражданской войны, когда от нас были отрезаны основные источники нефти. В настоящее время при налаживании впервые пароходства по р. Уралу эти промысла могут сыграть крупную роль для речного транспорта.

Горючие сланцы Ульяновского района, обследованные в течение последних лет, залегают мощными пластами, выходя к берегам Волги. На сланцах поставлен перегонный завод, который добыл в 1923/24 г. 20 000 т сланца, из которых выгнано до 50 т сырой ценностью в 33 280 руб. и дегебного средства — дихлола — 17 000 кг ценностью 140 000 руб.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧЕРНОЗЕМНАЯ ОБЛАСТЬ

ЦЧО представляет собой равнину, покрытую превосходной черноземной почвой. Из полезных ископаемых в ЦЧО встречаются железные руды, огнеупорные глины, мел и фосфориты. Наконец в 1931 г. в ЦЧО впервые открыт каменный уголь (Воронежский район).

Железные руды в виде бурых железняков находятся близ Липецка на р. Хопре (Воронежский район) и в виде гематита и магнетита близ Курека у Широв в районе так называемой Курской магнитной аномалии. Бурые железняки по р. Хопру приобретают большое значение ввиду открытия неподалеку пластов каменного угля.

Железные руды в Курском районе были открыты в 1926 г. глубоким бурением в точках, где магнитная стрелка давала наибольшие отклонения от нормального положения (магнитная аномалия). На глубине между 200 и 300 м оказались мощные пласты железистых кварцитов, аналогичных триворонежским рудным кварцитам, с преобладанием однако магнитного железняка над красным (гематитом), что делает обогащение курских руд более легким. В среднем содержание железа колеблется от 30 до 40%. Современная же мировая техника рентабельно использует руды с содержанием в них не ниже 55% железа. Только исключительно благоприятные условия дешевого топлива (или электрической энергии) и удобного транспорта могут создать условия рентабельного производства чугуна на рудах с содержанием железа ниже 55%.

Таким образом запасы курских руд пока представляют лишь потенциальную ценность. Новые разведки могут быть открыты более богатые участки. Эти разведки успешно форсируются¹. *Огнеупорные глины* распространены в ряде мест по ЦЧО. Глины исключительно высокого качества известны близ ст. Летней и ст. Часов Яр Воронежского района. На этих глинах построены новые мощные заводы, снабжающие нашу металлургию огнеупорным кирпичом. Мел исключительно высокого качества известен близ Белгорода, получившего название от белых меловых гор его окрестностей. Меловые заводы этого района, добывающие и обрабатывающие мел, снабжают строительную и химическую промышленность СССР мелом (замазки, побелка, приготовление углекислого газа и пр.).

¹ По сведениям, полученным во время печатания, открыты богатые участки на небольшой глубине.

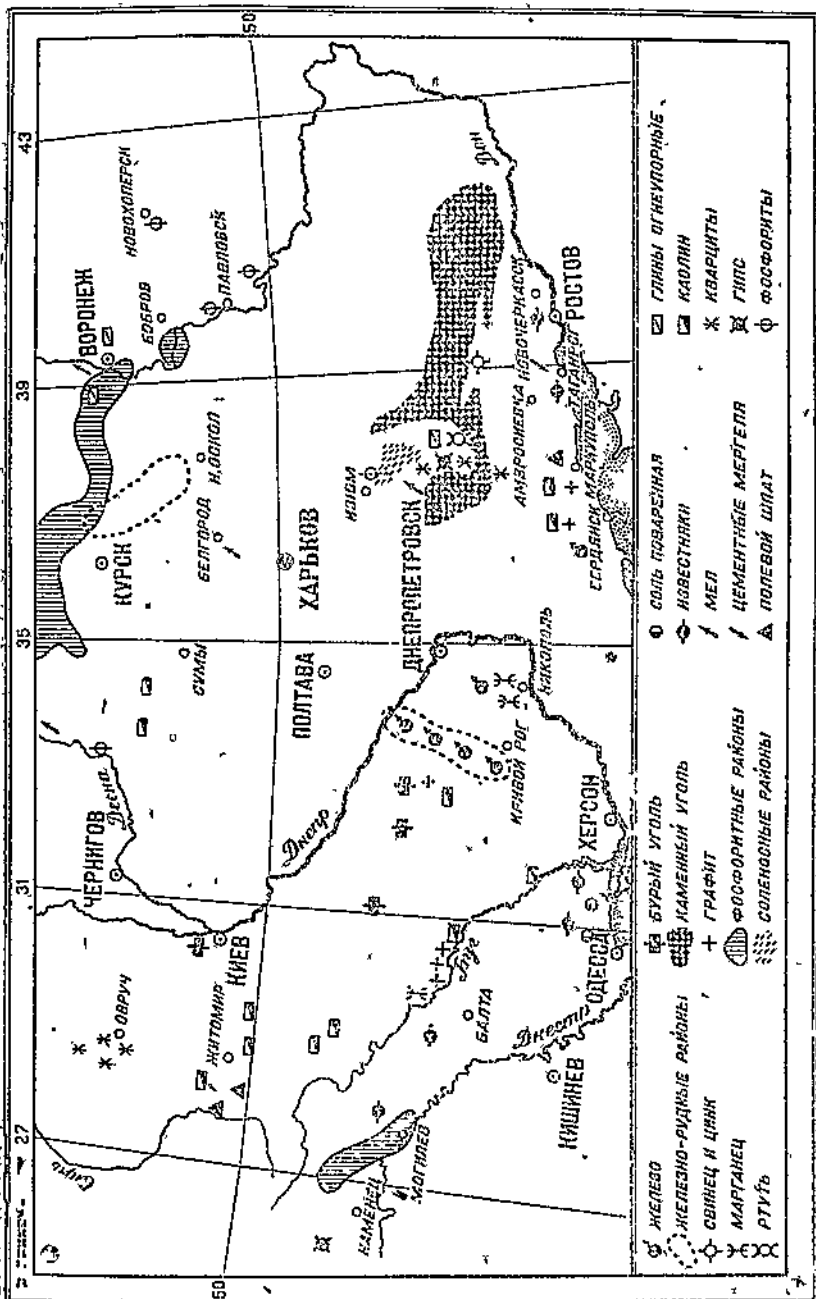


Рис. 190. Карта Украины и южной части ЦУО.

Фосфориты турские известны под именем «саморода» и широко распространены в известняках (мелового возраста) и песчаниках. Крупнейшие разрабатываемые залежи тяготеют уже к Украине (изюмский фосфорит) и снабжают тузовые заводы близ Константиновки.

ЮГ СССР

(УССР и прилегающие области)

Юг СССР (см. карту) представляет собой обширную область распространения осадочных пород с такими интересными и полезными минералами, как каолин, каменный уголь, фосфориты, мел, а также область распространения метаморфических горных пород, сланцевых обширный железорудный район — Криворожье. Кристаллические горные породы выходят во многих местах в виде гранитов — так называемая Южнорусская кристаллическая гряда и Нагольный край (рис. 190).

Юг СССР имеет колоссальное значение для всего СССР благодаря своему исключительному богатству ценными сортами *угля*, а также обширными залежами *железных руд*.

Общий подсчет запасов угля Донецкого каменноугольного бассейна определен по основному двум сортам: антрацитом на всей площади Донецкого бассейна исчислено до 38 млрд. *т*; остальных углей, так называемых *курных*, — 18 млрд. *т*; угленосная же площадь равна приблизительно 10 000 км².

Уголь послужил на юге СССР основанием для крупной химической промышленности по переработке каменноугольной смолы, дающей ряд ценнейших продуктов, из которых самые важные: аммиак, основные продукты для анилиновых красок, карболовая кислота и каменноугольный газ.

Железные руды юга СССР расположены в так называемом Криворожском районе (рис. 191). Криворожские месторождения обладают запасами, исчисленными в размерах 86 млн. *т*. Добыча руды доходила до 3 млн. *т* в последние довоенные годы и удовлетворяла не только свою местную промышленность, но руда экспортировалась и за границу.

Мы добыли в 1931 г. уже около 5 млн. *т*, а к 1933 г. добыча будет доведена до 18 млн. *т*, т. е. в 6 раз превысит довоенную.

Сочетание на юге СССР крупных железных месторождений и крупнейших месторождений угля создало мощную металлургическую промышленность и крупные металлургические заводы, величайшие в Союзе, как например Верхнеднепровский около Днепропетровска, Сталинский — в Донбассе, Николь-Марьинпольский (рис. 192) и др., расположенные по всей территории юга, и фактически вся потребная сталь и железо доставляются заводами юга СССР.

Необходимая для выплавки стали марганцевая руда также находится на юге. Крупные месторождения шпидозита разрабатываются южнорудным трестом (ЮРТ). Марганцевая руда вывозится за границу. Рудные залежи расположены обширной площадью в Никопольском районе.

Необходимо отметить также месторождение *киновари* — ртутной руды. Это месторождение одно из крупнейших во всем Союзе, и запасы его вполне покрывают всю потребность в ртути. Мало того, одно время ртуть с завода, построенного близ ст. Никитовка (вблизи Артемовска), где расположено это месторождение, экспортировалась за границу.

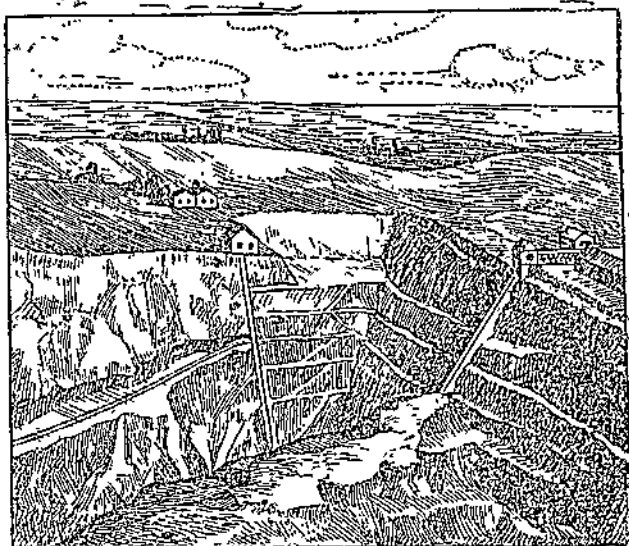


Рис. 191. Открытые разработки железной руды. Кривой Рог.

Недалеко от месторождений *киновари* расположено крупное месторождение *каменной соли* близ Артемовска. Так называемая *бахмутская соль*, широко распространенная по всему Союзу, даже вывозилась в центр. Добывалась до войны *бахмутская соль* подземными работами и шахтами в количестве 30 000 т в год. Наряду с крупнейшими месторождениями Союза *бахмутское* месторождение имеет не только местное значение, но может успешно конкурировать с остальными.

Фосфоритные залежи на территории б. Подольского района отличаются исключительным богатством — содержанием фосфорной кислоты, необходимой в качестве удобрения для нашего сельского хозяйства. Подольские фосфориты по качеству являются лучшими фосфоритами всего Союза, но значительная разбросанность и гнездобразность залежей мешают достаточному использованию этого ценного минерала. С развитием фосфатотуковой промышленности на бедных фосфоритах подольские фосфориты несомненно сойдут на второй план.

На границах Украины и ПЧО мы отметили выше исключительные по своему богатству залежи *мела* у Белгорода, недалеко от Харькова, а также в Черниговском районе. Большие меловые горы видны с железной дороги Курск—Харьков.

Каолин. Нужно указать на большие запасы каолина в Киевском, Волынском и Мариупольском районах. Месторождения эти отличаются высоким качеством материала. В настоящее время каолиновые заводы

Украинской республики снабжают всю керамическую промышленность СССР и частично экспортируют каолин.

Общий запас каолина исчислен по данным 1929 г. в 50 млн. т. Важнейшими районами являются: Глуховцы, Турбов и Райки (рис. 193) в северной Украине и Белая Балка, Просьяны и Владимировка в южной Украине. В 1931 г. на Просьянах построен каолиновый завод «Гигант».

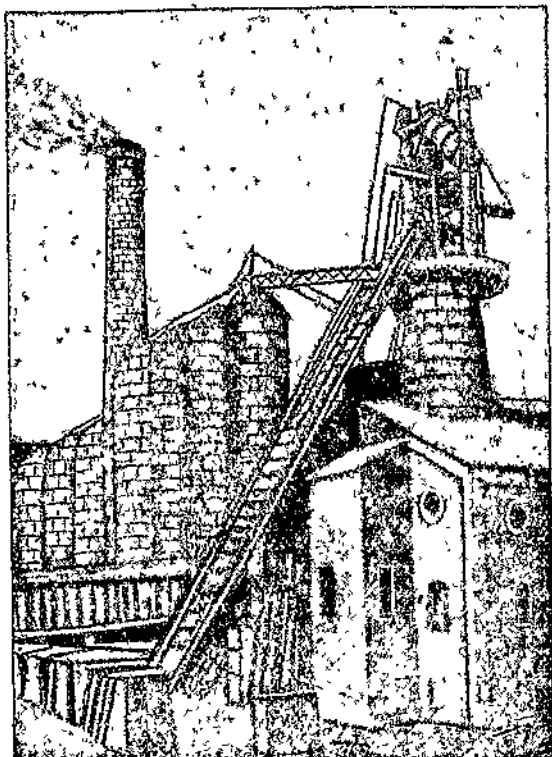


Рис. 192. Доменная печь Никополь-Марипольского завода. Направо — доменная печь, налево — кауперы; Около печи видна наклонная эстакада, по которой поднимаются вагонетки с рудой и коксом для загрузки домы.

Нельзя не отметить месторождений *лабрадорита* в Житомирском районе (б. Волинской губ.). Этот лабрадорит представляет собой замечательно красивый облицовочный материал, идущий в шлифованном виде для цоколей внутренней и наружной отделки зданий, а также памятников, колонн и др. Лабрадорит отличается от других поделочных материалов своими характерными, особенно красивыми снежными переливами кристаллов лабрадора. В довоенное время волинский лабрадор в шлифованном виде имел спрос за границей, куда и вывозился. Мавзолей Ленина облицован в части украинским лабрадором.

В Напольном хребте находятся многочисленные рудные запасы с цинковой обманкой, медным и серным колчеданом. Промышленное значение этих месторождений не выяснено.

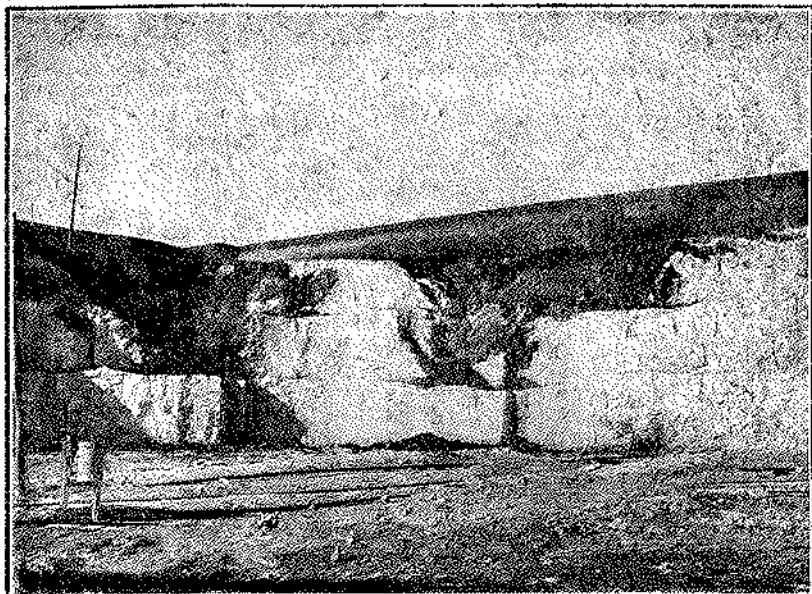


Рис. 193. Карьер с каолинами. Райки, УССР. (Фотография В. И. Лучицкого).

КРЫМСКАЯ АССР

Крым обычно считается всесоюзной здравницей — курортом, но вместе с тем он является одним из интереснейших мест в СССР по своим минеральным богатствам (см. карту). Горный Крым представляет почти отвесно-обрывающийся в южной части хребет, средняя гряда которого — Яйла — сложена мраморовидными и мергелистыми известняками верхнеюрского периода, подстилаемыми песчаниками и глинистыми сланцами средней юры и верхнего триаса. Местами осадочные толщи прорезаны изверженными породами, главным образом диоритами и диабазам (рис. 194).

Степная часть Крыма сложена осадочными породами третичного и четвертичного периодов, представленными ракушечными известняками, песками, песчаниками, мергелистыми и лессовидными глинами, характерными для этого района.

Холмистая часть Керченского полуострова сложена верхнетретичными мергелистыми сланцами, известняками и глинами; в равнинной части местами на поверхность земли выходят глины олигоценового возраста.

Некурортная часть Крыма, расположенная в равнине и на плоскогорьях, обладает огромными запасами различных солей и прежде всего *самосадочной солью*, NaCl , которая в прежние годы добывалась в значительном количестве (около 150 000 метр. т ежегодно).



Рис. 194. Карта Крыма,

В Нагольном хребте находятся многочисленные рудные жилы с цинковой обманкой, медными и серными колчеданом. Промышленное значение этих месторождений не выяснено.

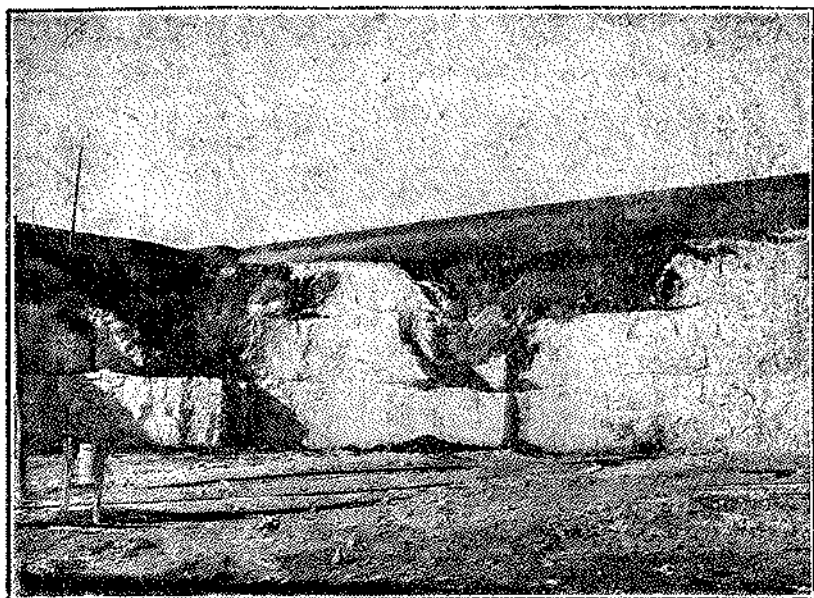


Рис. 193. Карьер с каолинами. Райки, УССР. (Фотография В. И. Лучицкого).

КРЫМСКАЯ АССР

Крым обычно считается всесоюзной здравницей — курортом, но вместе с тем он является одним из интереснейших мест в СССР по своим минеральным залежам (см. карту). Горный Крым представляет почти отвесно-срывающийся в южной части хребет, средняя гряда которого — Яйла — сложена мраморовидными и мергелистыми известняками верхнеюрского периода, подстилаемыми песчаниками и глинистыми сланцами средней юры и верхнего триаса. Местами осадочные толщи прорезаны изверженными породами, главным образом диоритами и диабазами (рис. 194)..

Степная часть Крыма сложена осадочными породами третичного и четвертичного периодов, представленными ракушечными известняками, песками, песчаниками, мергелистыми и лессовидными глинами, характерными для этого района.

Холмистая часть Керченского полуострова сложена верхнетретичными мергелистыми сланцами, известняками и глинами; в равнинной части местами на поверхность земли выходят глины олигоценового возраста.

Некурортная часть Крыма, расположенная в равнине и на плоскогорьях, обладает огромными запасами различных солей и прежде всего *самосадочной солью*, NaCl , которая в прежние годы добывалась в значительном количестве (около 150 000 метр. т ежегодно).

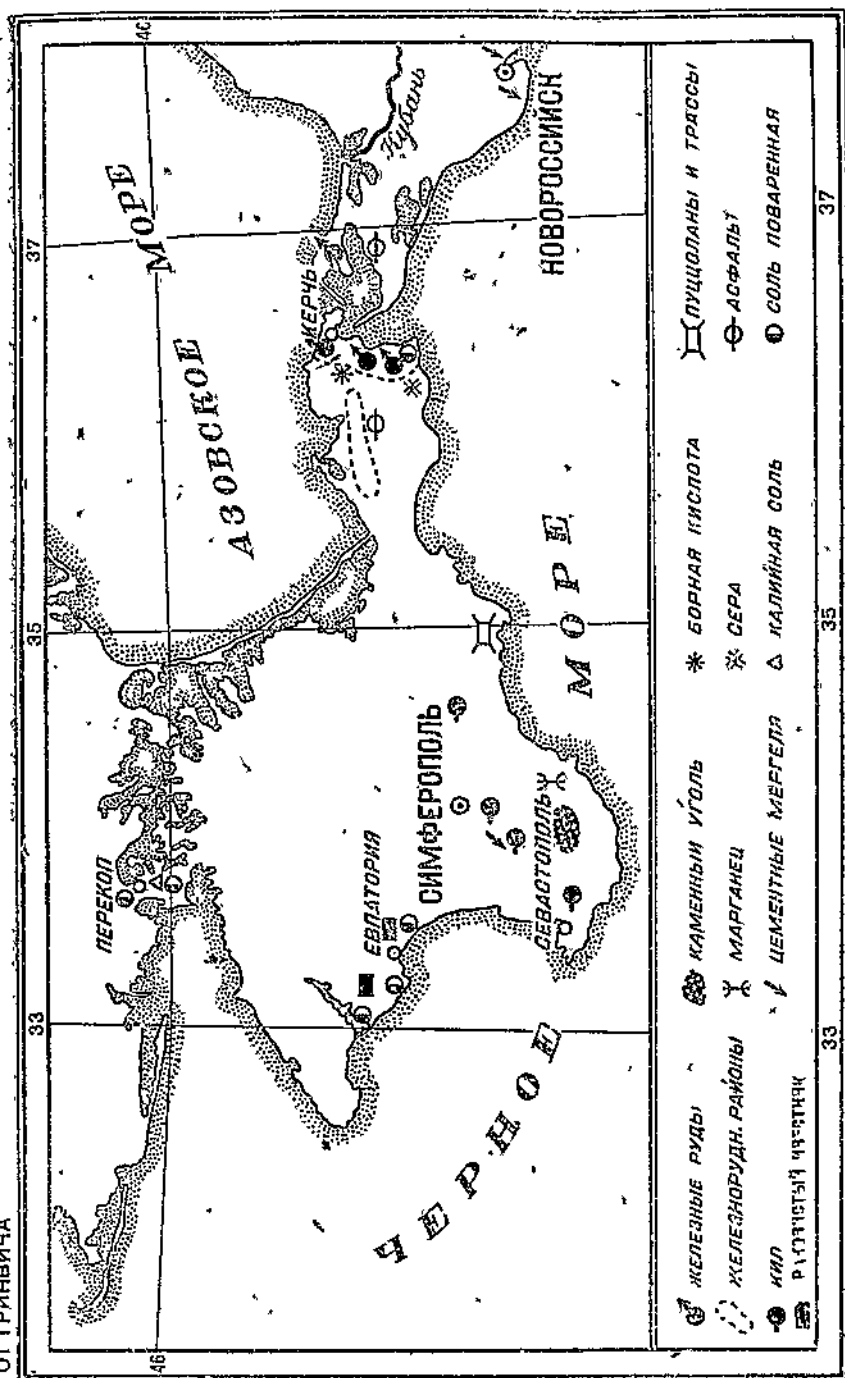


Рис. 194. Карта Крыма.

Соляные районы расположены в непосредственной близости морей, с северной стороны — Азовского и с западной — Черного, которыми непрерывно и питаются. Добыча соли чрезвычайно проста, так как естественным выпаривателем раствора служит горячее южное солнце. Для выпаривания солей устраивают особые бассейны, куда весной накачивают соленосный раствор. В течение лета раствор выпаривается, и соль садится на дно. С поверхности такой застывшей соли спускается остаток, так называемая «рапа», а затем вручную, работая лошадьми и кирками, соль спрессовывается в кучи (рис. 195), свозится в одно место, мелется на мельницах и в мешках отправляется по Союзу. Главными потребителями крымской соли могут явиться и частью уже являются пограничные государства, так называемые лимитрофы: Эстония, Латвия, Литва, а в силу дешевого морского фрахта потребителями крымской соли являются даже такие отдаленные части СССР, как Приморская обл.



Рис. 195. Вывоз самосадочной соли. Сакское озеро, Крым. (Фот. автора).

Запасы самосадочных солей в крымских озерах огромны и практически даже не поддаются точному учету. Несомненно, что наличие таких мощных запасов, с одной стороны, близость моря, дешевый морской фрахт, с другой, и наконец дешевизна добычи благодаря даровому южному солнцу — все это делает крымскую соль продуктом очень удобным для экспорта, и несомненно дальнейшее развитие в Крыму этой области промышленности зависит от нахождения достаточно прочных внешних рынков.

Необходимо отметить одну группу озер у Перекопа, так называемых Перекопских озер, обладающих исключительно чистой солью, свободной от посторонних примесей и годной для самых тонких засолок.

Кроме самосадочной каменной соли в крымских озерах находится также чрезвычайно ценная *магнезиальная соль*. Так Сакское озеро дает из осадочных растворов еще хлористый магний, который может добываться в сотнях тысяч килограмм. Хлористый магний имеет большой спрос в производстве искусственных жерновов и других искусственных камней. Кроме того из хлористого магния легко получить так называемую магнезину, широко применяемую в изоляционном деле и в медицинских целях. Из хлористого магния легко также получить металлический магний, необходимый в металлургической промышленности для ряда легких сплавов.

В настоящее время функционирует небольшой магнезиальный завод, которому предстоит большая будущность. Сакское озеро в Крыму содержит еще в рапе, т. е. в растворе, остающемся после осадения озерных солей, также и бром, продукт, который мы раньше выписывали

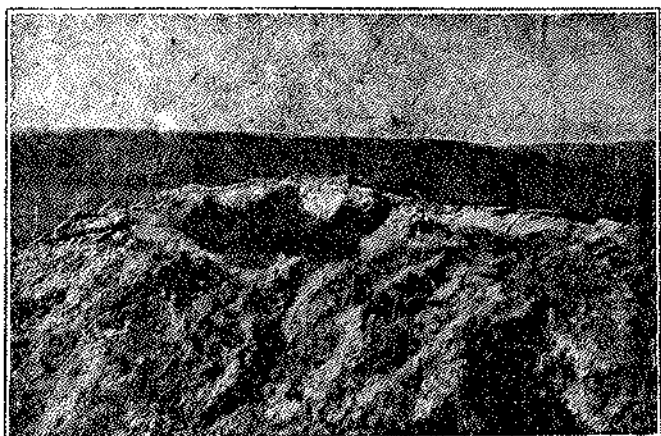


Рис. 196. Грязевой вулкан. Крым.

из-за границы и который чрезвычайно необходим в военном деле (удупляющие газы) и в медицине (различные бромистые препараты).

Наконец некоторые крымские озера помимо перечисленных солей содержат в своих растворах в довольно больших количествах и еще один весьма ценный для промышленности продукт — *глауберову соль*. Глауберова соль употребляется в текстильном, стекольном и других производствах. До войны часть употребляемой русской промышленностью глауберовой соли ввозилась из-за границы, но при более полном использовании своих запасов СССР может обойтись без привозной глауберовой соли.

В Крыму имеются залежи *самородной серы*, которые разрабатывались во время войны и на которых представлен серный завод.

Там же расположены грязевые сопки (рис. 196), в грязи которых содержится *бура*. Во время войны там был построен небольшой заводик,

извлекавший эту бурю из грязи, выбрасываемой сопками. Большого масштаба это производство не имеет, но ввиду отсутствия в Союзе других источников буры оно может заменить отчасти вывозку ее из-за границы.

Одно из интереснейших месторождений *железных руд*, имеющих промышленное значение, расположено близ Керчи, где всего в 7—9 км от города выходят на поверхность пласты, так называемые «керченские рудные пласты», бурого железняка, содержащего еще и фосфор. Из этих рудников добывалось во время войны до 500 000 т руды в год. На этой руде был построен огромный чугунолитейный завод в Керчи, в настоящее время заново реконструированный и расширенный.

Запасы керченских руд исчисляются цифрой в 1 млрд. т, и в дальнейшем могут служить источником развития на Керченском полуострове мощной железнорудной промышленности, главным образом благодаря тому, что это почти единственное место мощных залежей фосфористых руд в СССР. Наряду с чугуном и сталью при выплавке получается фосфор, содержащий шлак, называемый «томасовым шлаком», который мелется на мельницах и идет в большом количестве в земледелии как удобрительный туф.

Строительные камни в Крыму имеют не только местное значение. Это — египетские и керченские раковинные известняки, а также более твердые симферопольские известковые камни. Интересно отметить, что на южном побережье имеются колоссальнейшие запасы гальки и песка, несомненно в будущем могущие быть примененными при развитии благоустройства наших городов.

На Керченском полуострове следует отметить также наличие *нефти*. До настоящего времени нефть добывалась в небольшом размере (четыре вышки), она отличается чрезвычайно высокими качествами, но только действительные разведки и изыскания могут показать значение этих нефтяных месторождений, пока же добыча ограничивается ничтожными количествами.

СЕВЕРНЫЙ КAVKAZ и ЗАКАВКАЗЬЕ

Центральный хребет Кавказа в северо-западной части сложен из древнейших гнейсов и гранитов, окаймленных метаморфической толщей силурийской системы с кристаллическими сланцами. Затем идут: отложения каменноугольного периода (Кубань, Дагестан) и отложения триасового периода на Кубани (от р. Белой до р. Малой Лабь). Отложения нижней, средней и верхней юры охватывают большое пространство (от Дербента до меридиана Краснодара); за ними следуют нижние и верхние слои мелового периода (от Дербента до Новороссийска), которые по побережью Черного моря доходят до Кутаиса, за Душетским районом скрываются под более молодыми отложениями и снова выступают между Нухой и Каспийским морем сплошной массой.

Большую роль играют осадочные породы третичного периода в сложении Таманского полуострова, широкой полосы по протяжению р. Кубани, Ставропольской возвышенности по р. Тереку, побережья Каспийского моря, Апшеронского полуострова и дальше — к Эривани, в сторону Батума и к Тифлизу.

ОТ ГРИНВИЧА

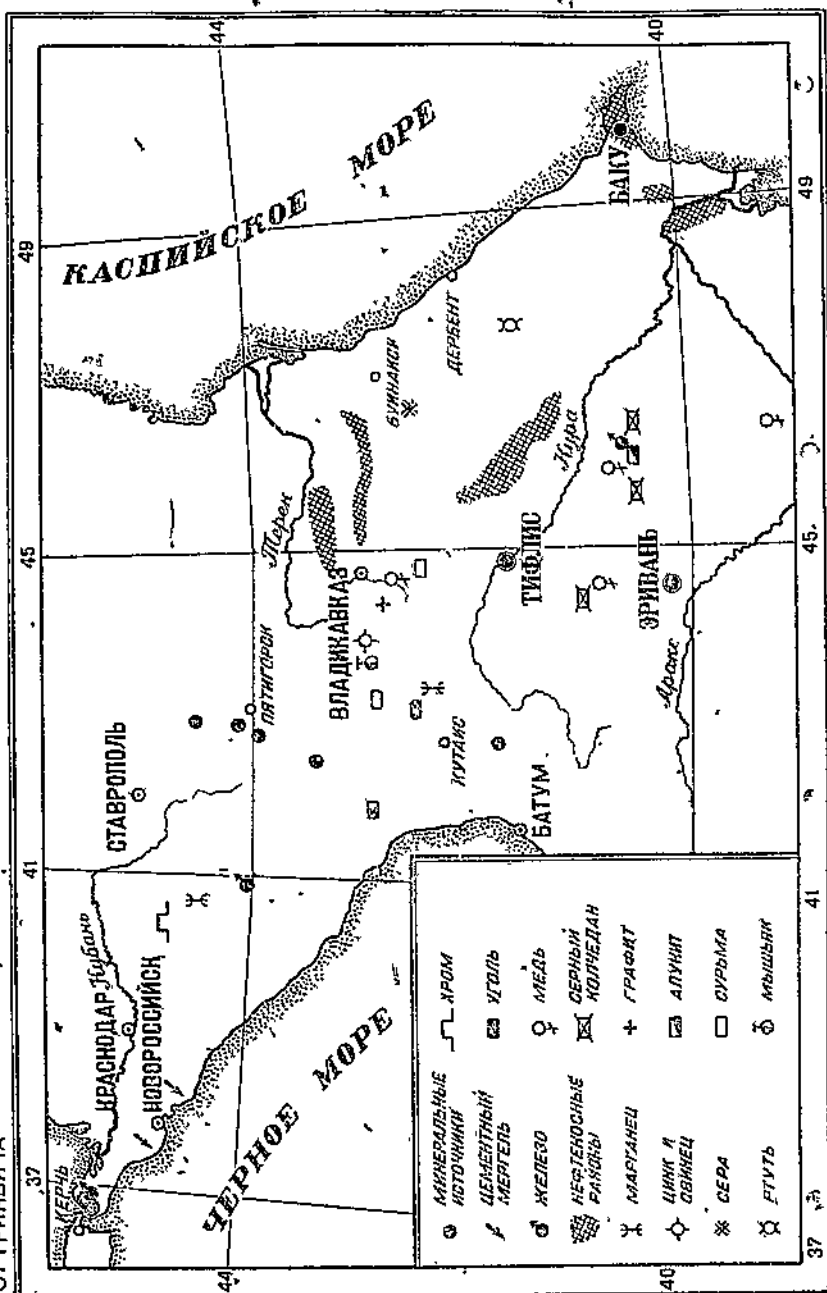


Рис. 197. Карта Кавказа.

Послетретичные (флювиогляциальные) отложения образуют большие площади по рр. Кубани и Тереку, а также древние озерные отложения Закавказья.

Изверженные породы, встречающиеся во многих районах Закавказья, очень разнообразны по своему возрасту (колеблющемуся от каледонской до конца альпийской складчатости), а также по составу: андезиты, порфириты; в Аджаристане андезитобазальты (Ахалцих); лорские порфириты в Грузии и в Армении; базальты, различного рода туфовые лавы и пемза — в Эриванской обл. Во многих местах изверженные породы прорезаны металлоносными жилами, заключающими медь, цинк, свинец, серебро, мышьяк и сурьму.

В горнопромышленном отношении Кавказ до сих пор являлся страной нефти, марганца и меди (см. карту).



Рис. 198. Буровые вышки на Суриханских промыслах. Баку. Земляной амбар, наполняющийся нефтью.

Главные залежи нефти расположены в Азербайджанской республике у Баку (рис. 198). Залежи нефти чрезвычайно обширны. В своих кавказских месторождениях СССР обладает почти 35% общего мирового запаса, исчисляемого в 700 млрд. т. Таким образом в отношении запасов нефти СССР стоит на первом месте.

Этим объясняется тот чрезвычайный «интерес» Америки, Англии и Франции к Кавказу вообще и в частности к Грузии, что проявилось особенно во время Октябрьской революции в виде посылки английских войск в Баку и в яростной поддержке меньшевиков в Грузии в 1919 и 1920 гг. Нефтяные концерны Европы и Америки были инициаторами интервенции, и до сих пор концерны — английский Ройл Дойтч и американский Стандард Ойл — являются основной базой интервенционистов.

зовне и кредителers внутри СССР. Все это становится особенно понятным, если мы возьмем подсчеты запасов нефти в Америке, где, по подсчетам геологов, известных и разведанных залежей нефти хватит лишь на 10—20 лет, а дальше американскому капиталу придется искать нефть на внешних рынках, между тем как роль нефти в народном хозяйстве непрерывно увеличивается, особенно в связи с употреблением в промышленности моторов Дизеля, развитием автотранспорта и колоссальным развитием авиации.

Основные важнейшие продукты, получаемые из нефти, это — керосин, бензин, машинные масла, парафин, а кроме того остатки от перегонки — мазут, идущий на топливо. Ежегодная добыча нефти в Баку достигала около 8 млн. т.

Чрезвычайно ценным является месторождение нефти в Грозном, доставлявшее в предвоенное время до 1½ т нефти в год — цифра, которой удалось опять достигнуть Грознефти в последние годы. Грозненская нефть отличается высоким содержанием бензина, имеющего большой спрос в Западной Европе и поэтому имеющего особенно большое значение для вывоза за границу.

Азербайджанская и грозненская нефтяная промышленность выполняла пятилетку в 2½ года. Суточная добыча нефти в последнем году пятилетия намечалась в 57 тыс. т. В 1931 г. в начале третьего года суточная добыча превзошла эту цифру, достигнув 58 тыс. т. В последний год пятилетия предполагалось добыть 20 820 тыс. т, на третий год пятилетия добыча превзошла эту цифру, достигнув 27 500 тыс. т. Напомним кстати, что царская Россия добыла в 1913 г. 9 300 тыс. т, так что добыча третьего года пятилетия превзошла довоенную в 3 раза. Наши успехи вызвали новую кампанию против ввоза нефти на запад; басня о советском демпинге (продажа на внешний рынок по бросовым ценам) усиленно поддерживается, и кампания против СССР как экспортера финансируется нефтяными королями мира.

В настоящее время существует большой керосинопровод, перекачивающий керосин из Баку прямо в Батум, и закончена постройка нефтепровода Грозный-Туапсе.

Таким образом бакинская и грозненская нефть является для Союза важнейшим предметом его внешней торговли.

Марганец. Марганцевые месторождения расположены в Грузинской ССР, в Чиагурах. С давних пор марганцевая руда вывозится в больших количествах за границу. До войны вывоз руды с Кавказа достигал 1 млн. т, т. е. около 50% всей мировой добычи. Марганцевая руда является необходимым продуктом для металлургии: почти вся выплавка чугуна производится с прибавкой марганцевых руд, а марганцевистая сталь является распространяющейся сталью, так как прибавка марганца придает стали крепость и твердость.

Чиагурское месторождение (рис. 199) является богатейшим в мире по своим запасам и вероятно в скором времени станет почти единственным, так как месторождения Индии в значительной мере уже истощены. Этим отчасти объясняется колоссальный интерес иностранных капиталистов, проявляемый ими к Грузинской республике вообще и к марганцевым месторождениям в частности.

Медь. Наиболее богатые медные месторождения Кавказа отшли по договору 1918 г. к Турции; однако и оставшиеся месторождения в Армянской ССР, в Аджаристане, в Грузии и на Северном Кавказе достаточны для создания большого медного дела. В настоящий момент эксплуатация этих месторождений только что ставится в горюдок дни. Медные месторождения Кавказа слабо изучены, но имеются все данные предполагать нахождение целого ряда новых богатейших жил. Особенно интересна эксплуатация медных месторождений в области р. Рюна, где создаются мощные водяные электростанции, которые будут источником дешевой электрической энергии.

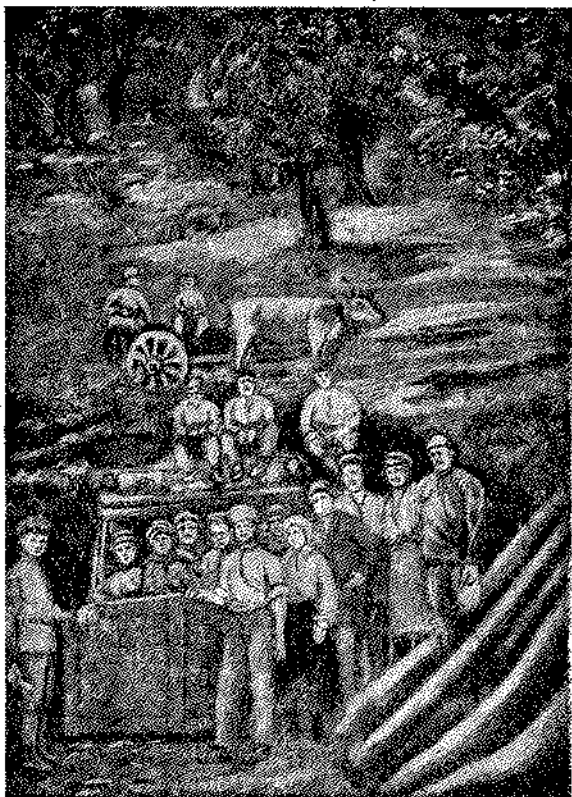


Рис. 199. Вывоз марганцевой руды из штольни.
Чиатуры, Закавказье.

Мышьяковые руды. В Осетии вблизи Владикавказа известен целый ряд месторождений мышьяковых руд. Такие же месторождения открыты в недавнее время в верхней Раче близ г. Опи. Месторождения достаточно мощны и богаты для того, чтобы служить основанием для извлечения из этих руд солей мышьяка; к тому же эти руды в виде мышьяковых колчеданов залегают совместно с сурьмяными рудами, с так называемым

сурьмыным блеском. Сурьма — необходимый металл для легких сплавов, употребляемый также в типографском деле, ввозилась к нам исключительно из-за границы. Сурьмяные месторождения Кавказа, разведанные только в последние годы, могли бы стать основанием для создания своей сурьмяной промышленности.

Грузинская республика богата еще залежами минерала *барита*, употребляемого в красильном деле в больших количествах. Барит добывается и в настоящее время и потребляется красильными заводами республики. В Грузии же имеются огромные залежи превосходного *трепела*, или кизельгура, идущего в большом количестве для строительных целей, а также известного как превосходный шлифовальный материал.

Кроме упомянутых месторождений в Грузии имеются еще богатые месторождения *флоридиновых глин* в селении Гумбри.

Подсчет запасов дал цифру в 3 млн. т. В настоящее время построен флоридиновый завод в Кулагсе.



Рис. 200. Выходы на поверхность квасцового камня. Заглик, Азербайджан. (Фотография В. И. Лучницкого).

Флоридиновые глины служат для очистки масел, жиров и до сего времени импортировались из САСШ (штат Георгия). Опыты над очисткой сырого хлопкового масла, керосина, бензина, вазелина, соляровых масел, перезина, парафина, дельфиньего жира и других веществ гумбринской флоридиновой глиной дали положительные результаты.

В Азербайджане за последнее время последованы месторождения *алунита* (квасцового камня), близ селения Заглик (рис. 200). Алунит может иметь большое значение в связи с производящимися опытами по применению его в качестве сырья для выплавки алюминия.

Необходимо особо отметить *свинцово-цинково-серебряную промышленность Кавказа*, сосредоточенную в Осетии. Рудники и заводы

ее объединены в одно предприятие. Эти рудники с Алагирским заводом, находящимся во Владикавказе, принадлежали раньше бельгийцам и доставляли ежегодно более 10 000 т свинца и 30 000 т цинка.

В настоящее время рудники, бывшие затопленными и значительно пострадавшие от землетрясения, почти нацело восстановлены и переоборудованы, и добыча ведется в размерах, значительно превышающих довоенные.

Минеральные воды. Кавказ славится своим исключительным богатством различными минеральными водами и источниками. На этих источниках построены обширные санатории и лечебные курорты всеобщего значения. Они расположены в Кисловодске, вблизи знаменитых источников «Нарзан», в г. Боржоме с его превосходными лечебными водами, в Железноводске, в Пятигорске и во многих других местах.

При развитии и постановке курортного дела на кавказских минеральных водах на достаточную высоту эти курорты несомненно будут иметь общеевропейское значение.

Строительные камни широко распространены и эксплуатируются по всему Кавказу. Всеобщее значение имеют ценные предприятия Черноморского побережья, сосредоточенные в Новороссийске. *Литографический камень*, необходимый в типо-литографическом деле, известен в ряде пунктов Черноморского побережья. Опыты замены им известного золотопесчаного камня, доставлявшегося к нам из Германии, дали благоприятные результаты.

У Р А Л

Урал (см. карту, рис. 201). — богатейшая область железа, меди, самоцветов, платины, золота — является одним из самых ценных горных районов в СССР. Урал делится на Северный, Средний и Южный. Северный начинается от Ледовитого океана; Южный кончается в Казахской степи у Мугоджар; весь хребет простирается таким образом на 3 300 км.

Уральский хребет представляет собой весьма древний (герцинский), сильно разрушенный складчатый хребет, образовавшийся в самом конце палеозойской эры (карбон и пермокарбон).

Северная часть Урала сложена осадочными и вулканическими изверженными породами. К западу от нее идут гряды глубинных изверженных пород и несколько хребтов (менее высоких), сложенных осадочными и сильно метаморфизированными (в центральной части Урала) породами.

Строение южной части Урала сложнее. Слабохолмистая зона, примыкающая к сибирской равнине в бассейне р. Урала, сложена осадочными и изверженными породами. Высокие горные хребты Кыркытау и Ирендыга образованы из вулканических эффузивных пород — туфов, лав. Еще более высокие скалистые хребты, сложенные нижнедевотскими кварцитами, чередуются с грядками известняков и сланцев.

Различие между западными и восточными склонами Урала значительное: западный склон сложен главным образом осадочными породами, а восточный — преимущественно массивно-кристаллическими, глубинными и изверженными (граниты, диориты, диабазы и др.). На восточном же склоне сосредоточены и главные рудные богатства.

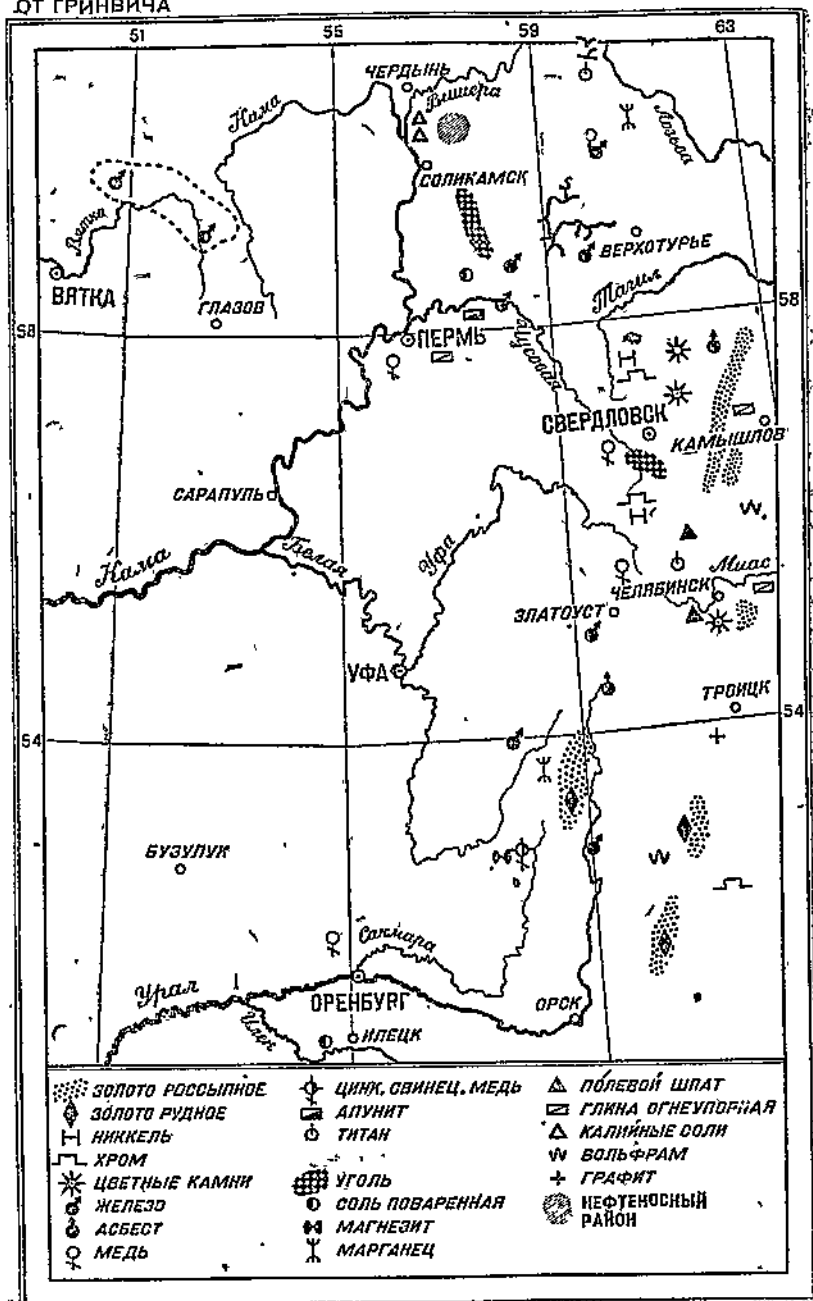


Рис. 201. Карта Урала. (Для ясности карты железные дороги не нанесены).

Особенностью Урала являются колоссальные интрузии основных пород в северной половине Урала. Среди этой зоны габбро выступают участки дунгита (обособившиеся из той же магмы), которым подчинены месторождения платины. В этой же части Урала имеют большое развитие эмсевики, преобладающие и на Южном Урале и интрузирующие среди нижнекаменноугольных сланцев.

Знаменитые месторождения железных руд гор Высокой и Благодати связаны с ксеноитовыми породами Куньвы и Тачила.

Образование магнитного железняка (гора Магнитная) является типичным контактово-метаморфическим и относится к каменноугольному периоду.

Месторождения меди подчинены сланцевой полосе и пермским медистым песчаникам.

Челябинские и бопословские угли подчинены угленосным юрским отложениям (мезозой).

Ряд железных месторождений Урала обязан своим происхождением действию поверхностных вод.



Рис. 202. На золотых приисках Урала. Промывка россыпного золота старателями.

Золотые месторождения Урала связаны генетически с интрузиями гранитной магмы и послевулканическими процессами.

Золото. Золота россыпного и коренного Урал доставляет почти 18% общей добычи СССР. В этом отношении особенно золотосными являлись речки Северного и Среднего Урала, а жильное золото добывалось близ Свердловска (б. Екатеринбург) и в Кочкаре, расположенном в 88 км к югу от станции Миас. Главный процент добычи падал на жильное золото. На юге Урала, в районе Кочкаря, расположены крупные золотые прииски с большим и ценным горным оборудованием, где добывается золото из кварцевых жил.

В настоящее время на Урале добывается россыпное золото (рис. 202), но уже производится работы по добыче жильного золота в ряде районов. На Урале же имеются мыщьяковые руды, так как само золото нахо-

дятся часто с мышьяковым колчеданом, являющимся главной мышьяковой рудой. Соли мышьяка в большом количестве необходимы для земледелия, так как борьба с вредителями (сусликами, с различными насекомыми) производится посредством применения этих ядовитых мышьяковых солей. Таким образом Урал является также районом добычи мышьяковых руд и дает нашей земледельческой стране столь необходимые ей материалы для защиты от вредителей полей и садов.

Платина. Урал является исключительным районом во всем мире по богатству ценнейшим драгоценным металлом — платиной.

Платина, отличаясь чрезвычайной тугоплавкостью, стойкостью, употребляется для химических лабораторий, в электротехнике и радиотехнике, для измерения высоких температур, в большом количестве идет в зубооборотном деле взамен золота; в последнее время употребляется также в ювелирном деле для вставок в нее драгоценных камней и ценится гораздо выше золотых изделий.

Россия являлась до войны 1914—1918 гг. единственной страной, поставившей платину на мировой рынок; 95% всей платины поставлялось Россией и всего 5% Колумбией. Только в самое последнее время Колумбия и особенно Ю. Африка ввиду полного отсутствия уральской платины на мировом рынке развили добычу из своих бедных руд и довели ее до соотношения 20% к прежнему мировому потреблению. На Урале добыча платины производится исключительно по речкам и озерам. При большом внимании к платиновой промышленности и применении к ней усовершенствованной техники можно будет извлекать платину из гораздо более бедных песков, которых еще остается значительное количество и которые надолго могут служить центрами добычи этого драгоценного металла.

Месторождения *медного и серного колчедана* с содержанием меди широко распространены по всему Северному, Среднему и Южному Уралу. Особенным богатством отличаются месторождения Северного Урала — Богословский район, где колоссальные залежки медных руд совершенно пока еще не использованы. Богомоловские месторождения, обладающие разведанным запасом в 6½ млн. т, послужили базой для постройки нового завода-гиганта с производительностью 12 500 т меди в год. В настоящее время главным образом работают медные рудники Среднего Урала — знаменитая Калата, производительность которой доводится до 6 000 т в год, а также Кыштымский район с крупным медеплавильным заводом в Карабаше, не работавшим долгое время и ныне опять пущенным в ход. Общие запасы медных руд на Урале исчисляются около 40 млн. метр. т.

Медное дело — это одно из основных горных дел Урала, которому предстоит огромное будущее.

Что касается *железных руд*, то залежки магнитного железняка имеются в целом ряде мест Северного, Среднего и Южного Урала. Особенным богатством отличаются залежки горы Благодать на Среднем Урале, запасы которой по подсчетам Геологического комитета равняются сотне миллионов тонн. К числу самых больших и высокосортных месторождений магнитного железняка принадлежит гора Высокая близ Нижнего Тагила (рис. 203): содержание железа в руде 74—45%. Запасы руды

оценивается в 40 млн. т. Необходимо отметить также на Южном Урале гору Магнитную, находящуюся в 77 км от Белорецких заводов близ г. Верхнеуральска, где запас магнитного железняка составляет около 330 млн. т. Эти колоссальные богатства магнитной руды послужили основанием для постройки завода-гиганта производительностью около 1 млн. т чугуна (рис. 204). Крупному развитию железного дела мешает отсутствие дешевого топлива. Поэтому развитие металлургии Урала тесно связано с развитием каменноугольной промышленности Кузнецкого бассейна (в Западной Сибири). Дешевые пути сообщения (угольные дороги, дороги облегченного типа) свяжут Урал с Кузбассом, и мощное развитие металлургии Урала обеспечено.

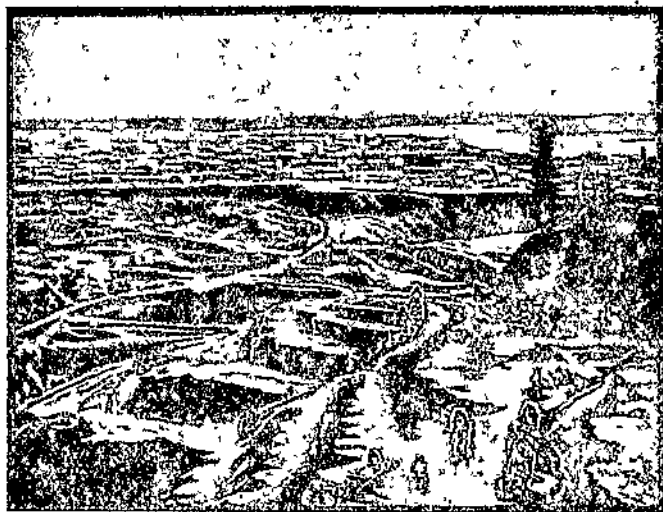


Рис. 203. Открытые разработки железных руд на горе Высокой, Нижний Тагил.

Из месторождений бурого железняка отметим Бакальские рудники, руда которых славится во всей Европе. На руде Бакальских рудников работают Златоустовские заводы.

В плане второй пятилетки по Урало-Кузбасскому комбинату на железных рудах Урала (частично и в Кузбассе) будет выплавлено в 1936 г. до 21 млн. т чугуна, т. е. вторая, восточная, металлургическая база Союза даст почти в четыре раза более чугуна, чем выплавляла вся царская Россия.

Из интересных полезных минералов необходимо отметить *хромистый железняк*. Крупные залежи его дают основание для ряда химических производств, которые установлены на заводах Бондюжского объединения, входящего в Северный химический трест. Из хромистого железняка добывается хромник, идущий на хромовые краски, а также

феррохром, идущий для хромовой стали. Хромовая сталь отличается прочностью и стойкостью по отношению к ржавлению. Запасы хромистого железняка настолько обширны, что могли бы служить крупным предметом экспорта; экспортироваться мог бы главным образом полупродукт. Крупные запасы хромистого железняка обнаружены близ сл. Халилово, жел. дороги Оренбург-Орск. Химическая промышленность Урала основывается на богатейших запасах колчедана, встречающихся в большом количестве по всему Северному и Среднему Уралу. На серную кислоту перерабатывалось ежегодно около 300 000 т серного колчедана. Один Уральские месторождения могут обеспечить все русские серноокислотные заводы; а серная кислота является основой для целого ряда отраслей промышленности.

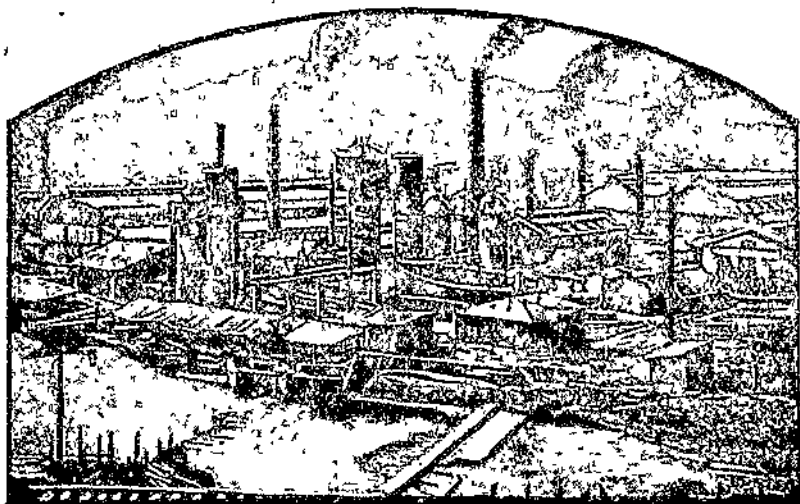


Рис. 204. Чугуноплавильный завод на Урале.

Асбест. Этот интересный минерал, который за свои текстильные свойства называется горным льном и который дает прекрасные гибкие волокна, употребляемые для асбестовых тканей, встречается в большом количестве на Среднем Урале. Этому минералу принадлежит большое будущее, так как он обладает кроме того исключительными свойствами — так называемой теплонепроницаемостью, и поэтому имеет в Америке колоссальное применение в строительном деле. Запасы асбеста на Среднем Урале исчисляются до сотен миллионов тонн; из них текстильного 10%, остальной — строительный и так называемый термоизоляционный. Эти запасы могут вполне покрыть не только потребность СССР, но и служить важной статьёй экспорта.

В последнее время в Америке развивается постройка асбестовых домиков; асбестовыми плитами начали также покрывать крыши высоко-

железа, так как эти плиты могут стоять десятилетиями лет, не портясь. Таким образом при развитии этого дела, а также при употреблении асбеста в южестойком строительстве потребности одного СССР исчислялась бы в 100 000 т к 1932 г. Из этого ясно видно, что асбестовое дело имеет совершенно исключительные перспективы развития как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

По пятилетке на вновь построенных асбестовых заводах-гигантах мы должны получить в 1933 г. до 250 тыс. т продукции асбеста.

Соль. Соль на Урале добывается каменная и выварочная. Выварочная соль добывается в Уральской обл. в Урале и Соликамске. Она осаждается выпариванием соляных источников, выходящих на поверхность. Урал доставляет до 100 000 т выварочной соли ежегодно.

Месторождения каменной соли в Илецкой Защите, расположенной на юге Урала, в Казахской АССР, представляет собой залежи, заключающие почти 2 млрд. т соли и вполне обеспечивающие весь край и прилегающие к нему области.

Здесь необходимо указать на месторождение *калиевых солей*, которые в 1925 г. обнаружены были близ Соликамска в Уральской обл. разведочной буровой скважиной Геологического комитета ВСНХ. Обнаруженный тут пласт сильвинита мощностью до 1 м, при среднем содержании хлористого калия в 22—27%, дал возможность предполагать в этом районе большие залежи калийных солей. Разведочными работами установлены запасы в несколько сот миллионов тонн и пробита первая пробная шахта. Залежь калийных солей прослежена на пространстве 25 км² в общей мощностью до 70 м.

О весьма важном значении калиевых солей как для промышленности, в особенности химической, так и для сельского хозяйства распространяться не приходится, так как они в больших количествах употребляются в целом ряде производств, как например красильном, текстильном, крахмальном, животноводном и др., и как важнейшее удобрительное средство.

До войны калиевые соли ввозились из-за границы.

Презвычайно интересным является открытие геологом П. И. Преображенским нефти на западном склоне Урала в районе Чусовских Порогов. Здесь весной 1929 г. при бурении на калийные соли забил нефтяной фонтан с глубины около 860 м.

Открытие это, явившееся полной неожиданностью не только для практиков, но и для специалистов-исследователей, имеет огромное значение для Урала, до сих пор не имевшего собственных нефтяных месторождений, несмотря на редкое богатство его другими полезными ископаемыми.

Как по тектонике нефтеносных известняков Чусовского района, отличающихся чрезвычайно дологим падением слоев, так и по составу уральской нефти, содержащей значительные количества ароматизированных бензинов, это месторождение станет особняком среди других нефтеносных районов Союза. Разведка его продолжается.

Самоцветы. Самоцветы Урала известны в продаже под именем цветных уральских камней и представляют собой аметисты, топазы, турмалины, гранаты, порные хрустали, граничащие кустарями Урала. Центр

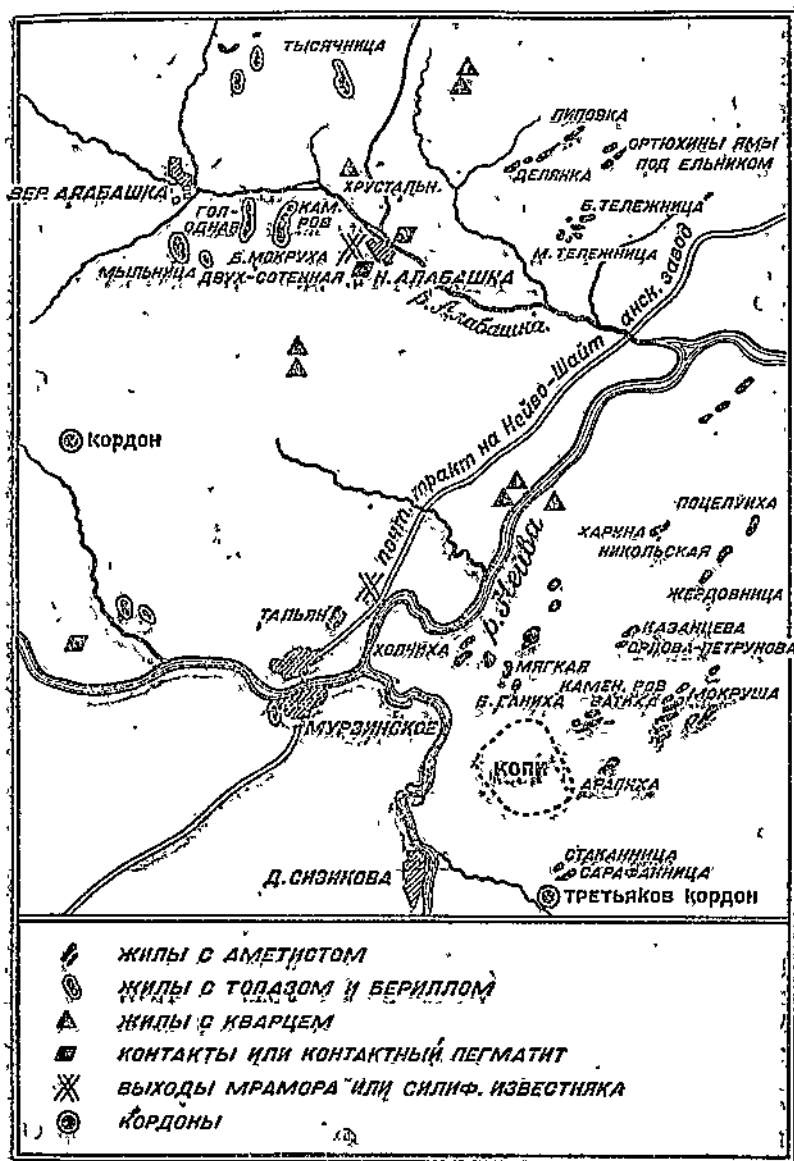


Рис. 205. Карта месторождений цветных камней района Алабашки и Мурзинки на Урале (по А. Е. Ферсману).]

кустарного промысла расположен юго-восточнее Свердловска, причем самоцветы обрабатываются крайне примитивным способом.

Месторождения разбросаны в различных местах Северного и Среднего Урала. Из них наиболее богатое — Алуйское месторождение, а также месторождение у с. Мурзинки, близ Свердловска (см. карту),

славящиеся на весь мир своими кристаллами горного хрусталя и амethystам (рис. 205).

Развитие гранитного и кварцевого промысла на Урале имеет прочную базу в месторождениях драгоценных камней, сравнительно малоэксплуатируемых. Особенно нужно отметить месторождение изумрудов, одних из лучших в мире, расположенное по р. Токовой. Крупнейшим покупателем драгоценных камней является Франция. Эти месторождения и принадлежали раньше французским капиталистам.

Из *поделочных камней* необходимо упомянуть родонит, или орлец, встречающийся близ Свердловска. Камень этот красивого розового цвета. Месторождения является исключительным во всем мире по мощности.



Рис. 206. Добыча корунда. Теченский рудник. Кыштым, Урал.

Наконец одни из самых красивых поделочных камней — это яшмы, известные в Башкирской республике на юге Урала, в треугольнике между Миасом, Верхнеуральском и Златоустом, представляющем собой настоящую страну яшм. Яшм здесь целые горы, не менее 30 различных сортов. При развитии камнеобрабатывающей промышленности эта область будет промышленной областью поделочного камня. Несомненно, что при развитии социалистического строительства общественные здания, как клубы, библиотеки, музеи, создадут огромный спрос на эти красивые и недорогие камни. Яшмы встречаются в таком большом количестве только в СССР и свободно могут служить для значительного экспорта за границу.

Мрамор. Мрамор встречается огромными залежами, главным образом на Среднем и Южном Урале, различных цветов: белый, серый, голубой, коричневый, черный.

Близ Златоуста до войны развилось обширное мраморное дело, где добыча велась по последнему слову техники.

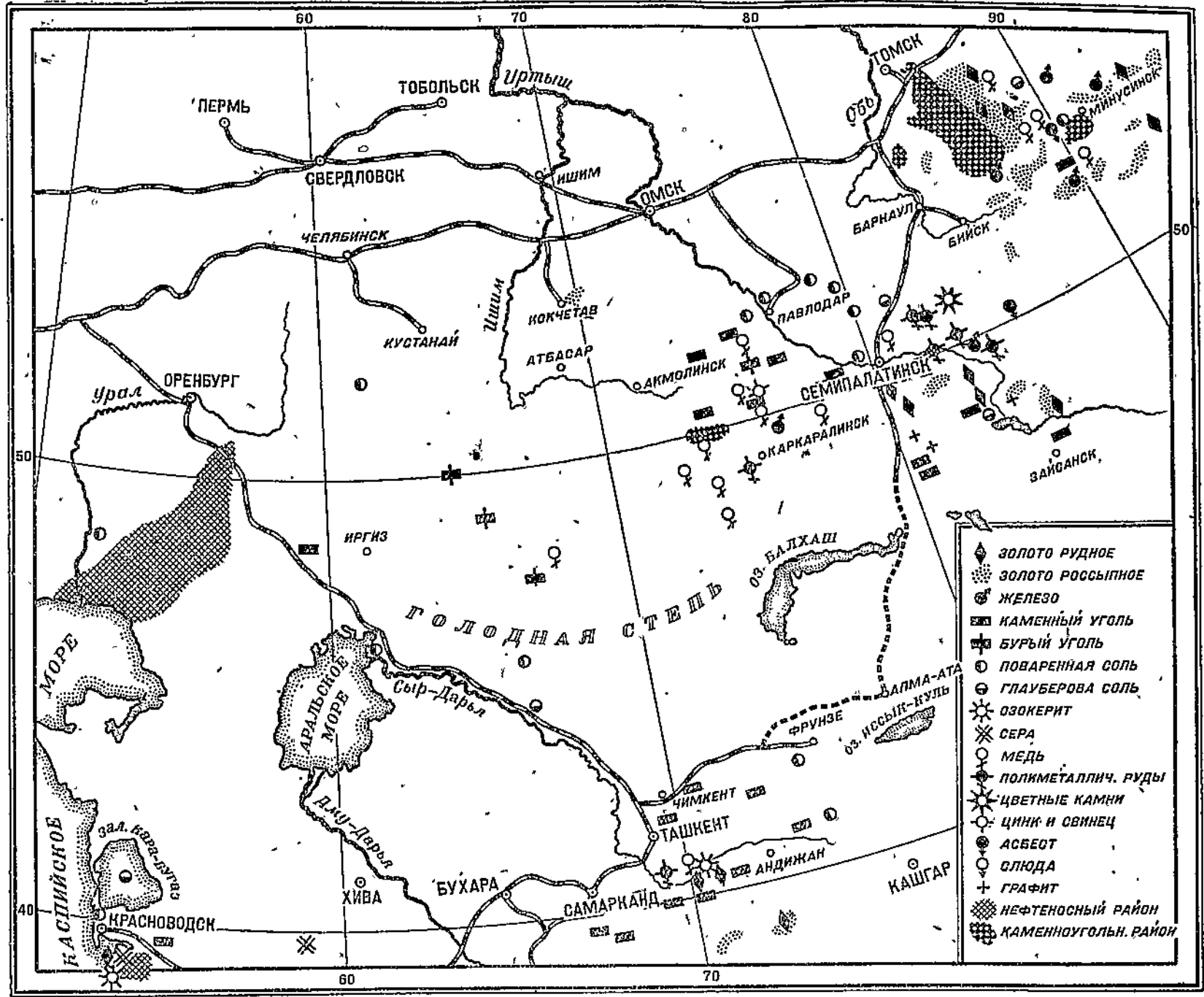


Рис. 207. Карта Средней Азии и Казахстана. Поправка: железная дорога от Среднеазиатской ж. д. линии на Семипалатинск (Турксиб) закончена постройкой и должна быть изображена не пунктиром, а непрерывной чертой.

Магнезит. Магнезитовые кирпичи, как исключительно огнеупорные, широко применяются в металлургической промышленности. Кроме того магнезит служит основанием для тех химических предприятий, которые вырабатывают соли магния. Месторождения магнезита на Урале настолько велики, что могут покрыть всю потребность металлургии Союза, крайне нуждающейся в этом продукте. Салтинские заводы по переработке магнезита заново реконструированы и обеспечивают металлургию Урала огнеупорным кирпичом. Эти заводы расположены у ст. Салта, Самаро-Златоустовской ж. д. близ Златоуста.

На Урале кроме того находятся целый ряд еще других полезных минералов, как например *корунд* (рис. 206), употребляющийся в шлифовальном и точильном деле, различные глины, *гипс*, служащий основанием алебастровой промышленности в Кунгурском и Осиновском районах, алмазы в Башкирской республике близ Стерлитамака. Кроме того целый ряд минералов с редкими элементами, мало исследованными, и наконец огромное количество минералов, интересных для школьных коллекций и музеев. Некоторые области Урала, как например Ильменские горы, представляют собой настоящий минералогический музей, где на небольшом пространстве в несколько десятков километров встречается более 100 различных минеральных видов.

Каменный уголь. Большое место Урала — это отсутствие крупных месторождений каменного угля. Уральские горные заводы работали главным образом на древесном полене. Уголь встречается на западном склоне Урала, в северной его части — Кизеловское месторождение, и на восточном склоне Среднего Урала — так называемые Егоршинские копи. В Кизеловском районе в Губахе построена электростанция, отыравшая в 1924 г. и электрифицирующая весь район.

За последнее время были сделаны удачные опыты обогащения и коксования кизеловских углей. В мае 1928 г. начали работать в Губахе небольшая обогатительная фабрика и коксовые печи, дающие пока в небольшом количестве металлургический кокс, не уступающий доныжнему.

Необходимо отметить еще бурые угли близ Челябинска, на которых построена мощная электростанция, и еще мало разведанные антрациты Троицкого района, так называемые Полтаво-Брединские месторождения.

КАЗАКСКАЯ АССР

Степи Казакской АССР занимают колоссальное пространство в 21½ млн. км².

Восточный район (см. карту, рис. 207) является наиболее интересной в геологическом отношении частью Казакстана, основу которой составляют складки палеозойского периода, идущие в северо-западном направлении.

От Тарбагатай до Кокчетавских гор тянется северо-западный хребет, сложенный девонскими и каменноугольными складками. Горы Даргелен, Баян-аул, Кокчетау, Аяртау примыкают к нему с севера и представляют крупные гранитные массивы.

Характер пород южного района другой, здесь среди изверженных пород встречаются преимущественно порфиры.

Состав верхнедевонских осадков (наиболее распространенный) следующий: красные и зеленовато-серые песчаники и конгломераты, глинистые и кремнистые сланцы; плотные, иногда глинистые, известняки.

Лишь местами (в отдельных замкнутых котловинах) сохранились юрские и каменноугольные отложения; последние представлены зернистыми известняками и углистой песчано-глинистой свитой, а первые — глинами. Наиболее важным в промышленном отношении считается Экибастуевское месторождение каменного угля благодаря его близости к железнодорожным и водным путям.

На площади Восточноказахстанской степи разбросано около тысячи рудных месторождений различного типа (главным образом гидротермальных метасоматических). Руды, преимущественно медные и полиметаллические, сосредоточены в Павлодарском, Каркаралинском, Акимовском районах. В южном и западном предгорье Алтая — медь в б. Атбасарском и в золотом в Богучевском. Медные залежи наблюдаются в обидочных породах или сплошными массами или же в виде тонких жил и углубов вкрапленников в изверженных порфирах и порфиритах. Иногда эти руды пропитывают песчаники и конгломераты. Свинцово-цинковые месторождения встречаются в виде неправильных масс в известняках или небольшими кварцевыми жилами в порфирах и сланцах. Ввиду острой нужды в цветных металлах для промышленности Союза за последнее время были произведены детальные разведки некоторых полиметаллических месторождений Казахстана. Из них необходимо отметить Турланское свинцово-цинковое месторождение в горах Кара-тау, в 75 км от ст. Туркестан Тапшентской ж. д. с промышленными запасами кремнистых перусситов и с содержанием цинка около 550 000 т. Среднее содержание свинца в руде около 18% и цинка около 30%.

В том же районе в 30 км от ст. Туркестан находится Карасайское свинцово-цинковое месторождение.

В некоторых медных месторождениях (гранит и гранит-порфир) содержится свинцовый блеск, наряду с пиритом и халькопиритом, примесью обманка и значительное количество золота. В южных месторождениях преобладает шпепец, иногда цинк. Однако в рудных, с богатой рудой, месторождений мало, несмотря на то, что по литературным данным в Казахстане насчитывается до 200 полиметаллических, 160 медных, 40 золотых и 20 железных месторождений.

За последнее время после произведенных разведок были подсчитаны запасы медных руд важнейших месторождений Казахстана, причем получились такие таблица в переводе на металлическую медь:

Прибалхашский район	минимально по 1 500 000 т меди
Дзезказганский	" " 136 000 " "
Коктас-Джартаский	" " 136 000 " "
Успенско-Спасовский	" " 95 000 " "
Чидертинский	" " 27 000 " "
Экибас-Майкапский	" " 10 000 " "

Самым крупным по запасам является Прибалхашский район, расположенный на северо-западном берегу оз. Балхаш и дальше на 18—25 км от берега.

Здесь в 1928 г. были открыты при месторождении меди, важнейшее из которых расположено в урочище Коуараде, к северу от с. Бертышской пристани в 18 км от озера. Руды окисленные, по преимуществу азурит, малахит, куприт и хризоконна (медная зелень), пропитывающие измененный кварцевый монцитит-порфир. Содержание Cu 1,5—2% и вадовой запас в пересчете на металлическую медь дает 1,5 млн. т металла. Два других месторождения — Карабас и Сокуркой — имеют меньшее значение.

Воскрешение судоходности оз. Балхаш все побережье может быть связано с железнодорожной сетью Союза посредством ст. Балхаш (Туркестано-Сибирской ж. д.) на самом берегу озера. Трудный вопрос получения ископаемого угля разрешен открытием угленосного карагандинского бассейна.

От 80-х до 900-х годов многие из этих месторождений Восточно-казахской степи эксплуатировались и дали значительное количество металлов, а некоторые месторождения, как например Спасский и Атбасарский медные рудники, работали во время войны и в начале революции. Разрабатывались однако только богатые руды с большим содержанием меди, между тем как огромные пространства представляют собой сплошные залежи бедной медной руды, с содержанием 2—3% меди, которые совершенно не разрабатывались и не разрабатываются. Главной причиной, препятствовавшей разработке этого крупнейшего района, являлось отсутствие топлива. Местное кустарное топливо — кустарник — при безлесьи края может служить лишь для потребления населением, но никак не для промышленности.

Только в последнее время удалось организовать разработку медных руд в крупном масштабе.

Недавно пущенный Корсак-Пайский завод Атбасарского треста базируется на богатых Джезказганских месторождениях. Завод расположен в 375 км к северу-востоку от ст. Джусалы Ташкентской ж. д. Сырьем завод обеспечен на 20—25 лет при масштабе выработки 5 000 т меди в год. Завод будет работать на байканурских бурных углях.

Себестоимость меди франко-завод исчислена в 630 руб. за 1 т.

Северная часть Казахстана находится в гораздо более благоприятных условиях, так как там находится каменноугольное месторождение, так называемое Экибастусское (недалеко от р. Иртыша), на котором в свое время английское общество хотело сделать алтайские риддеровские руды, сылавля их по р. Иртышу до Павлодара. Экибастусское месторождение обладает запасами в несколько миллиардов тонн каменного угля, из которого треть коксующегося. Пути сообщения в Казахстане пока возможны только для грузового автомобильного движения, так как железных дорог нет. В южной части Казахской степи расположено громаднейшее оз. Балхаш с р. Или, на которых возможно организовать пароходство, что создаст кратчайшее сообщение Южной Сибири с юго-восточным Казахстаном и откроет широкие перспективы, связан

пустынное побережье с богатыми залежами угля в Кульдже, лежащей на границе Монголии.

Открытие нового Карагандинского угольного бассейна по запасам, стоящим на третьем месте в СССР, дает мощный толчок развитию северо-восточного Казахстана и включает в его систему Урало-Кузнецкого комбината. Запасы Караганды, далеко еще не обследованные, исчисляются около 18 млрд. т. Уголь консулюющийся и по качеству в некоторых пластах выше донецкого угля (серы и фосфора только доли процента). Караганда находится в районе медных месторождений и близка к Магнитогорскому, чем Кузнецкий бассейн, на 1100 км.

Из неметаллических полезных минералов в Казахстане нужно отметить месторождение *корунда* около доры Семиз-Буру в Жаркаралинском районе, имеющее промышленное значение.

В общем совершенно ясно, что Казахстану предстоит большое будущее как обширной стране с колоссальными возможностями по развитию грандиозного медного и свинцового дела. Недавно оконченная Туркестано-Сибирская ж. д. Семипалатинск — Фрунзе — Ташкент связывает южную часть Казахстана с Сибирью и имеет огромное значение для этого обширного и малонаселенного края.

СРЕДНЯЯ АЗИЯ

(Туркменская, Узбекская, Таджикская ССР и Киргизская АССР).

Формирование большинства горных хребтов Южной части Средней Азии (б. Туркестана) можно отнести к палеозойскому периоду. Дуги Памира относятся к более молодой системе. Новейшие отложения состоят из галечников, конгломератов (содержащих иногда золото); лёсса, служащего для производства кирпичной и гончарной глины и дающего самые плодородные площади страны.

Под этими новейшими отложениями лежат свита третичных, меловых и юрских отложений, представленных притчными мерелями, глинами, песчаниками, конгломератами, известняками; они содержат полезные ископаемые: серу (Фергана), нефть, озокерит, строительный известняк, мергель и гипс (идущие на удобрение).

Среди меловых отложений присутствуют конгломераты, диагонально-слоистые песчаники, красные мергеля, содержащие celestine, каменная соль, тенардит, мирабилит, гипс, строительный известняк.

В юрских и триасовых отложениях (песчаники, глины, углестые сланцы) содержатся: уголь (промышленный), железная руда (сферосидериты), серая глина (огнеупорная «гульбала»), жерновой камень.

Местами самородная медь, соль (хребет Супетай).

В следующих за ними палеозойских отложениях заключается много металлических руд.

Очень мощные верхнекаменноугольные породы (известняки, сланцы, шифры, песчаники) содержат порой медные руды, линзы каменного угля (не имеющие практического значения).

В нижнекаменноугольных и девонских породах лежат известняки, сланцы, кремнистые сланцы, порфириды, песчаники. В них содержатся

руды меди, свинца, сурьмы, ртути; встречаются уран, радий, ванадий, никель и др. Песчаники идут на строительные камни. Среди известняков встречаются мраморы. Есть месторождения бирюзы (в кремнистых юланцах).

Среди изверженных пород развиты граниты, порфиры и др.

Наша Средняя Азия — одно из самых интересных мест в СССР (см. карту). Главное ее богатство составляет удивительно плодородная почва. Из полезных ископаемых, имеющих-всесоюзное значение, необходимо отметить прежде всего *озокерит*, известный в Фергане и т. д. Челекен в Туркменской ССР. Озокерит известен только в немногих других месторождениях на земном шаре. Поэтому наши среднеазиатские озокериты могут служить прекрасным предметом экспорта. Из озокерита делается искусственный воск, в большом количестве он идет также на пропитку тканей. Остановленные во время революции озокеритовые промысла в настоящий момент возобновлены.

Чрезвычайно интересно месторождение *серы* в пустыне Кара-Кум, обладающее крупными запасами, но к сожалению отстоящее на 250 км к северу от железнодорожного пути — Апхабада. Существующий завод дает несколько тысяч тонн плавленной серы ежегодно.

Второе месторождение серы находится у Коканда. На запасах этого месторождения построен большой серный завод.

Необходимо отметить начавшуюся впервые в СССР в 1924 г. разработку *плавикового шпата*, идущего для стеклышно-керамической промышленности. Плавиковый шпат в 1914 г. ввозился в Россию из-за границы в размере до 2500 т на сумму до 40 000 руб. Золотом, в то время как запасы одного туркестанского месторождения исчисляются в 40 000 т. Плавиковый шпат чрезвычайно важен кроме того и для железных дорог, так как из него получается фтористый натрий, служащий прекрасным материалом для пропитки шпал. Пропитка шпал хлористым цинком не дает нужного эффекта, и шпалы легко загнивают; пропитка же фтористым натрием предохраняет дерево от порчи очень хорошо, и несомненно, что шпалопропиточные заводы Наркомпути в ближайшее время перейдут на фтористый натрий.

В Средней Азии имеются месторождения *радиевой руды*. Радиевые рудники (рис. 208) разрабатываются с 1922 г. и дали уже Союзу некоторое количество радия, этого драгоценного элемента, запасы которого во всем мире не превышают нескольких сот грамм. Радий является целебным средством при болезнях кожи, при злокачественных опухолях, вообще при всех случаях, когда обычные медицинские средства уже не действуют. Этот еще новый, мало изученный элемент чрезвычайно интересен также в научном отношении.

Наряду с радием в громадных количествах встречается и *ванадий* — металл, необходимый для изготовления специальных сортов стали, идущей для автомобилей, моторов, так как он придает стали чрезвычайную крепость и упругость. Месторождения ванадия являются пока важнейшим во всем Союзе.

Кроме того в этих же рудах содержится и третий редкий элемент — *уран*, играющий большую роль в производстве красок, а также специальных сортов стали.

Местное значение для всей этой обширной области имеют месторождения *нефти*, расположенные в Фергане и дававшие около 25 000—30 000 т (Чемпон), и *каменного угля* в западной части Узбекистана, среднего качества, имеющего пока значение для местных железных дорог.

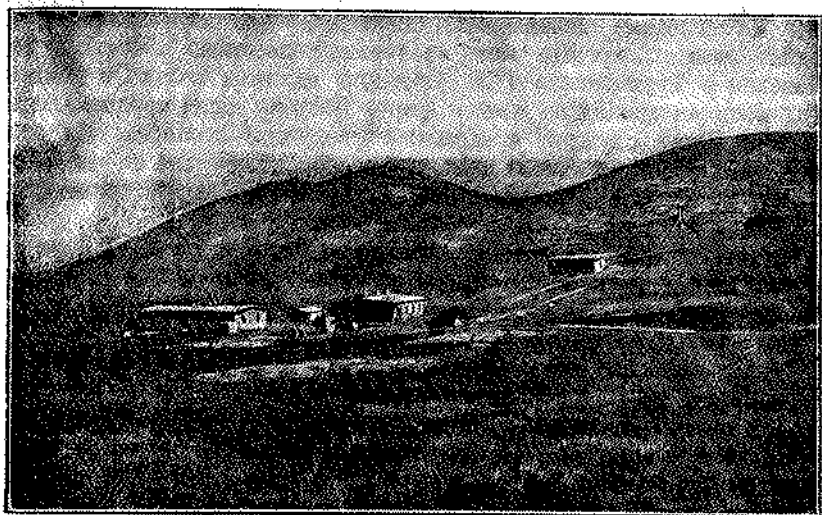


Рис. 208. Радневый рудник.

Каменная и самосадочная соль встречается в нашей Средней Азии во многих местах в горной ее части и в Туркменской ССР и может служить не только для удовлетворения потребностей местного населения, но также и для экспорта в Персию и Афганистан.

Необходимо особо отметить чрезвычайно интересное месторождение *сернокислого натрия* ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), так называемого *мирабилита*, употребляемого в огромном количестве в стекольной промышленности, а также могущего быть употребленным для производства соды.

Мирового значения месторождения мирабилита расположены по берегам мелководного залива Карабугаза, находящегося в восточной части Каспийского моря и соединенного с ним узким проливом.

Карабугаз (рис. 209) находится в знойной, засушливой местности. В летнее время здесь обычно держится сильная жара, зимой же бывает очень холодно. Благодаря сухому, резко континентальному климату в Карабугазе создались весьма благоприятные условия для поверхностного испарения, и содержание солей в заливе в 15—20 раз выше, нежели в Каспийском море. Зимой, как только температура воды упадет до $5-6^\circ\text{C}$, в Карабугазе начинают выпадать кристаллы мирабилита, которые находятся в полувзвешенном состоянии. Волнами прибой часть выносится на берег, а остальная, большая часть садится затем на дно (рис. 210).

С марта мирабилит начинает растворяться и летом его не остается и следа, так как выброшенная на берег соль смывается обратно пабегалощими волнами, а в теплой воде мирабилит не выделяется.

Таким образом мирабилит является периодическим, сезонным минералом, характерным для зимнего времени, и задачей промыслов, расположенных по берегам Карабугаза, является откапывать зимой выносы мирабилита на более высокий горизонт, где их не могли бы смыть пабегалощие, летом волны прибой.

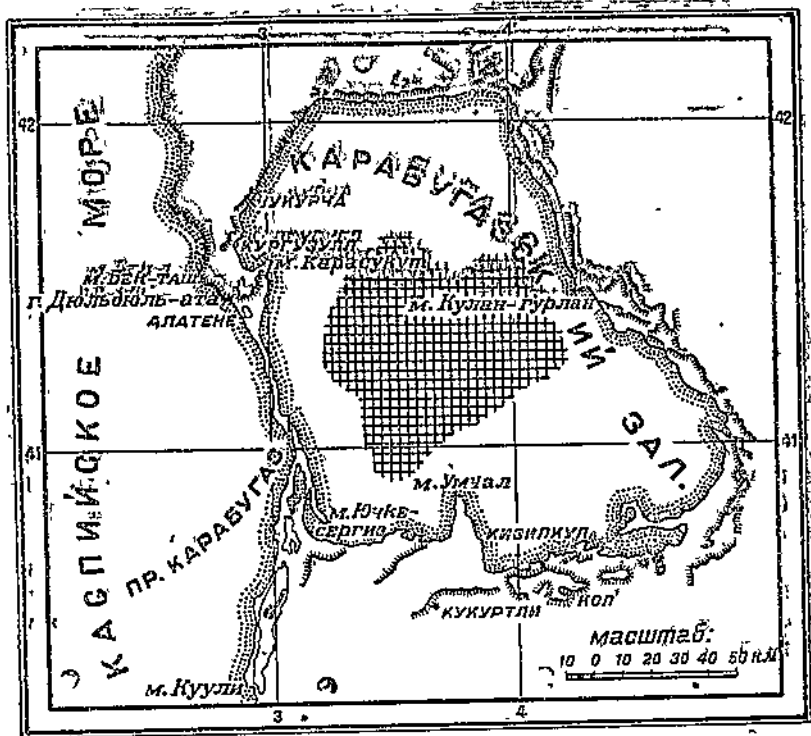


Рис. 209. Карта Карабугазского залива. Заштрихованные места — отложения мирабилита на дне залива.

Районы разработок мирабилита расположены в двух главных пунктах по берегам Карабугаза. Южная группа расположена близ мыса Умчал (см. карту). Промысла тянутся по берегу на расстоянии около 40 км с небольшими перерывами, причем один из участков, Кизилкул, является административным центром промыслов. Северная группа разработок находится около Курпузула; здесь промысла расположены у подножья гор и тянутся по побережью на протяжении 28 км.

Собранный зимой на берегу в штабели, мирабилит летом благодаря действию горячего солнца и сухих ветров естественным образом обезво-

живается и покрывается с поверхности тонким слоем сульфата, Na_2SO_4 , который время от времени стипцуют деревянными скребками, предоставляя дальнейшее обезвоживание солнцу и ветру.



Рис. 210. Мирабилит, выброшенный прибоем на берег Карабутага.

Месторождения *свинцовых и цинковых руд* имеются также в различных местах этой обширной области (Кара-Мазар, Берки и др.), но не разрабатываются даже в местном масштабе, хотя некоторые из них по видимому интересны с промышленной точки зрения.

В южной Фергане открыты в 1930 г. два крупных ртутных месторождения. Особенно интересно месторождение Хайдархана в 75 км от Ферганы, где руды залегает прямо на поверхности мощным пластом с содержанием ртути от 3 до 60/о.

ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ.

Западная Сибирь включает в себя огромный Кузнецкий бассейн и западный Алтай (см. карту, рис. 211).

Алтай сложен в значительной мере кристаллическими сланцами и кристаллическими известняками додевонского периода. Большое распространение имеют также отложения каменноугольного и девонского периодов. Кузнецкая и Минусинская котловины сложены породами каменноугольного периода (Кузнецкий угольный бассейн равен по площади Донецкому, но превосходит его по запасам во много раз). На севере района известны небольшие участки мезозойских отложений; третичные отложения также образуют там ряд бассейнов; им подчинены месторождения бурого угля. Очень распространены притечные отложения в западной части Кулундинской степи, где известны соляные и содовые озера. В горной части Алтая распространены массивные

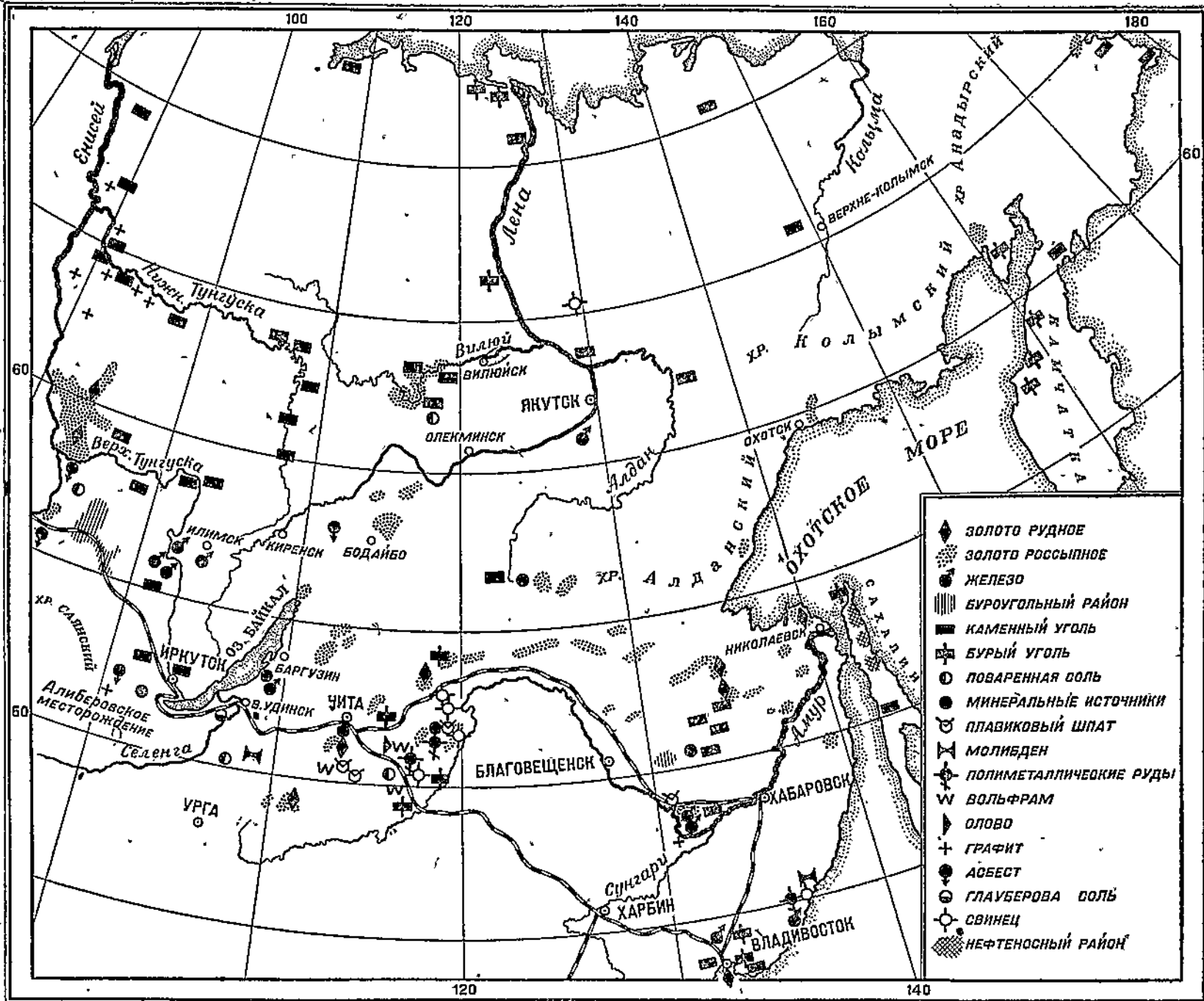


Рис. 211. Карта Восточносибирского края, Якутской АССР и Дальневосточного края.

породы — порфиры, порфириты, туфы (отложения палеозоя). В девонских породах появляется гранит. В отложениях посткаменноугольного периода — диабазы и порфиры. Гнейсы встречаются в небольших участках (докембрий) на севере.

Складчатость герцинского яруса имеет северо-западное направление; для металлогении Алтая она имеет наибольшее значение.

Прежде всего необходимо отметить грандиознейшие в мире запасы каменного угля в области р. Томи, в так называемом Кузнецком бассейне. Этот уголь прекрасного качества и, давая превосходный кокс, обладает солидной мощностью залегания; так, встречаются некоторые пласты (открытые уже во время советской власти), достигающие 30 м мощности. Общая площадь Кузнецкого каменноугольного бассейна равна 30 000 км², и запасы угля исчисляются в 480 млрд. т. Если сравнить Кузнецкий и Донецкий каменноугольные районы, то надо сказать, что в Кузнецком бассейне нужно увеличить весь масштаб в 20 раз. Несомненно, что этот район, которого очень добивались в свое время французские капиталисты, явится в будущем базой для всего промышленного развития Урала. На каменном угле развивается и крупная химическая промышленность.

На юге Кузнецкого бассейна в Тельбесском районе залегает одна из крупнейших в Сибири месторождений *магнитного железняка*, вполне разведанное и обладающее запасами, достаточными для питания крупнейшего построенного завода для удовлетворения потребности в чугунах и железе Сибири. Кроме того авторы еще в 1913 г. были обнаружены близ Кузнецка по р. Томи грандиозные выходы *сферосидеритов*. Урало-Кузнецкий комбинат должен добыть по наметкам плана второй пятилетки к 1936 г. до 70 млн. т угля, из которых $\frac{2}{3}$ приходится на Кузбасс. На этих углях будет выполнено до 21 млн. т чугуна и до 600 000 т меди (Урал, Кузбасс и северо-восточный Казакстан).

Золото в Западной Сибири распространено гораздо меньше, чем в Восточной Сибири. Жильное золото добывается в большем количестве, чем россыпное. В общем на Западную Сибирь приходится лишь около 60% всего добывавшегося золота.

Крупнейшим горнопромышленным районом Западной Сибири является Алтай с его *серебро-свинцовыми* и медными месторождениями.

Алтай являлся ранее страной *серебра*, которое добывалось из серебро-свинцового блеска Змеиногорского и Зыряповского рудных полей.

Годовая добыча серебра достигала в конце XVIII в. 20 т в год. Однако с падением мировых цен на серебро с середины прошлого столетия алтайская горная промышленность не выдержала конкуренции на мировом рынке, остановилась и замерла. Все же месторождения серебро-свинцовых, цинковых и медных руд были настолько обширны, что в конце концов привлекли внимание иностранцев.

Англичане образовали так называемое Риддерское акц. о-во в 1914 г. начали разведку и эксплуатацию Риддерского месторождения. Разведки установили в этих месторождениях огромный запас руды, содержащей кроме свинца, цинка и меди большое количество золота и серебра. Установленный запас руды обеспечивал выплавку кроме цинка и свинца еще 200 000 т меди.

Постройка завода на Риддере была на несколько лет задержана вредителями, а агенты западноевропейского капитала сложили уже построенную обогатительную фабрику. В настоящее время она выстроена заново.

Риддерское предприятие и существующие рудники, обогатительная фабрика и вспомогательные предприятия обеспечивают переработку 20 000 т руды первой очереди, которая после металлургической обработки могла бы дать 3 000 т свинца, 4 000 т цинка и 200 т меди в год, не считая золота и серебра.

Не менее богаты Зыряновские рудники.

Ряд других месторождений серебра, меди, цинка и свинца известен во многих местах этого богатого края. Использование его горных богатств стоит в прямой зависимости от использования «белого угля» — мощных водных потоков и горных рек Алтая.

Алтай славится красивым *поделочным камнем* — яшмой, для обработки которого действует правительственная фабрика, находящаяся в с. Колыванском.

Природная сода известна в озерах Кулундинской группы, лежащих в южной части Кулундинской степи, в 60 км от ст. Кулунда железнодорожной линии Славгород — Павлодар и частью в Барабинской степи. Их можно разделить на два типа: щелочные озера и озера с преобладанием сернокислых солей (Кулунжское и Мармышанское), с огромными залежами тенардита и мирабилита.

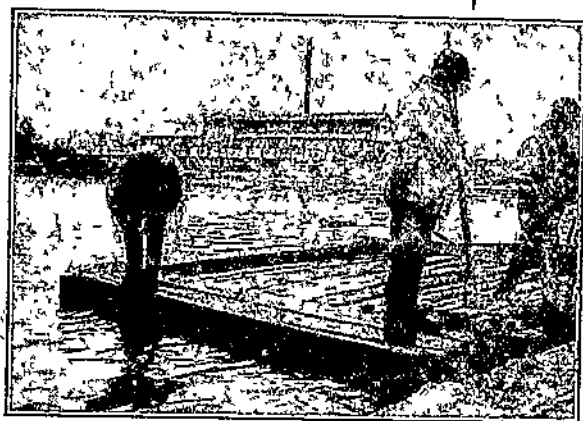


Рис. 212. Добыча соды из озера. Петуховские содовые озера. Западная Сибирь.

Из щелочных озер наибольшее значение имеют Петуховская и Михайловская группы содовых озер. В Петуховской группе производится промышленная добыча соды из Малого Петуховского озера, достигшая в 1926/27 г. 10 000 т. Зимой, когда озеро покрывается льдом, происходит садка соды, которая выделяется частью на внутренней стороне

льда, а частью в виде пласта на дне озера. Кристаллы, осевшие на дне, выбираются подрывательными черпаками (рис. 212).
 На берегу Петуховского озера построен небольшой завод для обезвоживания соды, работающий с 1923 г. (рис. 213).

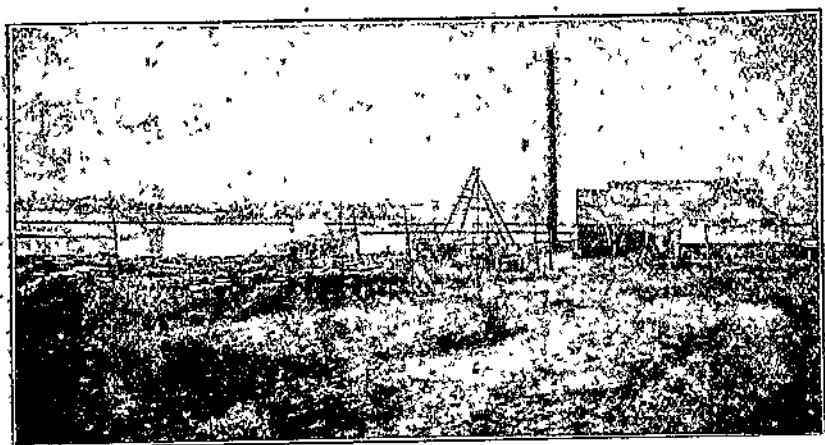


Рис. 213. Содовый завод. Петуховские озера. Западная Сибирь.

Михайловская группа озер открыта в 1927 г. Исследования еще продолжаются. Самое значительное озеро — Танатар. Запасы сырья в оз. Танатар и Кучербак определены пока в 20 млн. т соды. С проведением ж.-д. линии Семипалатинск — Кулунда, предполагаемой в пятилетнем плане Сибкрайисполкома, возможно будет развить и поставить на должную высоту содовую промышленность этого края.

ВОСТОК АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ СССР

Это гигантское пространство охватывает собой Восточносибирский край, т. е. район р. Енисей, Прибайкалье и Забайкалье, включая Бурято-Монголию, всю Якутскую республику и Дальневосточный край.

Западная часть этой географической области (см. карту, рис. 211), куда входят Саянские и Прибайкальские горы и нагорья Северобайкальское и Патомско-Витимское (главный золотоносный район), сложена главным образом гнейсами, кристаллическими известняками, различными сланцами, метаморфическими песчаниками, известняками и докембрическими сланцами. Массивные породы весьма разнообразны и представлены гранитами, сиенитами, диоритами, габбро, анортозитами, порфирами, порфиритами (Восточные Саяны) и базальтами.

Значительно распространены кембриские песчаники, сланцы и известняки (в плоской части возвышенности); местами их перекрывают нижнепалеозойские красные песчаники, мергели и глины. В южной части области они перемежаются с юрскими пресноводными и урале-

носными осадками (юрский угленосный бассейн); встречаются притичные осадки.

Забайкалье сложено почти сплошь кристаллическими докембрийскими породами — гнейсами, кристаллическими сланцами, известняками и гранитами. Встречаются небольшие участки метаморфизованных отложений в виде сланцев, песчаников, углей (частью юрского, частью третичного периода).

К юго-востоку распространены породы палеозойского (верхнедевонского и каменноугольного) периода — сланцы, песчаники, известняки; они собраны в складки (герцинская зона), с обрывками юрских отложений — конгломераты, песчаники, сланцы. Вся эта свита пронизана интрузивными гранитами, представляющего почти непрерывные площади (к северу от Шилки).

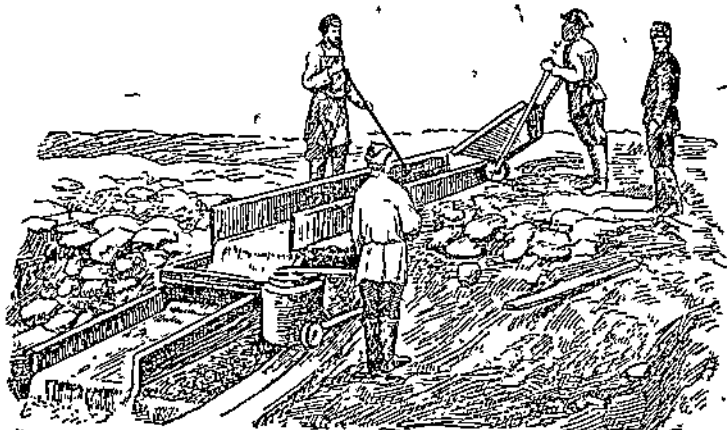


Рис. 214. Золотые прииски в Восточной Сибири. Промывка золотоносного песка на вангерде.

Золото. Золотые россыши имеют исключительное значение для края. Жильного золота добывается сравнительно мало. Ленские золотые прииски доставляли треть всего добывавшегося во всех районах России золота. Особенно богаты золотом реки Амурской обл. В Якутской республике на Алдане были в 1925 г. открыты богатейшие прииски, напоминавшие по богатству сказочный Клондайк Аляски. Старатели намывали в день до 400 г золотого песка; со всей Сибири стекались в эту область массами искатели золота. В общем Восточная Сибирь доставляла последние годы до войны золота 19 т. Перспективы развития золотой промышленности Восточной Сибири чрезвычайно велики, так как остаются еще огромные просторы, неиспользованные и малоиспользованные (рис. 214).

По богатству серебро-свинцовыми и цинковыми рудами необходимо отметить Нерчинский край, бывший царской каторгой, где

расположены знаменитые каторжные тюрьмы Зерентуй, Аксатуй, Кадаинские рудники. Вся эта область представляет обширное месторождение серебро-свинцовых и цинковых руд. Разрабатываемые каторжным трудом и примитивными способами, эти рудники доведены были только до горизонта подпочвенных вод, которые и остановили дальнейшую работу. Применение новых способов техники и эксплуатации руд может оживить в будущем промышленность края.

Из месторождений, имеющих мировое значение, необходимо отметить колоссальнейшие залежи *графита*, расположенные в Туруханской обл. по р. Курейке. Залежи месторождения практически неисчерпаемы. Туруханский край лежит на Великом северном пути, и графит можно экспортировать прямо в Англию; для внутренней потребности условия также очень благоприятны ввиду возможности транспорта до Красноярска и оттуда вглубь СССР.



Рис. 215. Добыча слюды в забое. Слюдянка, оз. Байкал.

Несколько менее обширные, но все же колоссальной мощности месторождения графита расположены в Тункинских горах Иркутского района, это — знаменитые Алиберовские месторождения, откуда в 50-х годах промышленник Алибер поставлял графит в Западную Европу. Трудность эксплуатации этого месторождения заключается исключительно в тяжелых транспортных условиях: графит можно вывозить только зимой на санях по замерзшим горным речкам.

Большее значение для всего Союза, а также и для экспорта имеют месторождения слюды, расположенные по р. Маме в Прибайкалье, а также у ст. Слюдянка близ оз. Байкал и в Красноярском районе (так называемое Канское месторождение).

Слюдянинские месторождения (рис. 215) разрабатываются Слюдяным трестом.

Слюда обрабатывается на фабрике в Слюдянске. Вновь строится большая слюдяная фабрика в Иркутске.

Мамская слюда обладает необыкновенной величиной своих листов, достигающих 0,5 м в диаметре.

Нерчинский район и Забайкалье отличается богатством месторождений *цветных камней*: топазов, аметистов, алмазинов, которые давно уже разрабатываются и известны под именем сибирских камней (см. карту, рис. 216).

В Нерчинском же районе найдены крупные залежи *киновари*. Аспагатское месторождение *асбеста*, расположенное в пределах Бурят-Монгольской республики, обладает исключительным по длине волокна асбестом, имеющим экспортное значение.

Кроме того Забайкалье обладает месторождениями *молибденового блеска*, из которого добывается металл молибден, идущий для специальных сортов стали, а также крупными *вольфрамовыми* месторождениями (рис. 217), имеющими подосащенное значение для производства инструментальной стали. Вольфрамовой промышленности Забайкалья предвещает большое будущее, так как этот металл нужен не только внутри страны, но несомненно найдет доступ и на внешние рынки.

Плавиковый шпат здесь залегает мощными жилами, выходя прямо на поверхность. Месторождение разрабатывается для нужд стекольно-керамической промышленности и для нового уральского завода фтористых продуктов.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ КРАЙ

Центральная часть Дальневосточного края представляет горную страну с хребтами Алдандским и Джугджур, сложенными из порфира и порфирита, которые к юго-западу (по течению Ман) сменяются нижнепалеозойскими известняками, песчаниками, кварцитами и кремнистыми сланцами. Становой хребет, тянущийся к северу и северо-востоку, сложен главным образом из гранитов, реже гнейсов и кристаллических сланцев. Анадырский хребет сложен из андезитов (карта, рис. 211).

К югу от Станового хребта, по направлению к Зее протягивается размытое плато, горная часть которого сложена гнейсами, кристаллическими сланцами и гранитами. Верхнезейская равнина почти сплошь занята неочано-глинистыми, галечниковыми отложениями (послетретичными). К северу от этой долины тянется высокая горная группа (порфиры, порфириты и их туфы).

По левому берегу Амура лежит хребет Малый Хинган, сложенный гранитами, гнейсами, метаморфическими палеозойскими сланцами, порфирами, диабазами и базальтами.

Высшей точкой Чукотского полуострова является сопка Матачингай (2700 м), сложенная преимущественно из андезита; к югу от этой горы тянется ряд хребтов; из них Разрыткин хребет сложен третичными породами, прорванными базальтом.

Высокий хребет, тянущийся по всей центральной части Камчатки, сложен главным образом из глинистых, отчасти кристаллических сланцев

ОТ ГРИНВИЧА

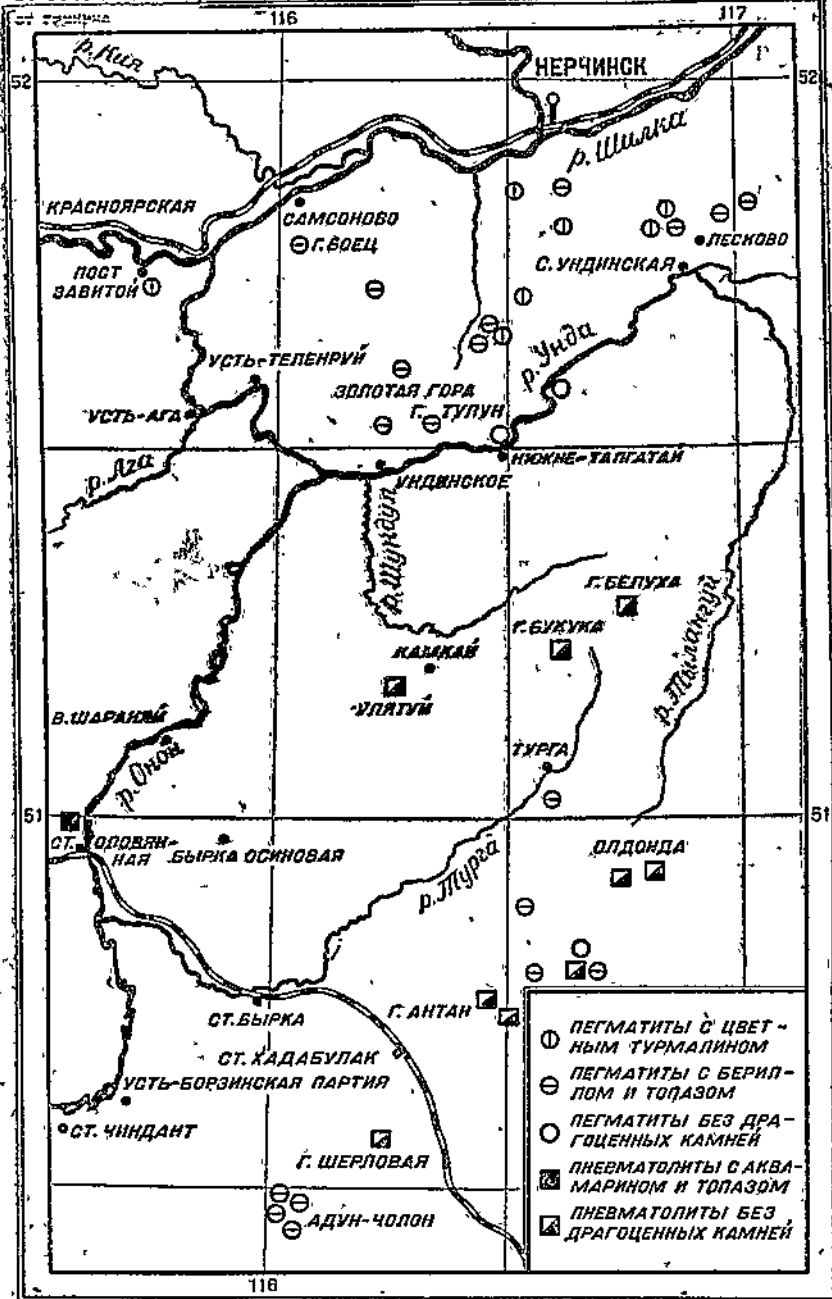


Рис. 216. Карта месторождений цветных камней в Вост. Забайкалье (по А. Е. Ферману).

и гранитов. Здесь же на Камчатке находятся самые высокие в Старом свете вулканы (единственно действующие на территории СССР) — вулкан Шивелуч (3 220 м), Ключевская сопка (4 916 м), Авачинская сопка (2 590 м) и целый ряд потухших и небольших вулканов.

На юге Камчатки расположена Коптелова сопка (2 400 м), которая находится в состоянии фумаролы, выделяющей пар, кипящую воду и сернистый газ.

Камчатка богата месторождениями угля и нефти, еще мало обследованными; обнаружены также сера, золото, медь, железо.

Горные богатства Приморья слабо использованы. Большое значение в горной промышленности для всего Союза может иметь разработка

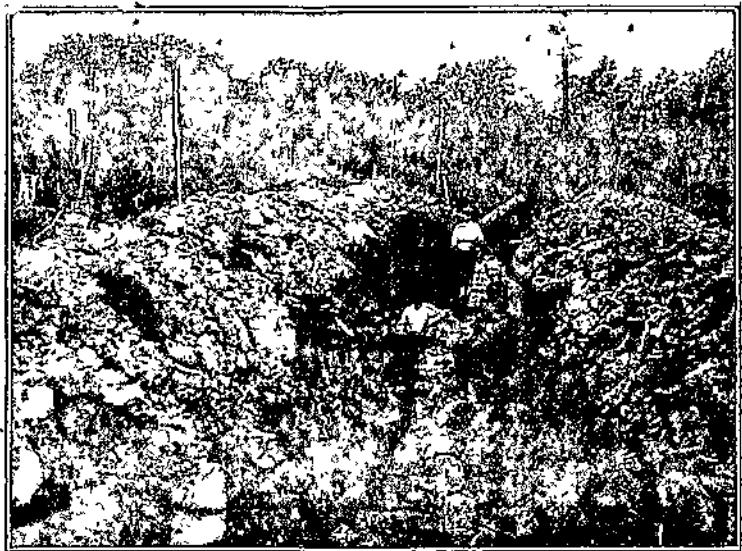


Рис. 217.

месторождений свинцово-серебряных и цинковых руд, расположенных по р. Тетюхе в 40 км от моря и в 484 км от Владивостока и занимающих пространство в 138 170 га. Руда в Тетюхе разрабатывалась немецким обществом, которым с 1907 по 1918 г. добыто около 500 000 т руды, что составляет 19% всего разведанного запаса, равного 2 млн. т. Месторождения разрабатываются. Недавно открыто месторождение графита у с. Союзного между Благовещенском и Хабаровском по р. Амуру. Месторождение состоит из мощных толщ графитосодержащих сланцев с содержанием графита до 16%. Геологические запасы ориентировочно исчислены в 500 млн. т, т. е. месторождение — мирового значения.

Каменный уголь. Дальневосточный край обладает почти всеми видами ископаемых углей. Бурые угли, как дешовое и малозольное топливо, имеют местное значение и главным образом потребляются транспортом. Всего имеется разведанных запасов не менее 2 млрд. т. Наибольшие запасы антрацитовых и коксовых углей имеются в Сучан-

ском месторождении. Запасы эти оцениваются цифрой в 23 млн. метр. т. Эти угли вследствие их хорошего качества могли бы экспортироваться за границу (в Китай и Японию).

Железные руды крупного значения, в виде магнитного железняка, расположены в так называемом Ольгинском месторождении, в 150 км от Владивостока, и могут в будущем служить центром железной промышленности.

Открытые до сих пор запасы минеральных богатств Приморской обл. оцениваются следующими цифрами: каменные и бурые угли—3 млрд. т; железные руды—10 млн. т. При этом геологически изучено лишь 47% площади без Камчатки. На Камчатке же изучено лишь 10% всей площади. Таким образом край таит в себе еще очень большие возможности.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ГЕНЕЗИС МИНЕРАЛОВ

КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ГРУПП

Генезис минералов основывается на изучении минерала не столько самого по себе, сколько в его естественном соотношении с тем участком земной коры, где он образовался. Поэтому изучение минерала неразрывно связано с изучением его месторождений. На первом месте стоят вопросы *классификации месторождений* минералов.

Здесь долгое время господствовали классификации на основании *формы* месторождений. Немецкая школа до сих пор еще придерживается смешанного типа классификации — частью по генезису, частью по форме (Бак, Бейнлаг, Круш и др.). Классификация же на основании генезиса выработана американской школой и конечно является единственно отвечающей целям научного исследования.

Автору приходится ранее указывать, что в минералогии *необходимо в ближайшее время переход на классификацию по генезису*¹. Поэтому мы приведем здесь только классификаций авторов, стоящих на генетическом основе. По этой же основе построено все дальнейшее изложение.

Прежде всего надо отметить очень простую, но недетализированную классификацию Ван Ниса (Van Hise), который делит все месторождения на следующие группы:

А. Осадочные:

- а) Химические осадки;
- б) Механические концентраты

В. Изверженные:

- а) Магматические выделения

С. Метаморфические:

- а) Отложенные из газообразного раствора
- б) Отложенные из водного раствора

- 1. Остаточные отложения (residual, элювиальные)
- 2. Отложения потоков
- 3. Прибрежные (beach) отложения
- 1. Восходящими водами
- 2. Нисходящими водами
- 3. Восходящими и нисходящими водами

¹ Н. М. Федоровский, Генетическая минералогия. Петроград 1920. 90. Его же. Генезис минералов, Москва 1923. Стр. 200.

Очень хорошо разработана классификация рудных месторождений Видом (Weed). Ввиду ее большого интереса приведем эту классификацию полностью, цитируя по К. Богдановичу¹.

I. Изверженные (магматические выделения — segregation):

A. Кислые:

- a) Штокобразные (masses) — аллитовые — Эранберг, Шарташ.
- b) Дейки (dikes) березита или аплита — Берзозовское.
- c) Кварцевые жилы — Аляска, Рендсбург (Калифорния), Блэкхилльс (Дакота).

B. Основные:

- a) Периферические толщи (штокообразные).

Медь.

Железо.

Никель.

- b) Дейки — титанистый железняк — Адейрондейк, Вайоминг.

II. Эманиционные от изверженных пород. Отложения, образованные газами выше или близко к критической температуре, т. е. 365° Ц и 200 ат для H_2O .

A. Контактowo-метаморфитические месторождения характеризуются породами, заключающими существенно гранат, эцидол, актинолит, кальцит и другие известково-глиноземистые силикаты.

- a) Месторождения, прилегающие к контактам:

1. Месторождения магнитного железняка.

2. Месторождения медного колчедана, тип Христианин.

3. Золоторудные, тип Баннока в Монтана.

- b) Месторождения проникновены (импрегнации) и замещения слоев в контактовом поясе:

1. Месторождения медного колчедана: a) с магнитным колчеданом, b) с магнетитом, тип Сапатеа (Сонора в Мексике).

2. Теллуристого золота, тип Эльдорт (Монтана).

3. Мышьяково-колчеданных руд, тип Similkameen (в Британской Колумбии).

B. Жильные, тесно связанные с магматическими жилами и месторождения VI группы. (Пневматические жилы).

- a) Оловянного камня — Корнуэльс.

- b) Турмалиново-медные — Сонора (Мексика).

- c) Турмалиново-золотосодержащие, — Елена в Монтана, Ми-нас-Жераз и др.

- d) Авгитово-медные и др. — Тоскана.

III. Отложения из Фумарол.

Металлические окислы и т. д. в трещинах лав. Промышленного значения не имеют.

Медь.

Железо и т. д.

IV. Газо-водные (пневмато-гидратогеновые) месторождения. Эманации от изверженных пород; первичная вода смешивается с грунтовой водой (вадозной).

A. Месторождения выполнения (filling deposits):

- a) Жилы в трещинах.
- b) Вырастания в пористых горных породах.
- ю) Как цемент брекчий.

B. Месторождения замещения (replacement deposits):

- a) Пропилитовые — Комстон.
- b) Серицитово-каолиновые.
Кальцитовые.
Медно-серебряные.
Серебро-свинцовые — Клаусталь.
- c) Кремнеземо-доломитовые, серебро-свинцовые — Аспен (Колорадо).
- d) Кремнеземо-малитовые — месторождения кинговари.
- e) Сидеритово-серебро-свинцовые — Идахо, Британ. Колумбия.
- f) Биотитовые золото-медные — Россланд, Британ. Колумбия.
- g) Плавиково-шпатовые теллуристо-золоторудные — Кришль-Крик (Колорадо).
- h) Цеолитовые.

Структурные типы месторождений этой же группы:

- a) Жилы выполнения настоящих трещин.
- b) Вулканическая инъекция (Volc. Shoks) — Нагнал, Кришль-Крик.
- ю) Контактные столбы (Chimneys) — Judith (Монтана).
- d) Метасоматические жилы (замещения и проникновения).
- e) Штокообразные массы в контактах (Leadville).
- f) В осевых линиях складок: синклинальные, антиклинальные, седловидные — Бендиго, Эльгори.

V. Месторождения от действия метеорной воды. Происхождения с поверхности.

A. Подземные:

- a) Жилы.
- b) Замещения:
Железных руд — Мичиган.
Медных руд — Мичиган.
Свинца.
Цинка.
- ю) Элювиальные (остаточные — residual):
Железная шпала (gossan).
Месторождения марганца.

B. Поверхностные (superficial):

- a) Химические:
Болотные и озерные железные руды.
Медные руды.
Бобовые руды (отложения источников).
- b) Механические:
Россыли золота.

Россыпи оловянного камня.

Осадочного происхождения слои железных руд и т. д.

Приведенная классификация, отличается подробной характеристикой отдельных генетических групп с указанием характерных месторождений для каждой группы.

Еще ближе к разрешению проблемы чисто генетической классификации минералов подходит Линдгрен в его курсе «Месторождения минералов»¹. Линдгрен указывает также температурные условия и давления для каждого обособленного цикла явлений.

Схема Линдгрена:

I. Месторождения, образованные механическими процессами концентрации. (Температура и давление умеренны.)

II. Месторождения, образованные химическими процессами концентрации. (Температура и давление варьируют в широких границах.)

A. Месторождения водных бассейнов и теплых поверхностных вод:

1. Путем обменного разложения растворов:

a) Реакций неорганического характера	} Температура от 0 до 70° Ц. Давление от умеренного до сильного
b) Реакция органического характера	

2. Через вытравление растворов.

B. Месторождения в твердых горных породах:

1. Через концентрацию вещества, которое само находится в данной породе:

a) Концентрация через поверхностное разрушение и выветривание горных пород	} Температура от 0 до 100° Ц. Давление умеренное
b) Концентрация через циркулирующие в глубине подземные воды	
c) Концентрация через динамический и региональный метаморфизм	} Температура около 400° Ц. Давление высокое
d) Процессы образования цеолитов в поверхностных лавах	

2. Концентрация через принесение вещества извне:

a) Образования, независимые от действия магмы:	} Температура до 100° Ц. Давление умеренное
Через циркуляцию атмосферной воды вблизи поверхности или на средней глубине	

¹ W. Lindgren, prof. „Mineral deposits“, N.-Y. 1928.

б) Образования, связанные с изверженными породами:

а. *Через поднимающиеся горячие воды неизвестного происхождения, насыщенные магматической эманацией:*

1. Месторождения, концентрирующиеся на небольшой глубине	{	Температура от 50 до 150° Ц.
		Давление умеренное
2. Месторождения, концентрированные на средней глубине	{	Температура от 150 до 300° Ц.
		Давление высокое.
3. Месторождения, концентрированные на большой глубине	{	Температура от 300 до 500° Ц.
		Давление очень высокое

б. *Через прямое действие магматической эманации:*

1. Интрузия магмы. Контактные месторождения и подобные жилы	{	Температура вероятная от 300 до 800° Ц.
		Давление очень высокое
2. Явления эффузии. Возгонки, фумаролы	{	Температура от 100 до 400° Ц.
		Давление от атмосферного до умеренного

с. Месторождения, образованные дифференциацией магмы:

а) Магматические выделения в собственном смысле	{	Температура от 700 до 1500° Ц.
		Давление очень высокое
б) Пегматиты	{	Температура около 575° Ц.
		Давление очень высокое

Значительно ближе к нашим воззрениям стоит классификация, разработанная Эммонсом (Emmons). Она выражена им в виде схемы, которую мы и приводим целиком на стр. 316.

Эта схема представляет большой шаг вперед, так как здесь уже учтен динамометаморфизм как *отдельный процесс* и вообще есть попытка представить некоторые группы как непрерывные процессы.

Классификация, предлагаемая нами, имеет в основе, с одной стороны, зональность земной коры в смысле протекающих в ней минералообразующих процессов, с другой стороны, рассматривает каждую группировку как циклическую. Подробно эти принципы развиты в следующей главе. Основные группировки нашей классификации следующие.

I. Зона магмы

1. Магматические выделения:

а) В кислых породах б) В основных породах

2. Минералы вулканов

3. Пегматитовые жилы

II. Зона выветривания (катаморфизма)

1. Минералы процессов механического выветривания

2. Минералы процессов „химического выветривания“

а) Процессы каолинизации,

4. Жильные месторождения, связанные с зоной магмы:

а) Жилы глубинные б) Средние жилы в) Поверхностные жилы

5. Минералы процесса контактового метаморфизма

6. Минералы процессов динамометаморфизма

а) Минералы сланцев б) Минералы кварцитов в) Минералы метаморфизованных известняков и доломитов.

окисления, гидратации и карбонизации б) Отложение водных растворов (обменное разложение холодных растворов) в) Минералы морских бассейнов и озер

3. Минералы — как продукты жизнедеятельности организмов (биолиты)

III. Зона анаморфизма

1. Минералы процессов контактового метаморфизма

2. Минералы процессов динамометаморфизма

а) Минералы сланцев б) Минералы кварцитов в) Минералы метаморфизованных известняков и доломитов.

4. ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

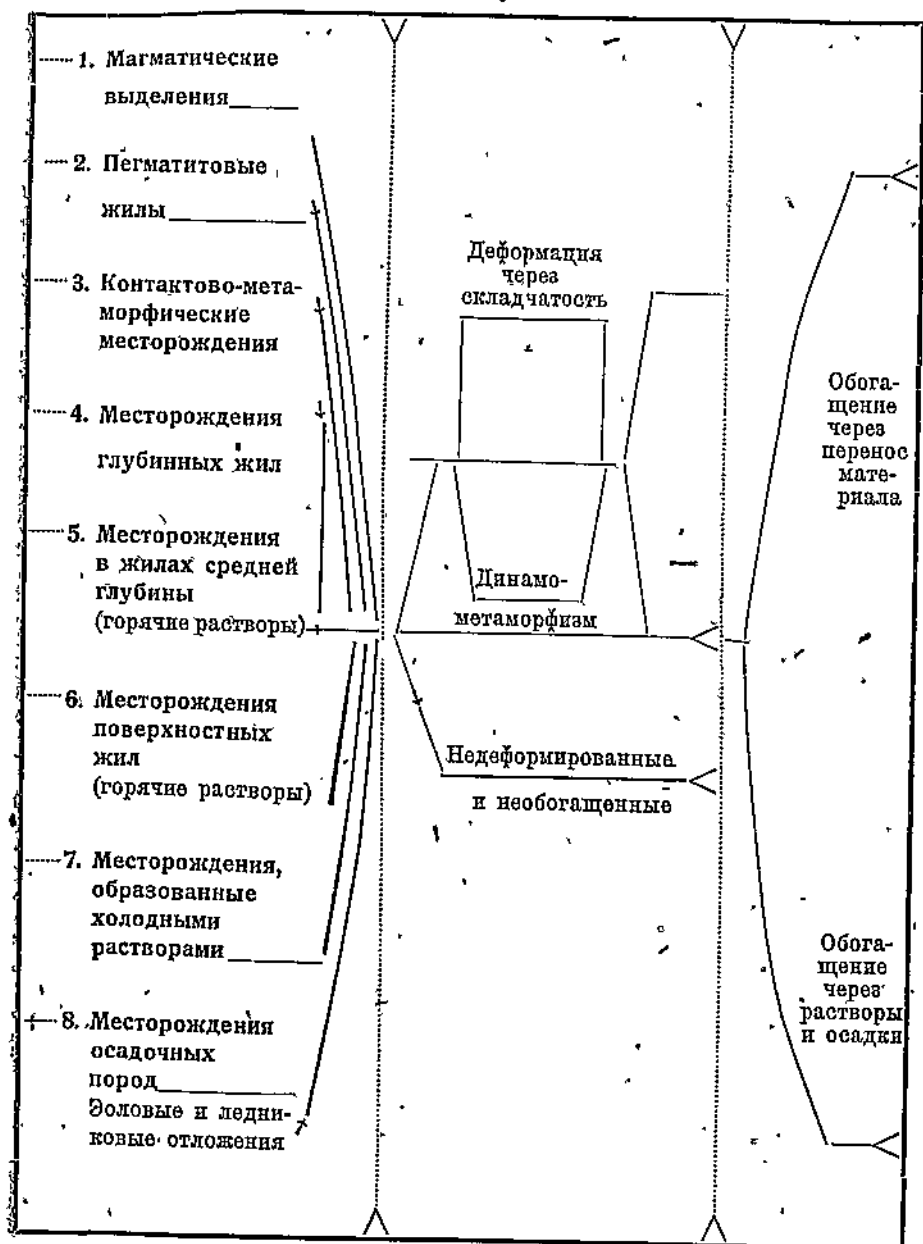
1. I. D. Dana, A system of mineralogy, New York, 1892, с прибавлениями от 1899 и 1909 гг.
2. W. H. Emmons, A genetic classification of minerals, "Econ. Geology" 3, 1908.
3. К. И. Богданович, Рудные месторождения, т. I, 1912, со списком литературы по рудным месторождениям до 1911 г.
4. G. Tschermak — F. Becke, Lehrbuch der Mineralogie, Wien und Leipzig, 1915.
5. W. Lindgren, Mineral deposits, New York, 1928.
6. W. H. Emmons, The principles of economic geology, New York, 1921.
7. E. S. Dana, Textbook of mineralogy, последнее издание 1921 г.
8. H. Schneiderhöhn, Die Grundlagen einer genetischen Systematik der Mineralagerstätten, "Neues Jahrbuch" I, 1921.
9. В. А. Обручев, К классификации месторождений, "Вестник Московского горного академии" № 1, 1922.
10. P. Niggli, Versuch einer natürlichen Klassifikation der im weiteren Sinne magmatischen Erzlagerstätten, Abhandl. zur praktischen Geologie, Bd. I, 1925.
11. А. Заварицкий, О классификации магматических месторождений, Изв. Геол. ком., 1926, XLV, № 2, стр. 67.
12. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Опыт классификации магматических рудных и иных минеральных месторождений, доклад Акад. наук СССР, 1927, стр. 179—181.
13. W. Lindgren and I. Spurr, Magmas, dikes, veins, "Eng. Min. Journ.", т. CXXII, 1926.

ЗЕМНАЯ КОРА

Земная кора состоит из трех частей: твердой части, или литосферы, жидкой, или гидросферы, и газообразной — атмосферы. Минералогия изучает главным образом литосферу, причем глубина этой твердой оболочки земного шара, доступная для изучения, не превышает 20 км.

По Кларку (Clarke), 95% земной коры составляют изверженные горные породы, т. е. застывшая магма, выпедшая из расплавленного ядра нашей планеты. Типичным представителем таких пород будет охладевший на большой глубине гранит или застывшая на поверхности земли лава. Изверженные горные породы не представляют химические

**Схема, иллюстрирующая различные роды месторождений
и их взаимную связь**



+ К океану

+ Материал, происходящий путем обогащения из старых месторождений.

однородную массу, а состоят из смеси различных химических соединений, называемых минералами. Также и здесь Кларк произвел интересные вычисления и нашел для среднего количества изверженных пород, сланцев и песчаников, следующие данные, из которых можно вывести расположенные в последнем ряду цифры для относительного распространения важнейших минералов (см. ниже таблицу).

Выходя на поверхность земли, изверженные горные породы разрушаются и образуют кору разрушенных пород, называемую осадочными породами. Таковы глины, песчаники и пр. Осадочные породы также состоят из различных минералов. Главными из этих минералов являются каолин и кварц. Наконец пласты осадочных пород, подвергнутые вновь действию горообразующих сил или высокой температуры, вырывающейся из недр земли магмы, превращаются в сланцы, кварциты и мрамора, называемые метаморфическими породами. В последнее время Дэли (Daly)¹ рассматривает земную кору как слоистую и состоящую из трех основных поясов.

Первый — прерывистый пояс осадочных пород.

Второй — непрерывный (?) гранитный пояс.

Третий пояс — базальтовый.

	В изверженных породах, %	В сланцах, %	В песчаниках, %	В известняках, %	Во всей литосфере, %
Кварц	12,0	22,3 ²	66,8	4,7	Кварц ³ 12,6
Полевой шпат	59,5	30,0	11,5	—	Ортоклаз 17,7
Слюда	3,8	—	—	—	Плагноклаз 40,2
Железо-магнезисилкаты	16,8	—	—	—	{ Слюда 3,6
Глина	—	25,0	6,6	2,1	{ FeMg силикаты . 3,6
Карбонаты	1,1	5,7	11,1	CaCO ₃ 75,9	Глина 1,1
Оксиды железа	3,9	5,6	1,8	MgCO ₃ 16,1	Кальцит 1,5
				0,5	Доломит ³ 0,1
					Магнетит + гематит ⁴ 3,7
					Лимонит + гидрогематит 0,2
Другие минералы	2,9	11,4	2,2	0,7	Принадлежащие изверженным породам 2,9
					Принадлежащие к осадочным породам 0,4

¹ Р. А. Дэйли. Магматические горные породы и их происхождение. Пер. А. И. Герасимова. Москва 1920.

² Кварц + халцедон + опал = свободная кремневая кислота.

³ Количество свободного MgCO₃ (магнезита) очень незначительно.

⁴ 0,9 количества Fe₂O₃ относится к магнетиту, 0,1 — к гематиту.

Ниже располагается базальтовая постель, еще настолько горячая и подвижная, чтобы при ослаблении давления быть в состоянии в жидком виде проникать в твердую кору.

Если рассматривать земную кору с точки зрения процессов образования и разрушения горных пород и минералов, то она в свою очередь может быть разделена на две основные области: 1) область магмы и 2) область метаморфизма. В свою очередь область метаморфизма может быть разделена на две зоны: 1) зону катаморфизма с поясом выветривания и поясом цементации (пояс действия водных растворов, связующих разрушенные породы) и 2) зону анаморфизма, или зону восстановления минералов, ту зону, где образуются сланцы и вновь создаются силикаты.

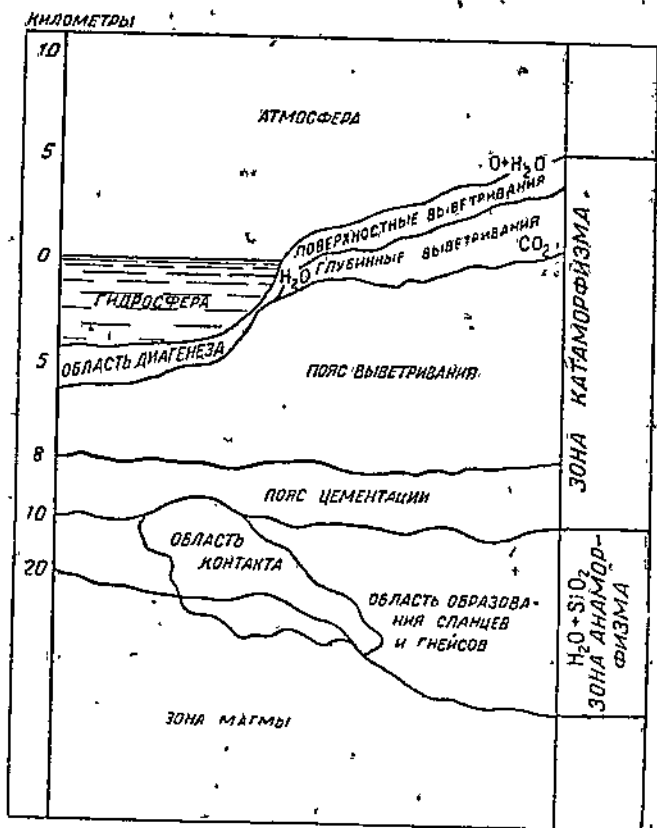


Рис. 218. Схема зон земной коры.

Рис. 218 представляет собой схематический разрез литосферы с подразделением ее на различные пояса. Глубина разреза дана в километрах.

Ван Гиз называет верхний слой литосферы зоной катаморфизма в силу того, что в этой области сложные соединения обнаруживают склонность к своему разложению на простейшие. Это — первый поверх-

ностный пояс, характеризующийся умеренной температурой и невысоким гидростатическим давлением. Химические реакции протекают в нем, с выделением тепла. Вновь образующиеся минералы обладают большим молекулярным объемом. (Молекулярный объем = $\frac{\text{молекулярный вес}}{\text{удельный вес}}$).

Важнейшие химические реакции — это окисление и образование гидратов. Этот пояс богат углеродом. Углекислота вытесняет из соединений кремнекислоту.

Ван Гиз различает в этой зоне два подотдела: 1) *пояс выветривания*, захватывающий менее мощный верхний слой до уровня почвенных вод, где достигают своего максимума процессы разрушения горных пород, окисление и образование карбонатов и гидратов; 2) *пояс цементации* непостоянной мощности — образование карбонатов и гидратов преобладает над процессами окисления. Растворенные в глубине и на поверхности вещества выделяются здесь из растворов и обуславливают цементацию и увеличение твердости и прочности пород. Это — в то же время зона сжатия, в которой развивается давление, способное в образовании складов достичь до чрезвычайных размеров.

За зоной разрушения следует зона воссоздания — *зона анаморфизма*. Резкой границы между ней и первой зоной не существует. Здесь создаются сложные силикаты. Простирается она до области магм. Температура здесь высокая и доходит до точки плавления. Гидростатическое давление очень велико. В этой зоне происходят реакции, обратные реакциям предыдущей. Углекислота вытесняется кремнекислотой. Наминается царство кремния и его соединений. Для явлений окисления не хватает необходимого кислорода: господствуют реакции восстановления; за исключением слюды все минералы здесь безводны. Тепловые явления меняют свой характер. Объемные реакции, большей частью протекают с выделением тепла, химические — с его поглощением. Преобладают первые и стремятся к уплотнению материи. Эта зона находится под высоким давлением. Обнажается она весьма редко.

Давление в пределах эластичности тел вызывает в них механические деформации, которые с прекращением давления снова исчезают. Деформации, переходящие границу эластичности, ведут обычно к нарушению цельности тела или к полному раздроблению его. Подобное явление в пределах литосферы происходит лишь на незначительной глубине. На большей же глубине под влиянием высокого давления возможна переформировка тел без нарушения их цельности, когда они приобретают свойства пластичных, тягучих масс. Пластичность зависит от высокого давления и высокой температуры. Наряду с механической переформировкой известны также и химические превращения под влиянием того же давления, которые совершаются путем перекристаллизации вещества, причем здесь большое значение имеют циркулирующие растворы. Увеличение давления способствует растворению, понижение давления способствует кристаллизации. Этому процессу новейшая петрография придает большое значение по отношению к вопросу об образовании структур кристаллических сланцев. В то время как явления вулканизма тесно связаны с областью разрушения земной коры, образование кристаллических сланцев есть следствие ее сжатия и стяжения.

По данным Кинга глубина, на которой возможно ожидать переход тел в пластическое состояние, определяется между 27—33 км.

Граница, с которой начинается *магматическая зона*, между 30 и 40 км глубины, намечается чисто гипотетически. Переход к этой зоне верхних слоев нерезкий, и они связываются посредством вязких образований. Температура зоны очень высока. Гидростатическое давление очень велико. Высокая температура и высокое давление определяют химическое равновесие взаимодействующих тел. Химия высокой температуры показала, что соединения в этой области совершенно иной природы, чем образующиеся при обыкновенных условиях. Так вообще химически бездеятельный азот обнаруживает здесь большую энергию к соединениям.

ХИМИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земная кора состоит из горных пород; горные породы состоят из минералов; минералы же состоят из элементов. Следовательно в конечном счете земная кора состоит из различных комбинаций 92 простых тел. Если свести данные всех известных анализов в один средний анализ, то химический состав земной коры выразится следующей таблицей,

Средний состав литосферы (по Кларку)

	Изверженные породы (95%)	Сланцы (4%)	Песчаники (0,75%)	Известняки (0,25%)	Среднее
SiO ₂	59,83	58,10	78,33	5,19	59,77
Al ₂ O ₃	15,02	15,40	4,77	0,81	14,89
Fe ₂ O ₃	2,62	4,02	1,07	0,54	2,69
FeO	3,43	2,45	0,80	—	3,39
MgO	3,74	2,44	1,16	7,89	3,74
CaO	4,83	3,11	5,50	42,57	4,86
Na ₂ O	3,37	1,30	0,45	0,05	3,25
K ₂ O	3,05	3,24	1,31	0,33	2,98
H ₂ O	1,90	5,00	1,63	0,77	2,02
TiO ₂	0,79	0,65	0,25	0,05	0,77
ZrO ₂	0,025	—	—	—	0,02
CO ₂	0,49	2,63	5,03	41,34	0,70
P ₂ O ₅	0,29	0,17	0,08	0,04	0,28
S	0,10	—	—	0,09	0,10
SO ₃	—	0,64	0,07	0,05	0,03
Cl	0,63	—	—	0,02	0,06
F	0,10	—	—	—	0,09
BaO	0,10	0,05	0,05	—	0,09
SrO	0,043	—	—	—	0,04
MnO	0,10	—	—	0,05	0,09
NiO	0,026	—	—	—	0,025
Cr ₂ O ₃	0,048	—	—	—	0,05
V ₂ O ₃	0,026	—	—	—	0,025
Li ₂ O	0,011	—	—	—	0,01
C	—	0,80	—	—	0,03
	100,000	100,00	100,00	100,00	100,000

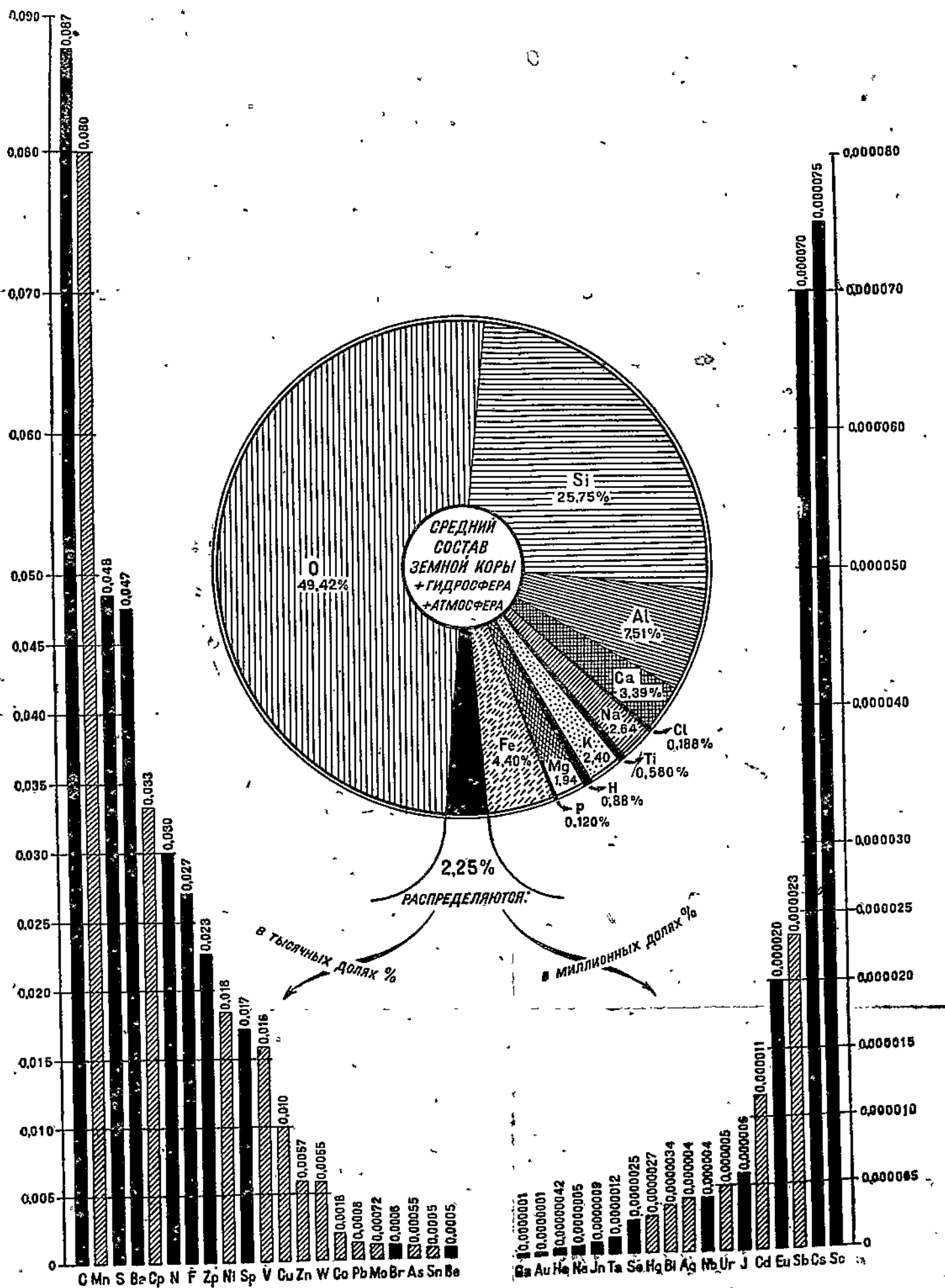


Рис. 219. Распространение химических элементов в земной коре.

Если же перечислить анализы на элементы, то состав земной коры выразится следующей таблицей (рис. 220).

Сравнивая относительное распространение одного элемента сравнительно с другим, получим (приблизительно):

Серы в 450 раз менее в земной коре, чем кислорода.

Титан в 65 раз менее распространен, чем кремний.

1 фтор : 1 хлор : 250 хлор : бром : 0,1 вод.

500 натрий : 500 калий : 1 литий : 0,5 рубидий.

400 кальций : 1 барий : 0,33 стронций.

1 марганец : 60 железо.

1 хром : 250 железо.

1 никель : 500 железо.

1 олово : 60 000 кремний.

1 серебро : 100 медь или 200 свинец.

1 золото : 25—100 серебро.

1 кадмий : 500—1 000 цинк.

1 радий : 3 000 000 уран.

Распределение элементов, отнесенное к группам горных пород основных и кислых, дает следующую картину.¹

В кислых породах концентрируются главным образом:

Кремний, щелочные металлы — особенно калий и литий

Бериллий

Бор, иттро-церовая группа

Олово, торий, цирконий

Тантал, ниобий

Фтор

Вольфрам и уран (с радием)

Молибден

В основных породах концентрируются главным образом:

Щелочно-земельные металлы, причем барий и стронций менее, чем другие

Магний

Алюминий (в средней степени)

Титан

Фосфор, ванадий

Сера, хлор

Хром (в значительной степени)

Железо и марганец

Никель и кобальт (менее)

Металлы платиновой группы

Всех элементов, составляющих земную кору, около 80, но, как видно из таблицы, 90% земной коры составляют лишь 14 элементами. Земную кору составляют главным образом кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, магний, натрий, калий, водород, титан и углерод. Рассмотрим основные элементы с точки зрения минералогии, группируя их химические свойства в применении к условиям химической жизни земной коры.

Кислород, О. Ат. вес 16. Содержание в земной коре почти 50%.

Кислород при обычной температуре есть газ очень устойчивый, мало растворимый в воде и слабо соединяющийся с другими элементами. Однако, хотя и медленно, кислород вступает в соединения. Так

¹ Leuschlag, P. Krusch und I. H. L. Vogt. Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine nach Form, Inhalt und Entstehung I. B. Stuttgart, 1914.

железо окисляется и в воздухе, т. е. соединяется с кислородом, как говорят химики, окисляется. Кислород, входя в состав воды, H_2O , и уголекислоты, CO_2 , является в форме этих двух распространеннейших в поверхностной зоне земной коры соединений очень деятельным агентом разрушения и образования минералов. Но никакой другой элемент не может сравниться с кислородом по энергии при высокой температуре. Вспомним опыты по химии — горение магния или сжигание стальной проволоки в кислороде. Отсюда нам ясна колоссальная роль кислорода в образовании минералов при застывании расплавленных магм. Почти все минералы, входящие в состав изверженных горных пород, гранитов, диоритов, диабазов и пр., являются соединениями натрия, магния, кальция, кремния и алюминия с кислородом.

Расплавленная магма поглощает кислород, главным образом разлагая пары воды, H_2O , содержащиеся в лавовых потоках. Водяной пар есть существеннейшая часть всякого вулканического извержения.

Кислород входит в состав воды и воздуха, тем и объясняется его большое содержание в земной коре. Вода играет колоссальную роль при минералообразовании. Различают ювенильную, или девственную, воду, рождающуюся в глубине земной коры при застывании магмы. В каком виде находятся там пары воды, под громадным давлением и под влиянием высокой температуры, нам неизвестно. Но в результате мы имеем ювенильные воды как энергичнейший растворитель металлов, выносящий их в трещины земной коры, где они выпадают в виде рудных минералов. Конечно к этим насыщенным и стуженым парам только формально можно приложить термин «вода». Только в самых поверхностных областях земной коры ювенильные воды, уже освободившись в значительной мере от тяжелых металлов, являются нам в виде горячих источников¹.

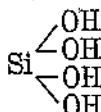
Другая форма, в которой вода служит минералообразующей средой, — это падающая в виде осадков так называемая метеорная вода и наполнение ею морские бассейны. Метеорная вода дает начало так называемым холодным растворам, несущим в себе уголекислый кальций и другие минеральные соли. Подробней о воде, как геологическом деятеле, мы скажем при описании водорода.

Кремний, Si. Кремний четырехатомен (SiO_2), так же как и углерод. Ат. вес 28,3. Содержание в земной коре 26%. При обычной температуре кремний — твердое кристаллическое тело с температурой плавления 1413° и плотностью 2,4.

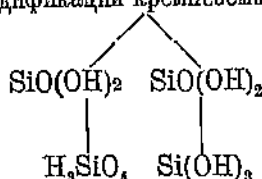
При высоких температурах магматических процессов и при участии паров воды кремний образует ряд минералов, составляющих основные горные породы. Наиболее устойчивое — это соединение кремния с кислородом, SiO_2 в виде минерала кварца. Вообще насколько кремний малодейтелен при обычных температурах, настолько он энергичен при кристаллизации магмы и вместе с алюминием и щелочными металлами образует полевые шпаты, слюды, авгиты и другие порообразующие минералы.

¹ См. подробнее: E. Süss. Das Antlitz der Erde. Wien. B. 3. 2-te Hälfte 1909. K. A. Daly, Genetic classification of underground volatile agents. „Ec. geol.“ U. 12. 1917.

В условиях химической жизни земной поверхности кремний тоже играет заметную роль. Но здесь он является в форме так называемого растворимого кремнезема, H_4SiO_4 , или:



Эта форма кремневой кислоты чрезвычайно неустойчива, быстро переходит в другие сложные формы, например в форму студенистого кремнезема. Формулы модификаций кремнезема очень сложные, например:



Растворимый кремнезем циркулирует в реках, источниках, подземных водах, собирается в морях, где усваивается морскими микроорганизмами, и, переходя в нерастворимую форму, скопляется потом в виде огромных залежей скорлупок, водорослей и животных. Некоторые горные породы, как трепел, горная мука, состоят из скопления кремнистых скелетов диатомей и радиолярий.

Реакции с растворимым кремнеземом особенно хорошо протекают при температуре горячих источников, почему горячие ключи и гейзеры служат источниками новообразования кремнистых минералов.

Схема распространения кремния в земной коре:

Зона магмы. Кварц, SiO_2 . Силикаты.

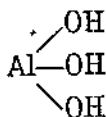
Зона анаморфизма. Кварц. Силикаты.

Пояс выветривания. Кварцевые пески.

Водные растворы. Растворимый кремнезем.

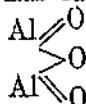
Морские бассейны. Растворимый кремнезем и кремнистые остатки водорослей и организмов.

Алюминий, Al. Ат. вес 27. Алюминий трехатомен.



В чистом виде — металл белого, серебристого цвета. Очень легкий. Уд. вес всего 2,67, т. е. в четыре раза легче серебра. Содержание в земной коре около 8%.

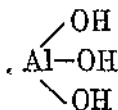
На воздухе не окисляется и при обыкновенной температуре очень устойчивый элемент, но, будучи сильно накалиен, сгорает и окись уже на воздухе. Отсюда ясна его роль при образовании горных пород. Жадно поглощая кислород, он или застывает в виде



минерала корунда, который так часто вростает боченнообразными кристаллами в гранит, или совместно с кремнием дает так называемые алюмосиликаты — полевшаты, слюды и т. д., составляющие $\frac{2}{3}$ по весу земной коры.

При разложении полевых шпатов и других алюмосиликатов получаются глины — смесь каолина с окислами железа, кварцевым песком и другими механическими подмесьями.

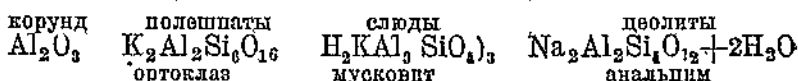
Многие соли алюминия разлагаются водой, образуя гидрат:



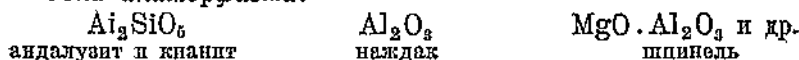
Гидраты алюминия при температуре жаркого климата и при влиянии различных микроорганизмов образуют алюминиевые минералы, как например боксит. В обычных же условиях из водных растворов отлагаются натечные корки гидрата, Al_2O_3 .

Схема распространения алюминия в земной коре:

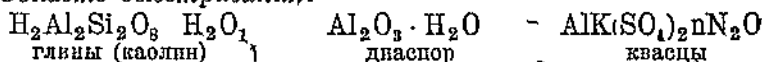
Зона магмы:



Зона анаморфизма:

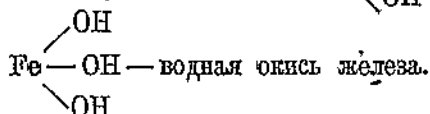


Область выветривания:

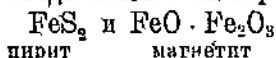


Железо, Fe. Ат. вес 55,9. Содержание в земной коре 4,2% — уд. вес 7,84. Температура плавления 1555°. Железо двух- и трехвалентно

и образует соли закиси: $\text{Fe} \begin{array}{c} \text{OH} \\ \diagup \\ \text{OH} \end{array}$ — водная закись железа, и соли окиси:



В чистом виде железо встречается в метеоритах, обычно в смеси с никелем. В земной коре самородное железо очень редко. Встречается в базальтах в виде включений. При обыкновенной температуре железо ржавеет, т. е. покрывается слоем водных окислов железа. Кислоты, даже слабые, быстро реагируют с железом, поэтому самородное железо чрезвычайно редко встречается в природе. В глубине, при высокой температуре, железо жадно соединяется с кислородом и с серой, образуя:



На поверхности железо, получающееся при окислении колчеданов, уносится водами из мест их разложения в виде купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, который затем вступает в реакцию с углекислыми солями и в большом количестве содержится в воде источников в виде $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

Железо усваивается организмами. Есть специальные «железо-бактерии», живущие в болотах, в морских и озерных бассейнах и дающие начало залежам бобовой болотной железной руды.

В виде солей закиси — хлористых, сернистых, углекислых — железо глубоко проникает и разносится в земной коре; в присутствии же кислорода из этих растворов отлагаются соли окиси — бурые железняки, имеющие чрезвычайно широкое распространение на земной поверхности.

Схема циркуляции железа в земной коре:

Зона магмы: FeS_2 (пирит), Fe_2O_3 (гематит), $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (магнетит)

Осадочные породы. Железные соединения $\pm \text{O}$ (кислород) $\pm \text{H}_2\text{O}$ (вода) $\pm \text{CO}_2$ (углекислота) дают растворы:

FeSO_4 (купорос) и $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ (кислое углекислое железо).

Выпадают из растворов:

$3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (лимонит), FeCO_3 (сидерит), Fe_2O (вторичный гематит)

Зона анаморфизма. Из лимонитов и сидерита восстанавливаются вновь:

Fe_2O_3 (гематит) и $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (магнетит)

Кальций, Са. Ат. вес 40. Содержание в земной коре 3,35%. Легкий металл уд. веса 1,58. На воздухе быстро окисляется, легко реагирует даже со слабыми кислотами, почему никогда не встречается в самородном состоянии. Кальций двухатомен; соединяясь с кислородом, дает окись кальция. Кальций входит в состав многих породообразующих минералов — полевых шпатов, роговых обманок и пр. Таким образом в магмах Са является деятельным элементом, дающим с другими элементами, как-то: Mg, Al, Si и Fe, кислородные соединения в виде различных минералов.

Кальций легко выпадает из водными из его соединений. Особенно легко соли кальция уносятся водами, содержащими углекислоту, CO_2 . 1000 ч. воды, насыщенной углекислотой, растворяют 3 ч. CaCO_3 , причем в растворе образуется кислая соль: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Кальций из этой кислой соли усваивается животными и растениями. В морях, куда попадают в конце концов растворы с $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, морские организмы усваивают его в виде CaCO_3 , который образует скелет и покровы этих организмов. Эти низшие животные, как-то: моллюски, кораллы и пр., размножаются с колоссальной быстротой. Они быстро умирают, и мириады ракушек падают на дно, образуя залежки в сотни метров.

Большинство известняков состоит из остатков морских организмов. Вода, циркулирующая по известняку, насыщена углекислым кальцием, который выделяется ею в трещинах и пустотах; таким образом Са в виде натечных форм CaCO_3 или в виде мелкокристаллического цемента-коралл характерен для поверхностных слоев земной коры.

Процессы динамометаморфизма превращают известняки в мрамор. Мрамор образуется также от действия магмы на известняки при контактовом метаморфизме.

Схема циркуляции Са в земной коре:

Зона магмы. Рогообманки, авгиты, известково-натровые шпаты (СаО входит от 6 до 30%) и др.

Водные растворы в виде Са $\begin{cases} \text{ОН} \\ \text{ОН} \end{cases}$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 и CaCO_3 .

Отложения. Жилы кальцита, патеки в виде CaCO_3 . Гипсы — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Осадочные породы. Скопления известняка, мела, раковины и скелеты микроорганизмов и мрамора состава CaCO_3 . Ангидрит и алебастр CaSO_4 .

Зона анаморфизма. Мрамор.

Магний, Mg. Ат. вес 24,3. Распространение в земной коре 2;35%. Очень легкий металл. Плавится при 800°. Может гореть уже в воздухе, образуя белую окись магния, MgO . Легко растворяется в слабых кислотах и окисляется на воздухе, почему и не встречается в самородном состоянии. По реакциям магний близок к кальцию: так же, как и он, жадно соединяется с кислородом, кремнием и алюминием в расплавленных магмах и дает магниезальные минералы, из которых важнейшие — слюда, биотит, оливин, амфиболы, пироксены. Из этих магниезальных минералов магний, как и кальций, легко выщелачивается, водами, особенно содержащими кислоты (угольная кислота). Выщелоченный водой магний скопляется в морской воде, где содержание магниезальных солей доходит до 10%.

Магний очень легко образует с кальцием двойную углекислую соль, CaMgC_2O_6 , что соответствует 54,2% CaCO_3 и 45,8% MgCO_3 , называемую доломитом.

Доломит образовался главным образом действием магниезальных растворов на известняки. По мере растворения углекислой извести происходит обогащение породы углекислым магнием.

Схема распространения Mg в земной коре:

Зона магмы:

Mg_2SiO_4 ; MgSiO_3 ; $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3 + n$; $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3 + n$; $\text{H}_2\text{Mg}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}$
оливин энстатит пироксены амфиболы магниезальные слюды

Пояс выветривания: $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{H}_4\text{O}_9$
серпентины

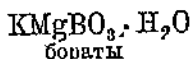
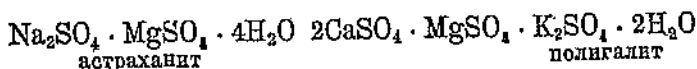
Водные растворы: MgCl_2 ; MgSO_4 ; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
растворимые соли

частью:

MgCO_3 ; MgCaC_2O_6
магнезиты доломиты

Морские лиманы. Озерные воды. Отлагаются:

$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
карналиты эпсомит каннит



Натрий, Na. Ат. вес 23. Уд. вес 0,98. Плавится около 95°. Содержание в земной коре 2,40/о. Натрий одноатомен, легко и быстро образует со слабыми кислотами соли, а с водой щелочь, NaOH. Все соли натрия — NaCl, Na₂CO₃, NaNO₃, Na₂SO₄ и т. п. — легко растворимы в воде. В магмах Na входит в соединения с кислородом, кремнием и алюминием и образует ряд натровых алюмосиликатов — элеолит, полевшпаты альбит, плагиоклазы и др.

Натрий из этих минералов легко выщелачивается водами и уносится ими в океан. Натрий имеет большое сходство с хлором и дает с ним хлористый натр, известный в обиходе под именем поваренной соли. Это легко растворимое в воде соединение чрезвычайно прочно и скопляется в морях в огромном количестве.

Морская вода содержит Na в виде NaCl в количестве до 30/о. Кроме того на земную поверхность выходит ряд соленых источников.

Схема распространения натрия в земной коре:

Зона магмы: Na₂Al₂Si₄O₁₆ и другие натриевые полепшпаты альбит

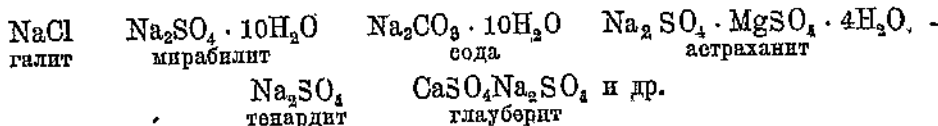


Пояс выветривания: некоторые цеолиты, Na₂Al₂Si₄O₁₂ · 2H₂O эвальный

Водные растворы: в виде NaCl; Na₂SO₄; Na₂CO₃.

Морские бассейны: в виде тех же солей.

Отложения из источников и морских лагун, лиманов и пр.:



Калий, K. Ат. вес 39,1. Распространение в земной коре 2,35/о.

В чистом виде металл мягкий, быстро окисляющийся во влажном воздухе, подобно натрию; как и все металлы щелочной группы, дает с водой растворимый в воде гидрат KOH, а с кислотами — соли KCl, K₂CO₃, K₂SO₄, легко растворимые в воде. Вследствие этого калий самородный не встречается. В застывающих магмах калий образует с алюминием и кремнием прочное соединение, известное под именем минерала ортоклаза, K₂Al₂Si₆O₁₆, а также и другие полепшпаты, где наряду с K входят еще кальций и натрий. Кроме того калиевая слюда — мусковит — чрезвычайно распространена в изверженных горных породах.

Полепшпаты мало устойчивы, и при выветривании калий частично уносится водами и собирается в морских бассейнах, где и отлагается в виде различных солей. На 10 000 ч. воды океана приходится 3,05 частей калия. Это значительно меньше, чем содержание в морской воде Na.

и объясняется тем, что по пути в море калийные растворы отдают свой калий почве, откуда он легко усваивается растениями.

Схема распространения К в земной коре:

Зона магмы: полевшаты группы ортоклаза, $K_2Al_2Si_6O_{16}$ — слюды — мусковит $(K, H)_2Al_2Si_2O_8$.

Процессы метаморфизма: вторичные слюды или гидрослюды.

Водные растворы с KCl , K_2CO_3 , K_2SO_4 , KNO_3 .

Поглощение этих солей частью почвами и усвоение их растениями.

Морские и озерные бассейны с теми же растворами.

Отложения морских лагуны, лиманов и высыхающих озер:

KCl	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$	$KCl \cdot MgCO_3 \cdot 3H_2O$
сильвин	карналлит	леонит	каинит

$(K, Na)_2SO_4$	$2CaSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2H_2O$
глазерит	полигалит

Водород. Н. Ат. вес 1. Распространение в земной коре 10%. В чистом виде — газ. Входит в состав горных пород главным образом в виде воды. Водяные пары, которые находятся в атмосфере нашей планеты, осаждаются на поверхность земли в виде дождя, росы и снега. Эти осадки содержат в себе небольшое количество углекислоты, также кислорода и азот, которые они поглощают из атмосферы. Углекислоты в воздухе содержится 0,030%. Этими двум первым газам вода главным образом обязана своей способностью разлагать и растворять. Первоначально вода содержит в себе весьма незначительное количество углекислоты, хотя впрочем приоткрытие ее можно открыть посредством известковой воды даже в снеге. Количество ее значительно увеличивается, как только вода проникает в верхний слой земли, богатый гниющими растительными остатками, где она и поглощает углекислоту, образовавшуюся при их разложении. Наконец вода насыщается углекислотой, которая выделяется изнутри земли и которую она встречает на своем пути. Кроме кислорода, азота и углекислоты вода, просачивающаяся с земной поверхности, уносит с собой внутрь и органические вещества, где они вследствие восстановляющего действия на окиси, играют весьма важную роль в процессе изменения горных пород. В таком виде, содержа в себе кислород, углекислоту и органические соединения, вода является минералогическим деятелем, разлагающей и растворяющей силе которого с течением времени не может противостоять никакая порода. Когда просачивающаяся вода проникает в горные породы, она скоро теряет свой кислород и углекислоту, если в этих породах находятся тела, которые могут вступать в соединения с этими газами. Взамен их она принимает также минеральные вещества, которые растворяются в ней или непосредственно или при содействии углекислоты. При этом вода получает возможность при дальнейшем просачивании внутрь земли производить новые разложения или новые соединения.

Воды, текущие по поверхности земли, просачиваются также в недра ее по трещинам, расселинам и между слоями горных пород. Масса каждой горной породы заключает микроскопические поры и переполнена сетью тонких волосных трещин, в которые вода проникает. Как велико количество воды, которая циркулирует внутри гор, можно судить по

нигольцам и шактам многих рудников, со стен и потолка которых капает и течет вода. Что мелкозернистые и крупнозернистые горные породы гидратируются водой, ясно видно из полного перехода некоторых гранитов в каолин. Наконец способность жидкости проникать даже в совершенно повидимому однородные минеральные массы ясно доказана возможностью искусственного окрашивания хальцедонов и агатов; словом нет ни одной горной породы, которая была бы непроницаема для воды.

Подобно тому как не существует абсолютно непроницаемой, нет и абсолютно разлагаемой и растворяемой горной породы.

В самом деле полевшпат, эпидот, слюда, турмалин, авгит, гиперстен, роговая обманка, оливин, хлорит, тальк и т. д., следовательно нерастворимые минералы, будучи измельчены в порошок и облиты водой, содержащей углекислоту, или даже и чистой водой, так быстро начинают разбедаться, что уже первые капли отфильтрованной жидкости дают возможность найти следы щелочей или щелочных земель. Опыт показывает, что едва ли существуют минералы, совершенно нерастворимые и неразлагаемые водой, содержащей углекислоту, и что все минералы, играющие существенную роль в строении земной коры, не могут противостоять разлагающему и растворяющему действию просачивающихся в них воды. Отсюда следует, что первоначально чистая атмосферная вода, проходя по горным породам, возвращается на земную поверхность в виде минеральных ключей и что наконец по прошествии долгих геологических периодов, в течение которых вода просачивается через горные породы, громадное количество веществ выносятся изнутри земли на ее поверхность.

Вода, содержащая в растворе углекислоту, разлагает при обыкновенной температуре силикаты извести, калия, натрия, закиси железа и закиси марганца, причем образуются карбонаты этих оснований и освобождается кремневая кислота. В составе большей части земной коры принимают значительное участие полевшпат, авгит и роговая обманка. Эти минералы состоят из кремнекислого глинозема или кремнекислой магнезии в соединении с силикатами щелочей, извести, закиси железа и закиси марганца и разлагаются углекислотой, содержащейся в просачивающейся воде. При этом образуются карбонаты и выделяется кремнезем, а почти нерастворимые силикаты глинозема и магнезии остаются без изменения. Понятие, обнаруживающееся при действии кислот на многие диабазовые, базальтовые и мелафировые породы, первоначально не содержавшие карбонатов, ясно показывает, что в них уже началось такое превращение. Продукты подобного превращения, карбонаты, совершенно выщелачиваются и уносятся водой, так что вполне разложившиеся породы уже не пшият более при действии кислот. Выделившийся кремнезем растворяется только в 10 000 ч. воды; поэтому если вода, производящая разложение, богата углекислотой и следовательно действует весьма энергично, то она не в состоянии увлечь с собой всего кремнезема, освобождающегося при разложении, и в таком случае большая часть его остается на месте.

Если же вода бедна углекислотой, тогда разложение происходит медленно, так что выделившийся в незначительном количестве кремнезем растворяется и уносится вместе с углекислыми щелочами и ще-

лочными землями. Результатом разложения сложных силикатов водой, содержащей углекислоту, являются карбонаты их оснований и часть кремнезема. Последними почти неизменяемыми остатками разложения выщелоченных горных пород будут водные силикаты глинозема и магнезии.

Из них первые не разлагаются ни водой, содержащей углекислоту, ни углекислыми щелочами; последние же хотя разлагаются, но с большим трудом и то тогда только, когда выщелочены все остальные легко-разлагаемые силикаты. Итак водные силикаты глинозема — глина и каолин, магнезит, серпентин, жировик и тальк — представляют остающиеся на месте продукты разложения сложных кристаллических пород, тогда как карбонаты принадлежат к таким, которые уносятся просачивающейся водой.

Схема распространения водорода:

Зона магмы. Водород в виде газа (H) циркулирует в магме и при застывании ее сохраняется расселенным в микроскопических порах и пустотах.

H_2O в виде паров. Спуды: $(K, Li, Na)_2H_2Al_2Si_2O_8$.

Метаморфические и осадочные горные породы.

Минералы с конституционной и кристаллизационной водой.

Водные силикаты — эмевики, деолиты и пр.

Пояс выветривания.

Водные окис кремния, алюминия, железа, глины, лимониты и пр.

Титан, Ti. Ат. вес 48,1. Распространение в земной коре 2,30%.

В чистом виде титан представляет собой блестящий, белый, очень твер-

дый металл; тетраэдрамет — $Ti \begin{smallmatrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{smallmatrix}$. Титан чрезвычайно малодеятель-

ный элемент и образует мало солей. В самородном виде не встречается, так как в зоне выветривания он не выщелачивается из своих соединений, а в магмах и при метаморфических процессах он энергично соединяется с кислородом в виде TiO_2 .

Роль этого элемента в земной коре мало выяснена. В магмах он с железом дает титанистый железняк; с кремнием — сфен, часто встречающийся в гранитах; с кислородом — прочнейшее его соединение: рутил, TiO_2 . В виде иглочек рутила титан рассеян в огромном количестве в земной коре.

Примесь TiO_2 имеется почти в каждой горной породе.

Схема распространения Ti в земной коре:

Магмы:	TiO_2	$CaTiSiO_5$	$FeTiO_3$
	рутил	титанит	ильменит

Примеси в роговых обманках и асбестах.

Метаморфические породы. Анагас, рутил — TiO_2 , сфен.

Осадочные породы. Неизменившиеся минералы магмы.

Углерод, C. Ат. вес 12. Углерод, имеющий в органическом мире такое исключительное распространение, входя в состав растений, в земной коре встречается лишь в количестве 10%. В чистом виде углерод известен в форме алмаза, графита и угля. Углерод входит в состав

целого класса минералов, названных по его имени карбонатами (carbo — го-латински, уголь). Типичным представителем карбонатов будет из-

вестняк. Углерод четырехатомен — $C \begin{smallmatrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{smallmatrix}$.

Углерод, будучи сам как элемент постоянен и нелетуч, легко дает летучие соединения с кислородом и водородом. Главное кислородное соединение углерода есть газ — углекислота. Жидкая углекислота часто находится внутри кристаллов кварца. Обычно же углекислый газ выделяется в чистом виде в громадном количестве при извержениях лавы, и даже долго спустя после извержений возле вулкана идет непрерывное выделение углекислоты. Такие центры выделения называются моффетами. Благодаря такому непрерывному выделению CO_2 из вулканов количество ее в атмосфере достигает 0,03%.

Углекислый газ легко растворяется в воде и в водном растворе играет колоссальную роль в земной коре, легко растворяя различные минералы и разрушая прочнейшие химические соединения. Углерод в форме своей кислой кальциевой соли, $Ca(HCO_3)_2$, легко усваивается животными организмами, которые строят из него свои твердые покровы, перерабатывая его в $CaCO_3$.

Наконец углекислота из воздуха усваивается растениями, и углерод образует их твердую древесину. Эти грандиозные запасы углерода из органической жизни, из мира растений переходят опять в мир минералов через многие миллионы лет в виде скоплений остатков древних лесов под давлением миллиардов тонн наслонившихся над ними горных пород. Тогда углерод является перед нами в форме каменного угля.

Наконец эти залежи каменного угля под влиянием высокой температуры и могучих горнообразующих сил переходят в пласты графита — чистейшего углерода.

Схема распространения углерода в земной коре:

Зона магмы. Алмаз (C), графит (C), углекислота (CO_2).

Зона анаморфизма. Графит (C), мрамор ($CaCO_3$).

Осадочные породы. Каменные угли, торф, нефть, смолы.

Водные растворы и морские бассейны. Известняк и другие углекислые минералы ($CaCO_3$).

Сера, S. Ат. вес 32. Сера в обычных условиях довольно устойчивый элемент, поэтому в камородном виде сера чаще всего встречается в зоне выветривания при разложении различных сернистых минералов. Сера двухатомная и чрезвычайно схожа в своих соединениях с кислородом. В то время как кислород образует с металлами ряд окисных соединений, как-то: PbO , Sb_2O_3 , FeO , Mn_2O_3 и т. д., сера точно так же энергично соединяется при высокой температуре с металлами и образует ряд сернистых соединений металлов. Сернистые соединения железа, свинца, меди и других металлов в расплавленном состоянии очень подвижны, текучи и легко циркулируют в вязких магмах. Поэтому они редко-рассеяны равномерно в изверженных породах, а всегда находятся скоплениями и выносятся горячими растворами.

Сернистые металлы обычны для жильных месторождений всевозможных типов.

Поимно магм и глубинных горячих водных растворов сера нередко выделяется из вулканов или в самородном виде или чаще всего в виде сернистого газа, SO_2 . Такие очаги выделения сернистого газа называются сольфатарами; из них выделяется газ долгое время после вулканических извержений. Попад в зону выветривания земной коры в виде сернистых металлов или в каком-либо другом виде, сера частью быстро восстанавливается в самородную серу, а в значительной части окисляется в сернокислые соединения различных металлов.

При этом сернокислые соединения железа, меди, свинца и других тяжелых металлов образуют группу купоросов, легко растворимых в воде и потому пронизывающих собой трещины и пористые породы зоны выветривания. Кальций, магний, натрий образуют с серой также легко растворимые соли и уносятся водами в морские бассейны, где отлагаются в виде минералов — мирабилита, эпсомита и др.

Сернокислые минералы, как барит, целестин, получаемые в зоне выветривания от разложения сернистых металлов, откладываются или неподалеку от разрушающихся сернистых руд или разносятся источниками и откладываются в виде жильных минералов.

Более растворима соль кальция, известная под именем гипса, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Она легко уносится и холодными водами источников, почему жилы и прослойки гипса так распространены среди осадочных пород.

Схема распространения серы в земной коре:

Зона магмы:	FeS_2	S	SO_2
	пириты	сера	сернистый газ из сольфатар

Горячие водные растворы. Сернистые металлы и сернокислые соединения.

Отложения в жилах. Сернистые и сернокислые металлы:

PbS	ZnS	FeS_2	CuFeS_2 и др.	BaSO_4	PbCO_3 и др.
галенит	сфалерит	пирит	халькопирит	барит	англезит

Зона катаморфизма. S (самородная); от разложения содержащих S минералов.

Растворы (холодные):	FeSO_4	CuSO_4	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
		купоросы		гипсы

Отложения из холодных растворов. Гиды и небольшое количество купоросов.

Морские бассейны: MgSO_4 , Na_2SO_4 и др. Отложения гипса, мирабилита, эпсомита, астраханита, тепаидита и др.

Фосфор, P. Ат. вес 31. Распространение в земной коре 0,1%. В органической жизни земли фосфор имеет громадное значение, входя в состав живых организмов и в особенности их костных образований. В химической же жизни земной коры фосфор играет незначительную роль и только местами, где в минералообразовании принимают участие остатки животных организмов, роль фосфора выступает на первый план.

Фосфор как элемент является нам в двух видах — в форме белого и красного фосфора. Обе формы очень неустойчивы даже в обычных

условиях поверхностной части земной коры. Особенно неустойчив белый фосфор, легко загоралющийся на воздухе от трения и удара.

Фосфор дает огромное количество различных соединений, и все они отличаются большой неустойчивостью — легко распадаются и вступают в обменные реакции.

Многие соли фосфорных кислот легко растворимы в воде, как например часто встречающаяся в водах источников кислая кальциевая соль фосфорной кислоты — $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$.

Одно из самых прочных соединений фосфора — это кальциевая соль, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. В этой форме фосфор входит во многие минералы и образует кости животных.

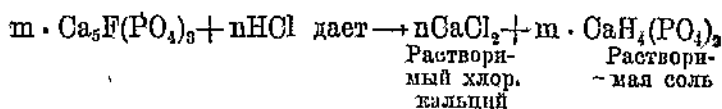
Понятно, что в магмах фосфор кристаллизуется в минералы, содержащие кальциевую соль фосфорной кислоты. Таким минералом является апатит.

Апатит, формула которого пишется $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3$, встречается в силикатовых породах, чаще всего в граните, в виде большей частью мелких, иногда микроскопически мелких призм. Эта примесь его в изверженных породах и обуславливает повсеместное распространение фосфора в земной коре.

Несмотря на то, что кальциевая соль представляет собой прочное соединение фосфора, она легко разлагается кислотами, и при этом образуется легко растворимая в воде соль $\text{CaH}_5(\text{PO}_4)_2$. Реакции протекают так: 1) с серной кислотой:



2) с соляной кислотой:



Растворимая кальциевая соль фосфора уносится водами, причем горячие источники с рудными минералами отлагают в жилах, если в раствор вновь попадают HCl или фосфористые соли, снова апатит. Поэтому апатит часто сопровождает рудные минералы.

Растворимые соли фосфора уносятся в конце концов в морские бассейны, где усваиваются морскими организмами. Остатки этих организмов разлагаются, при разложении их выделяются между прочим углекислота и аммиак¹. Углекислота способствует растворению фосфорнокислотой извести костей и в то же время, соединяясь с аммиаком, образует углекислый аммоний.

Углекислый аммоний в присутствии фосфорнокислого кальция образует фосфорнокислый аммоний и углекислый кальций.

Растворенный фосфорнокислый аммоний, соприкасаясь с раковинами моллюсков и фораминифер, отлагает на их поверхность или в осадке фосфорнокислый кальций конкреционного вида, известный в минералогии под названием фосфорита.

¹ Креднер, Колла.

Схема распространения фосфора в земной коре:

Зона магмы: $\text{Ca}_5(\text{Cl, F})(\text{PO}_4)_2$.
апатиты

Горячие растворы: $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$.

Зона анаморфизма. Апатит в контактах.

Зона катаморфизма.

Источники и водные бассейны: $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$.

Отложения остатков морских организмов и образование из них и вокруг них фосфоритов.

Хлор, бром и иод. Распространенность хлора в земной коре измеряется десятками долями процента, распространенность брома и иода еще менее — сотыми долями. Хлор чрезвычайно энергичный и деятельный элемент при великих условиях. Выделяясь в магме в форме паров соляной кислоты и входя в состав апатита, хлор при распадении горных пород энергично соединяется с натрием и в форме соли NaCl уносится и скапливается в морских бассейнах.

Роль брома и иода мало выяснена. Повидимому они не создают в зоне магм прочных минералов, а рассеяны в ничтожных количествах в породах, откуда, давая легко растворимые соли, сносятся в море, где усваиваются особыми водорослями, не образуя распространенных минералов.

Фтор, F. Ат. вес 19. Фтор настолько энергичный элемент, что с величайшим трудом может быть приготовлен в чистом виде. Он разрушает все сосуды, жадно соединяясь со всеми металлами и с кремнием. Соединения его — фтористоводородная кислота, HF , и фтористый кремний, SiF_4 , летучи. Это свойство фтора дает летучие соединения обуславливает его особую роль в химии земной коры, и, несмотря на то, что распространенность его невелика и измеряется сотыми долями процента, фтор чрезвычайно деятельный минерализатор и входит во многие весьма распространенные минералы. В расплавленных магмах пары фтора или вернее фтористоводородной кислоты соединяются с кремнием, давая сначала тоже летучие соединения: $4\text{HF} + \text{SiO}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{SiF}_4$ (летуче).

Эти летучие соединения фтора вырываются на поверхность, где образуют характерные минералы пегматитовых жил — топаз и лепидолит (литиевая слюда).

Очень прочное соединение дает фтор с кальцием, почему CaF_2 , называемый флюоритом, часто встречается в рудных жилах. Здесь действуют горячие водные растворы, выносящие F из магм. Среди кристаллических сланцев и контактов изверженных пород с известняками F входит в состав апатита, а в осадочных породах входит в состав многих фосфоритов.

Схема распространения F в земной коре:

Зона магмы. $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_2$.
апатит

Пегматитовые жилы: $(\text{AlF})_2\text{SiO}_3$; $\text{KLiAl}(\text{OH, F})_2$; $\text{Al}(\text{SiO}_3)_3$.
топаз лепидолит и цинвальдит

Рудные жилы: CaF_2 ; Na_3AlF_6 .
флюорит криолит

Зона анаморфизма. Апатит.

Осадочные породы. Фосфориты.

Группа «редких элементов» — бериллий, германий, таллий, лантан, иттрий, церий, ниобий, уран, торий, радий и др. Эти элементы хотя и называются в химии редкими, но в земной коре находятся чаще и обильнее многих, хорошо знакомых нам в повседневной жизни металлов, как олово, свинец, цинк и др. Так мало известный лантан встречается гораздо чаще всем известной ртути или церий гораздо распространеннее в земной коре, чем свинец.

Все эти элементы концентрируются главным образом в магмах, где играют мало выясненную роль минерализаторов. Кристаллический состав изверженных пород и кристаллизация многих минералов часто зависят от содержания редких металлов. Без них магма или минерал застывают в форме аморфной массы.

Помимо рассеяния в магме часто неумовнимые анализом редкие металлы концентрируются в немногих минералах в виде включений в изверженные породы.

Более распространены: монацит — фосфат церия, лантана и ди-идмия; ортит — силикат церия; торит — силикат тория; циркон — $ZrSiO_4$.

В рудных жилах встречаются: германий главным образом в ар-природите, Ag_8GeS_8 , с 70% Ge; селен в виде селенистого свинца, $PbSe$, селенистой меди и серебра, Cu_2Se , Ag_2Se ; теллур в виде теллуристой меди, теллуристого серебра — аналогично селенистым минералам; таллий и индий в виде примеси к медным колчеданам, цинковым обманкам и другим рудам. В рудных же жилах Йохимсталя встречается пасту-ран — урановая смоляная руда, U_3O_8 , из которой добывается радий.

В зоне катаморфизма чаще всего встречаются желтые карно-титы в песчаниках, содержащие ванадий, уран, радий и карбонат лантана — лантаниит, $(La, Di)_2(CO_3)_3 \cdot 9H_2O$.

В некоторых залежах угля концентрируются урановые соединения. Фольбортиты, $(Cu, Ca) OHVO_4$, содержащие ванадий, нередко встречаются в песчаниках и других осадочных породах.

Бор, В. Ат. вес 11. Бор очень трудно получить в чистом виде. Полученный же элемент в виде темного порошка легко соединяется не только с кислородом воздуха, но и с азотом, давая соединение BN. При высоких температурах бор соединяется с серой, давая B_2S_3 — вещество летучее и легко разлагающееся водой. Вообще бор дает ряд летучих соединений — фтористый бор, BF_3 , хлористый бор, BCl_3 , и даже известная всем борная кислота, $B(OH)_3$, несколько летуча.

Эта способность давать летучие минералы обуславливает образование содержащих бор минералов в верхних частях застывающей маг-мы, особенно в так называемых пегматитовых жилах. Таковы турмалины, обычные минералы гранитных магм. Эти же свойства объясняют нам выделение бора из некоторых фумарол, например в Тоскане, где бор-ная кислота выходит на поверхность вместе с парами воды.

Многие соли бора растворимы в воде, поэтому по разрушении боросодержащих минералов бор переходит в водные источники, попадает в моря и озера. Из водных растворов при достаточной концентрации

бор выпадает в виде минералов, главным образом натриевых — буры, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, и в виде борной кислоты — сассолипа, $\text{B}(\text{OH})_3$.

Схема распространения бора в земной коре:

Зона магмы. Турмалины.

Фумаролы. Борная кислота.

Зона катаморфизма. Борная кислота, бура.

Отложения из озер. Бура и борная кислота.

Группа тяжелых металлов. Тяжелые металлы играют огромную роль в жизни человека, образуют большое количество разнообразных минералов, но в химии земной коры количественно они ничтожны. Их содержание в земной коре измеряется сотыми долями процента.

Олово и вольфрам в виде оловянного камня SnO_2 и вольфрамит FeWO_4 приурочиваются главным образом к изверженным горным породам и представляют типичные магматические элементы, мало или почти нераспространенные в метаморфических (в тесном смысле этого слова) породах.

Хром обычен в магмах в виде хромита, $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, и характерен для основных оливковых изверженных пород. При метаморфизации пород он в виде хромистого железняка концентрируется в змеевиковых залегающих.

Серебро, свинец, цинк, медь, сурьма, мышьяк и молибден выносятся из магмы горячими водами и представляют типичные элементы рудных жил.

Золото в небольших количествах содержится в изверженных горных породах и концентрируется главным образом в кварцевых жилах, связанных с гранитными магмами.

Марганец больше всего распространен в зоне катаморфизма, где большие скопления его формируются в виде пролязита, псиломелана и др.

Чрезвычайно интересна таблица сравнительного распространения тяжелых металлов в различных генетических фациях земной коры, составленная Эммонсом (рис. 220).

Таблица составлена главным образом по данным американских месторождений, тем не менее она имеет исключительный интерес. Рассматривая ее, мы видим, что главные месторождения железных руд приурочены к трем группам: магматические выделения — это главным образом залежи магнитного железняка среди гранитных пород; группы контактного метаморфизма. Эта группа охватывает большей частью месторождения гематита и лишь частично магнетита. Наконеч для последней группы осадочных образований характерен главным образом минерал лимонит, или бурый железняк, широко распространенный в зоне выветривания. Совершенно другую картину представляют месторождения медных руд. Это резко выраженные жильные месторождения с медным колчеданом или медистым пиритом. Цинк и свинец, так часто встречающиеся совместно в рудах в виде сфалерита и галенита, представляют совершенно параллельные образования. Резко выделяется и в таблице ртуть; кшоварь, главная ртутная руда, встречается исключительно в верхних жилах. Совершенно аналогично цинку и свинцу идут мышьяк и сурьма, представленные главным образом арсенопиритом и

аитиновитом, этими типичными минералами жлы средней глубины. Также совместно идут уран и ванадий, встречаеы в целом ряде минералов как магматического, так и осадочного цикла.

	МАГМА- ТИЧ. ВЫ- ДЕЛЕНИЯ	ПЕГ- МАТИТЫ	КОНТАКТ. МЕТАМОР- ФИЗМ	ГЛУБИН- НЫЕ ЖИЛЫ	ЖИЛЫ ОСРЕДНЕЙ ГЛУБИНЫ	ВЕРХНИЕ ЖИЛЫ	ХОЛОДН. РАСТ- БОРЫ	ОСАДОЧН. ОБРА- ЗОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗО								
МЕДЬ								
СЕРЕБРО								
ЗОЛОТО								
ЦИНК								
СВИНЕЦ								
РТУТЬ								
НИККЕЛЬ		?						
КОБАЛЬТ							?	
ПЛАТИНА								
АЛЮМИНИЙ								
МАГНИЙ								
ХРОМ								
МЫШЬЯК								
СУРЬМА								
ОЛОВО								
УРАН								?
ВАНАДИЙ								?
ВИСМУТ				?				
ВОЛЬФРАМ								

Рис. 220. Таблица сравнительного распространения тяжелых металлов в различных генетических фациях земной коры. Толщина линий обозначает сравнительное распространение металла.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Crookes, Genesis of the elements, London, 1887.
2. I. H. L. Vogt, Über die relative Verbreitung der Elemente, „Z. für prakt. Geol.“, 1898.
3. C. R. Van Hise, A treatise on metamorphism, Mon. 47. „U. S. Survey“, 1904.
4. Warren & Mead, Redistribut. of elements, „Journ. of Geology“, 1907, 15.
5. В. И. Вернадский, Парагенезис элементов в земной коре, „Труды XII съезда естествоиспытателей“, Москва, 1909.
6. I. V. Eldsen, Principles of chemical geology, London, 1910.
7. В. И. Вернадский, Опыт описательной минералогии, 1914.

8. C. K. Leith & Mead, Metamorphic geology, New York, 1915.
9. F. W. Clarke, The data of geochemistry, Washington, 1920.
10. H. Washington, The chemistry of the earth's crust, „Journ. Frankl. Inst.“. 1920.
11. В. И. Вернадский, Химические элементы в механизме земной коры, „Природа“ 3—5, 1922.
12. Его же, Очерки геохимии, 1927.
13. А. Ферсман, Геохимия России, ч. 1, Петроград, 1922.
14. F. W. Clarke and H. S. Washington, The average chemical composition of igneous rocks, „Proc. Nat. Acad. Sci.“. 12, 1922.
15. Stansfield J. I. Assimilation and Petrogenesis. II. Separation of ores from Magmas. Urbann, U. S. A. 1928.
16. Lindgren W., Mineral deposits, N. Y., 1928.
17. А. Ферсман, Законы эволюции в химии земной коры, „Природа“, Л., 1930.
18. Его же, История атома в истории земли, „Природа“, 1929.
19. В. Н. Артемьев, Минеральные ресурсы СССР, „Олово“, 1930.
20. А. Ферсман, Парагенезис минералов, Муранки, изд. А. Н., 1922.
21. И. Гинзбург, Слюда, сборн. „Нерудные ископаемые“, изд. А. Н., III, 1927.
22. Его же, Полевой шпат, сборн. „Нерудные ископаемые“, изд. А. Н., II, 1927.
23. Его же, Полевые шпаты Режевского района, „Вестн. Геол. ком.“, № 6, 1928.
24. Его же, Классификация полевошпатовых месторождений, Матер. совещ-по полев. шпату, Геол. ком., 1928.
25. А. Е. Ферсман (совместно с А. Н. Лабунцовым), Отчет о командировке на урановые месторождения Карелии, докл. А. Н., сер. А, 1925.
26. Его же, Геохимические идеи в горном деле, Матер. химия, 1931.
27. G. Berg. Vorkommen u. Geochemie der Mineral Rohstoffe, Leipz, 1929.
28. A. Fersmann. Geochemisch-genetische Klassifikation der Granitpegmatite, „Tsch. Min. u. Petr. Mitt.“. XLI, 1931.
29. Его же, Die geochemischen Diagrammen, „Neues Jahrb. f. Min.“, Brauns-Festband, 1931.
30. Его же, Zur Geochemie der Granitpegmatite, „Tsch. Min. u. Petr. Mitt.“ XLII, 1931.

МИНЕРАЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАСТЫВАНИЯ МАГМЫ

(Минералогия изверженных пород)

ПОНЯТИЕ О МАГМЕ

Магма — это материнское вещество всех горных пород и минералов, в настоящую геологическую эпоху представляет собой расплавленную массу, находящуюся во внутренней части нашей планеты.

Поднимаясь по трещинам земной коры, магма теряет летучие вещества (CO_2 , HF , H_2O и др.), растворяет окружающие горные породы, дифференцируется по удельному весу и вследствие возникающих энергичных химических процессов, так как резко меняются температура и давление; наконец магма застывает или на глубине, давая один тип изверженных пород и минералов, или на поверхности, давая совсем другие их виды и формы. Такое разнообразие условий застывания магмы и объясняет большое разнообразие изверженных горных пород и составляющих их минералов.

Взгляд на магму установился как на твердый силикатный раствор.

Различные химические соединения, заключающиеся в магме, не просто расплавлены, а и растворены одно в другом. Учение о растворах — основное содержание науки, называемой физико-химией. Для понимания процессов, совершающихся в магме, особенно важны влияние температуры и давления на растворимость ее компонентов, кристаллизация из пересыщенных растворов и застывание эвтектических смесей. Влияние этих агентов ясно из следующей таблички:

Кристаллизация минералов из магмы	способствует	уменьшение температуры
		увеличение давления
	ослабляет	повышение температуры
		уменьшение давления

Температура застывающей магмы близка к температуре плавления входящих в ее состав минералов.

Температура плавления основных породобразующих минералов по определению Дольтера такова:

Авгит	1 085°	Микроклин	1 155°
Оливин	1 350°	Ортоклаз	1 175°
Олигоклаз	1 120°	Цоксит	1 090°
Бронзит	1 400°	Гранат	1 090°
Лабрадор	1 125°	Нефелин	1 095°
Вюстит	1 130°	Магнетит	1 185°
Анортит	1 132°	Гиперстен	1 185°
Санидин	1 130°	Лейцит	1 300°

Температура современных лав колеблется около 1 000°, так:

Лава Везувия (1681 г.)	1 103°	Этна	1 063°
Вулкан Стромболи (1901 г.)	1 176°	Килауэа	1 072°

Давление. Давления в глубинах, откуда поднимается магма, огромно. Однако температурные условия изменяются под действием давления в сравнительно малых пределах. Так по подсчетам Фогта точка плавления магмы повышается на 0,5° на каждые 100 ат давления. Например, авгит, один из главнейших породобразующих минералов, имеет следующие градиенты:

Давление ат	Глубина км	Точка плавления
1	0	1200°
270	1	1201,3°
2 700	10	1213,5°
10 000	37	1250°
27 000	100	1855°

В общем влияние давления на ход химических реакций в магмах благоприятствует образованию такой системы минералообразований, которая занимает меньший молекулярный объем.

Удельный вес. Удельный вес варьирует в зависимости от содержания SiO_2 , причем тяжелые металлы концентрируются в глубинных.

частях земного шара. Средний удельный вес изверженных горных пород колеблется от 2,2 до 3,3. Большого значения в процессах минералообразования сила тяжести не имеет.

ДИФЕРЕНЦИАЦИЯ ИЛИ РАСЩЕПЛЕНИЕ МАГМЫ

По Лагормо магму можно определить как ювелирный расплавленный раствор. Степень насыщения магмы управляется температурой и давлением, а характер насыщения — относительным содержанием химических веществ. Если температура первоначально совершенно расплавленной магмы понижается через охлаждение, то наступает момент, когда то или другое из заключающихся химических соединений пересыщает раствор и этот избыток начинает выкристаллизовываться. При очень постепенном и спокойном охлаждении пересыщенное состояние может достигнуть высокой степени. Природа вещества, выделяющегося первым, зависит от общего химического состава магмы и поэтому должна изменяться. При более низких температурах наступает время, когда

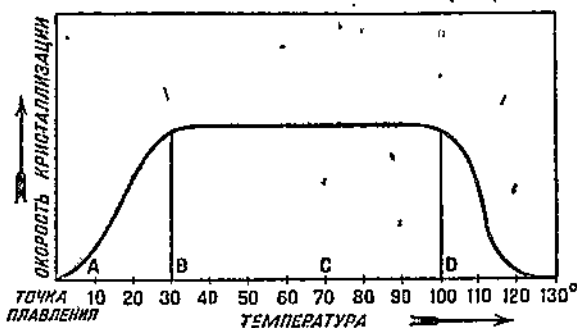


Рис. 221. Зависимость скорости кристаллизации от температуры.

выделяется другое соединение и так дальше, пока вся масса не превратится в кристаллическую или полустекловидную массу. Так как первыми выделениями относительно количество составных веществ оставшейся магмы узко изменяется и так продолжается и дальше, то хотя отдельные соединения выкристаллизовываются и последовательно, может происходить и одновременная кристаллизация многих минералов.

Магма большей частью является пересыщенным раствором. При затывании такого раствора в зависимости от падения температуры получаются различные формы кристаллообразования минералов. По исследованиям Таммана и Дольтера быстрота кристаллообразования в зависимости от понижения температуры выражается следующей диаграммой (рис. 221), где на ординате отложена быстрота кристаллообразования, а на абсциссе — падение температуры.

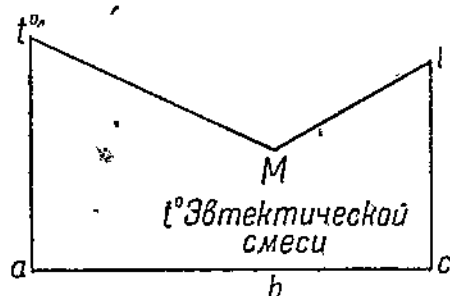
В зависимости от быстроты стоит и форма минералообразования, что чрезвычайно важно для минералогии. В области А образуются большие, богатые плоскостями кристаллы, в области В, где кристаллизация чрезвычайно ускоряется, образуются преимущественно мелкие и иголь-

чатые кристаллы. Область *C* есть максимум быстроты кристаллообразования. В области *D* быстрота кристаллообразования быстро падает; здесь образуются зернистые агрегаты и короткие толстые кристаллы. По исследованиям Дюльтера минералы образуются в следующем порядке: шпинель, магнетит, оливин, бронзит, диоксид, авгит, анортит, лабрадор, лейцит, нефелин, альбит, ортоклаз, кварц.

Чем объясняется *порядок* выделения минералов.

По аналогии с растворами и в магме первыми будут выделяться всегда те вещества, которые легче всего насыщают раствор. Последовательность выделения определяется не температурами плавления минералов, а отступлением смеси от эвтектического состояния. Эвтектическими смесями (или криогидратами) Гитри называл такие смеси, которые более всего понижают точку плавления (или отвердевания); такую постоянную точку плавления называют эвтектической. Если например два вещества, входящие в состав смеси, не соответствуют своим количественным отношениям эвтектической смеси, то сначала выкристаллизовывается часть для минерала, который находится в количестве большем, чем это необходимо для эвтектики, а с достижением эвтектической точки оба вещества отвердевают одновременно в их постоянных отношениях.

Например (рис. 222) в кремнеземистой магме из 30% кварца и 70% ортоклаза эвтектическая смесь должна состоять из 26% кварца и 74% ортоклаза; следовательно первым будет выделяться кварц; как только с его выделением температура понизится до эвтектической, магма за-



$a=100$ кварца, 0% ортоклаза; $M=26\%$ кварца, 74% ортоклаза; $c=0\%$ кварца, 100% ортоклаза.

Рис. 222.

при понижении температуры они первыми должны выкристаллизовываться, а затем уже соединения Na и последними силикаты K или K и Na.

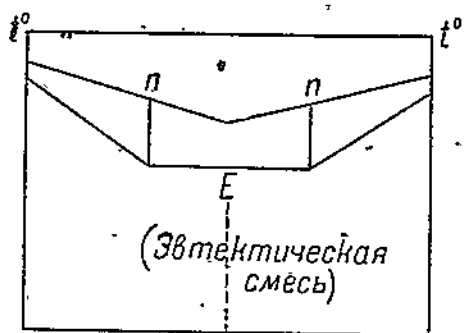
Следовательно и по такому представлению первыми выделяются из магмы различные второстепенные составные части (как окислы тяжелых металлов Fe_2O_3 , TiO_2 , циркон), затем чистые силикаты Fe, Mg и смеси их (гиперстен, бронзит, энстатит, оливин), далее известково-магнезиальные силикаты (моноклинный авгит и рогообманка), калийно-магнезиальные (бютит), известковые, известково-натровые силикаты (плагноклазы), натровые силикаты (нефелин, содалит,

твердевает в одно целое (образование пегматитового прорастания кварца и ортоклаза). На диаграмме (рис. 223) изображена схема образования эвтектической смеси из ортоклаза и альбита часто встречающаяся в природе. Силикаты щелочных земель и, окислы железа и титана насыщают растворы легче, чем силикаты щелочей; последние образуют большей частью кислые соединения, а первые — основные. Окислы щелочных земель и железа раньше вступают в соединение с кремнеземом, и при

альбита), калиевые силикаты (ортоклаз, алейцит) и наконец чистый кремнезем (кварц); кварц выделяется также и вместе с калиевым полепшпатом и вообще щелочными силикатами.

При распаде магмы большое значение имеет закон Соре, гласящий, что если однородный во всех своих частях, одинаково концентрированный раствор подвергнуть действию различных температур в различных его местах, то наступает изменение, выражающееся в постепенном увеличении концентрации в более холодных местах и уменьшении в более теплых.

Так как магма неодинаково нагрета, то в ней энергично идут выделения растворенных минералов, например серпистых соединений, в охлаждающейся части.



Ортоклаз Or

100% Or
0% Ab

Рис. 223

Ab + Or
(Альбит + Ортоклаз)

Ab Альбит

100% Ab
0% Or

Будучи довольно однородной в своем первоначальном составе, магма делается чрезвычайно разнообразной, выделяя — ассимилируя — массы уже образовавшихся ранее горных пород, встречающихся на ее пути (Джонстон-Левисс). При этом происходит осмотический обмен между магмой и окружающими породами, обуславливающий разнообразие получающихся минералов и деление земной коры на вулканические циклы и петрографические провинции.

Таким образом застывание магмы сопровождается прежде всего распадением ее на магму кислую с SiO_2 и основную. Основная магма отделяет прежде всего застывающие окисленные рудные соединения —

хромит
 FeOCr_2O_3

п л е м е н т
 FeTiO_3

титаномагнетит
 $\text{FeOFe}_2\text{O}_3 + \text{Ti}$

Затем выделяются серпистые соединения, насыщающие магму очень быстро, скапливаясь под влиянием закона Соре в охлаждающих частях ее. Около каждого затвердевающего кристалла возникают диффузные токи, которые доставляют все новый и новый материал из горячих мест магмы. Так образуются краевые фации; богатые рудными минералами, называемые лампрофитами. Наконец остаются только кислые (с SiO_2) части магмы, где в свою очередь происходит выделение серпистых

и темных руд минералов. Наконец в последнюю очередь выделяются светлые минералы и последний обычно кварц.

Дифференциация гранитной магмы хорошо изучена Фогтом на примерах образования магнетита в гранитах Швеции. Главным растворителем магнетита Фогт считает силикат Al-Ca-Na-K .

Диаграмма (рис. 224) показывает обычную картину дифференциации. Состав магмы при 50% SiO_2 отложен в левой части по ординате ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{Na}_2\text{O} - \text{TiO}_2$).

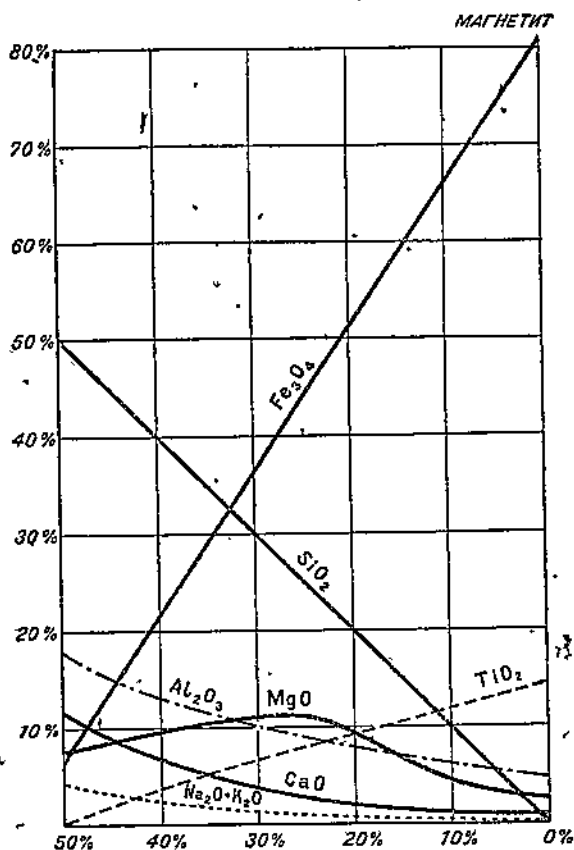


Рис. 224. Картина дифференциации гранитной магмы с магнетитом.

По абсциссе слева направо идет падение содержания SiO_2 и соответственное изменение застывающей магмы. Кривые показывают, как падает в переходных стадиях содержание Al_2O_3 , CaO , SiO_2 , Na_2O , ..., в то время как повышается содержание Fe_3O_4 , TiO_2 и наконец процесс заканчивается выделением чистого магнетита. Дифференциации основных магм даны Фогтом в следующих диаграммах (рис. 225 и 227).

Рис. 225 дает дифференциацию габбро. Слева направо по абсциссе расположены переходные типы, заканчивающиеся выделением титана.

чистого железняка и титанмагнетита. Первоначальный состав габбро расположен по ординате. Кривые показывают, как падает содержание полешиатов—образуется шпинель, и титанмагнетит от 7 достигает 80% содержания застывающей магмы.

Диаграмма 226 дает дифференциацию оливниновой магнезиально-железистой магмы. Превращения магмы расположены аналогично прежним диаграммам слева направо и идут от оливнигаббро к перидотиту, хромита и дунгиту и заканчиваются выделением чистого хромита $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$.

Диаграмма (рис. 227) изображает ход дифференциации лабрадоритового гранита с выделением ильменита. По мере застывания полевшатов и гиперстенита выделяются все больше и больше массы ильменита.

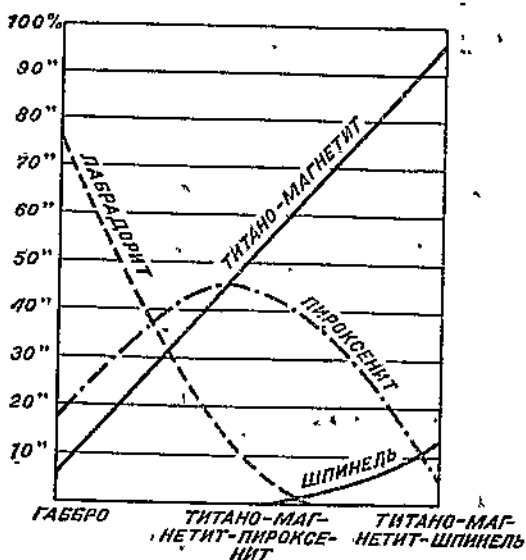


Рис. 225. Дифференция габбро.

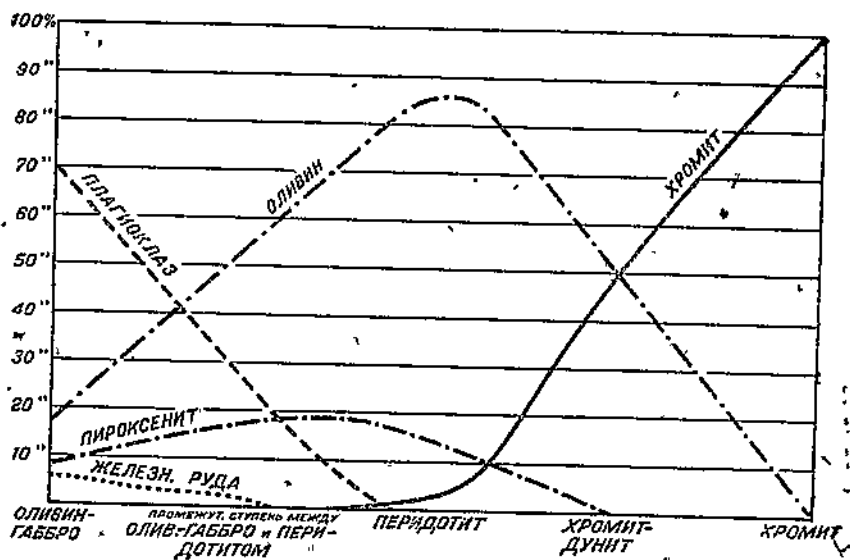


Рис. 226. Дифференция оливнигаббро.

ГЛАВНЕЙШИЕ МИНЕРАЛЫ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД

Температура минералообразования от 500 до 1200°.

I. Элементы. Из элементов в изверженных породах встречается чрезвычайно редко золото, и значительно чаще в оливиновых дунитах, этих темных основных породах, — платина.

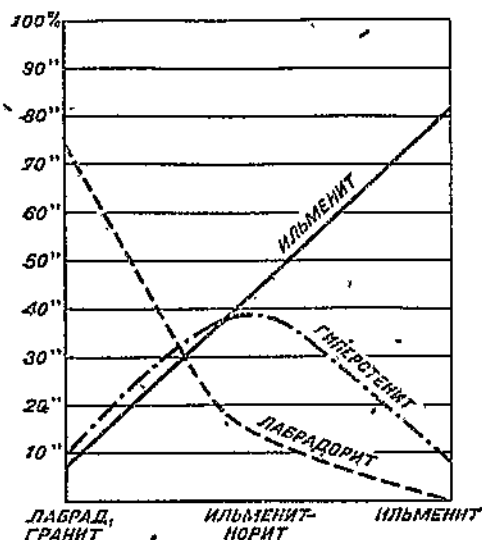


Рис. 227. Дифференциация кабрадоритового гранита.

Коренные месторождения платины связаны с основностью и глубиной оливиновых габбро; наиболее глубокой является та разновидность, которая характеризуется наибольшим содержанием хромистого железняка, т. е. так называемый дунит. Значительно меньшее количество месторождений связано с пероксенитами и габбро. По Высоцкому все громадные массивы дунита (на Урале) должно рассматривать как сплошные коренные месторождения платины. Платина дает два типа выделений из магмы: 1) непосредственно среди оливина нормальных дунитов, как самостоятельная первичная часть их; 2) вместе со шпиром или жилами хромита, который выкристаллизовывался из магмы пер-

вым, а платина затем уже как цемент заполняла промежутки между неплотно сросшимися кристаллами хромистого железняка (рис. 228). Кроме того наблюдается и смешанный тип месторождений.

Алмаз. Алмаз выпадает из расплавленной силикатовой магмы, что вполне подтверждается опытами искусственного получения алмазов (см. «Курс минералогии», ч. I. Описание минералов).

В единственном хорошо изученном Южноафриканском месторождении алмаз кристаллизовался в тяжелых магнезиальных магмах типа перидотитов (под названием «Blue Ground», «Голубая Земля»). Углерод, как предполагает Льюис¹ в своем исследовании о происхождении алмазов, попал в магму из воспрегившихся на ее пути и расплавленных ею углистых сланцев. Типичный вид трубок (рис. 229) указывает, что образование месторождений алмазов связано с распадом углеродистых газов в магме при колоссальных давлениях, давших выделения кристаллического углерода.

II. Сернистые (сульфиды). Обычные опыты с разделением шлаков и так называемых штейнов показывают, что расплавленные сульфиды

¹ Н. Carvill Lewis, The genesis of the diamond, „Science“, VIII, 1886

отличаются значительной текучестью, превышающей таковую силикатных сплавов. Расплавленные сульфиды могут следовательно легко проникать в самые тонкие трещины в базовых породах, давая как жальные



Рис. 228. Разрез хромита, с платиной в дуните.* (Светлые илтна—платина в темном хромите; серая масса—дунит).
Нижний Тагил, Урал (по Высоцкому).

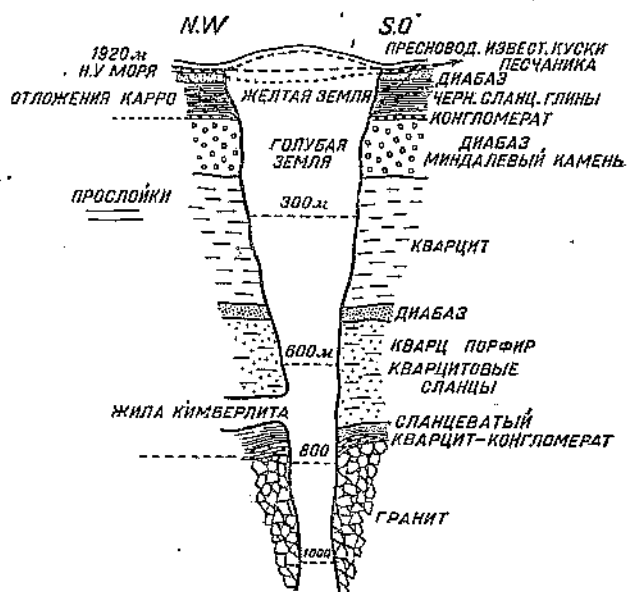


Рис. 229. Разрез месторождения алмазов в Южной Африке.
Ясно виден кратер.

* Н. Carvill Lewis, The Geological magazine IV, 1897.

образования, так и посылы проникновения вкрапленников, называемые залыбандами¹.

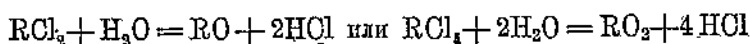
Пирит, FeS_2 . Пирит является обычным акцессорным, минералом изверженных пород. Его блестящие кубики часто встречаются в гранитах и особенно в кварцевых дейках, прорезывающих горные породы. На условия образования его в изверженных породах ясно показывают опыты¹ Дольтера, нагревавшего гематит Fe_2O_3 или магнетит с сероводородным газом в продолжение 22 час. при температуре 80—100°. В результате этого нагревания образовывался пирит. Так как сероводород, H_2S , циркулирует в большом количестве в магмах и выделяется при вулканических извержениях, то ясно, что он вступает в реакцию с соединениями железа и образует пирит.

Пирротин, Fe_9S_{11} или магнитный колчедан, образуется аналогично пириту, но встречается реже, хотя иногда в значительных скоплениях, служащих источником для получения серной руды.

Значительно реже встречаются в изверженных породах: молибденит, MoS_2 , в виде блестящих вкрапленников в сикениты, лелитит, или мышьяковистое железо, FeAs_2 , с содержанием серы. Остальные сернистые минералы встречаются редко.

Окислы. Минералы этой группы, представляя собой соединения элементов с кислородом, довольно распространены в изверженных породах, особенно гранитного типа.

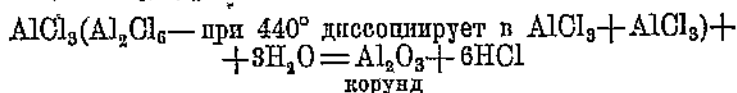
Гипотетически реакции их образования в магмах могут быть представлены, как взаимодействие хлоридов с парами воды:



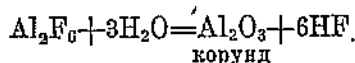
Таким образом по Добре (Daubrée) образуются рутил и др.

Корунд, Al_2O_3 . Вытянутые боченкообразные кристаллы корунда, минерала с исключительной твердостью (9 по Моосу), часто встречаются в гранитах, иногда замещающая собой нацело кварц. Корунд образуется при охлаждении алумосиликатов магм, в которых молекулярное отношение оснований CaO , K_2O , Na_2O к Al_2O_3 равно 1:1 или при содержании глинозема не менее 30%.

Реакции могут протекать:



или:



При этом магма при небольшом содержании HF , проходя через глинистые сланцы, может перекристаллизовать значительное количество аморфного глинозема в корунд.

Хромит, FeCr_2O_4 . Темные вкрапления хромистого железняка обычны в основных оливиновых породах. Гнезда хромита в оливиновых

¹ См. Vogt, Die Sulfid-Silikatschmelzlosungen, „Norw. Geol. Zeit“, Christiania, 1917.

дунитах представляют типичные шпиль, нередко скопляясь в количествах, годных для разработки.

Ильменит, или титанистый железняк FeTiO_3 , и магнетит, $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Эта группа окисленных руд чрезвычайно распространена в изверженных породах.

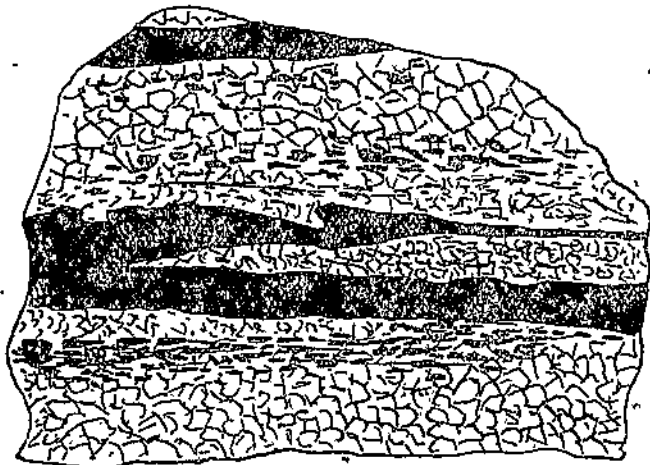
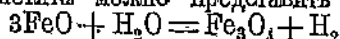


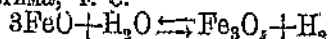
Рис. 230. Тип выделения магнетита в граните (черные пятна—магнетит).

Магнетит, или магнитный железняк, $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (рис. 230).

Образование магнетита можно представить идущим по реакции.



Эта реакция обратима, т. е.

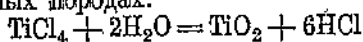


По Чамберлену (Chamberlin) повышение температуры благоприятствует возникновению такой системы, которая при своем образовании поглощает тепло. Сравнение количества тепла, освобождаемого при окислении трех молекул FeO в Fe_3O_4 , с одной стороны, и одной молекулы H_2 в H_2O , с другой, показывает, что в первом случае выделяется 73 700 кал., а во втором только 58 300, следовательно $(3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O}) \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2 + 15\,400 \text{ кал.}$ Так как при этом процессе выделяется тепло, то повышение температуры будет в меньшей степени содействовать течению реакции в направлении слева направо, чем в обратном. Другими словами чем выше температура, тем более благоприятны условия для образования закиси железа и воды по сравнению с условиями, господствующими при более низкой температуре.

Благодаря этому есть много оснований предполагать, что на тех глубинах, где образуются лавы, водород и кислород находятся в комбинированном состоянии в виде воды, так как диссоциация последней вплоть до температуры в 2000°C происходит лишь в ограниченной степени. Если состояние равновесия между водородом, водой и соединением железа установилось в нагретых недрах земного шара—там, где образуется магма—то, как только последняя начнет подниматься,

изверху, теряя свою теплоту, условия этого равновесия будут уже нарушены. Стремление восстановить равновесие при падающей температуре будет благоприятствовать образованию такой системы, которая сопровождается выделением тепла, т. е. в нашем случае магнетитной окиси и свободного водорода. Следовательно *поднимающимся изверху и теряющим свою теплоту лавам присуще стремление к образованию водорода и магнетита или вообще окисно-закисных соединений*. В таком ходе реакции надо без сомнения искать один из важнейших источников водорода, так обильно выделяющегося при любом вулканическом извержении, и в то же время этот процесс оказывает конечно влияние на широкое распространение магнетита в магматических породах.

Рутил, TiO_2 . Рутил в виде призматических кристаллов и иголок коричнево-красного цвета с матовым блеском встречается в различных изверженных породах.



Циркон $ZrSiO_4$. Коричнево-красные призматические кристаллики циркона обычны для более кремнеземистых магм, как гранит, сиенит и пр. Минерал обычный также для алеолитовых сиенитов.

Кварц SiO_2 . Кварц белого, серого, дымчатого цветов — распространеннейший породообразующий минерал. Высокая твердость (7 по Моосу) и молекулярная устойчивость делают его как бы цементом многих пород. Он встречается во всех изверженных породах и после полевшпата самый распространенный минерал в земной коре. На стенках пустот и трещин, в так называемых хрустальных погребах, он выкристаллизовывается в прекрасных кристаллах в форме шестигранных призм с пирамидальным концом.

В зависимости от температуры и давления образуются три важнейшие модификации кремнезема (помимо обычных зерен кварца в породах). При давлении около 1 атм и около 300° образуется тридинит в виде гексагональных пластинок в трахитах, андезитах; между 800 и 575° образуется так называемый β -кварц, например бипирамиды его в кварцевых порфирах; ниже 575° образуется α -кварц большей частью в виде длинных призматических кристаллов. В силу этого кварц может явиться своеобразным *геологическим термометром*¹.

Силикаты — соли кремневых кислот — и **алюмосиликаты** — соли алюмокремневых кислот — являются минералами, составляющими главную часть изверженных пород.

Полевшпаты. Ортоклаз, $KAlSi_3O_8$. Розовый, белый, желтый и мясокрасный кальцевый полевшпат. Микроклин — того же состава, но иного молекулярного строения, выражающегося в иной кристаллической форме (триклинная система).

Альбит, $NaAlSi_3O_8$. Белого или желтого цвета.

Анортит, $CaAl_2Si_2O_8$. Белого, серого и красноватого цветов. Остальные полевшпаты, как олигоклаз, андезин, лабрадорит, представляют собой смеси альбита и анортита в разных пропор-

¹ O. Mügge, Ueber Quarz als geologisches Thermometer. Centralblatt für Mineralogie, 1921, № 20—21.

циях. Полешипаты содержатся в количестве 60% в изверженных породах. В гранитах, сненигах, полешипатовых порфирах неделимые полешипаты ясно различимы в виде светлых частей породы (рис. 231).

Громадных размеров достигают кристаллы полешипата в пегматитовых жилах.

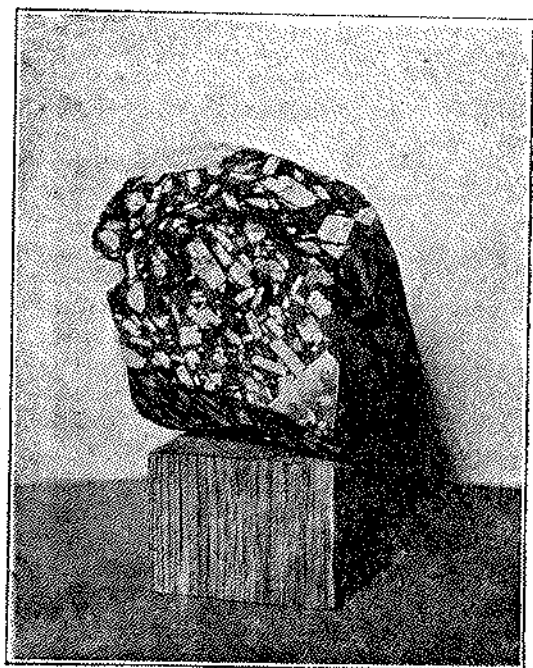


Рис. 231. Порфир с выделениями полевых шпатов.

Нефелин, или элеолит, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Серый просвечивающий минерал с масляным блеском, обычен для сненигов, базальтов и некоторых лав, которые и называются тогда его именем. В соединении с некоторым количеством NaCl нефелиновая магма дает минерал содалит, большей частью синего цвета.

Пироксены: Энстатит, MgSiO_3 , гиперстен, $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_3$, диопсид, $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, авгит и др.

Наиболее широко распространен авгит — метасиликат кальция, магния и железа. Вообще все минералы группы пироксена называются железо-магнезильными минералами. Авгит, темный и зеленоватый, встречается почти во всех изверженных породах. Хорошо образованные кристаллы авгита встречаются в современных лавах.

Амфиболы. Из амфиболов в изверженных породах чаще всего встречается роговая обманка, или сокращенно рогообманка. Рогообманка бывает разных цветов, преимущественно черного и сине-черного.

Зерна ропобанки легко различимы в изверженных породах; особенно богаты ею сиениты.

Олеви́н, Mg_2SiO_4 . Олевин встречается преимущественно в тяжёлых основных породах, как перидотиты, габбро и др. Зелёные зерна обычны в базальтах.

Слюды. Слюды — чрезвычайно сложного состава алюмосиликаты, широко распространённые в изверженных породах. Все слюды отличаются весьма совершенной спайностью и легко расщепляются на мелкие листочки; кроме того сильный блеск и отчетливое выделение минерала дают возможность легко определить их в изверженной породе. Белая слюда, или мусковит, обычна для гранитов и вообще глубоководных кристаллических пород; она никогда не встречается в современных лавах. Черный или зелено-черный биотит — магнетально-железистая слюда, также важная составная часть массивно-кристаллических пород, как гранитов, сиенитов, диоритов и пр.

Гранаты. Из группы гранатов, встречающихся большей частью в хорошо образованных кристаллах кубической системы, в изверженных породах часто встречаются альмандин, или железо-глиноземистый гранат, и андрадит — известково-железистый гранат. В пес-

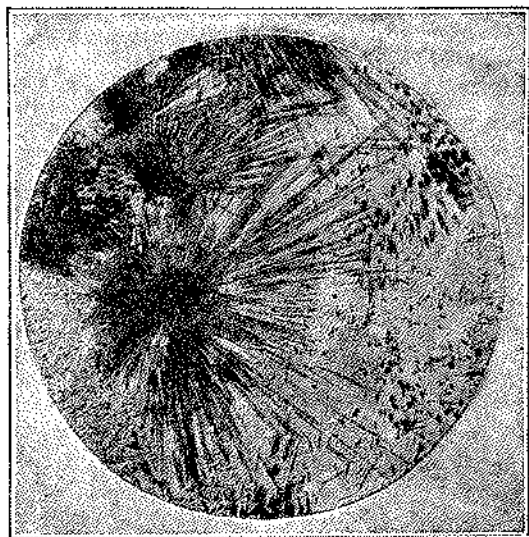


Рис. 232. Турмалиновое солнце в турмалиновом граните. Корнуэльс, Англия. (Увелич. в 45 раз).

ках рек гранитных областей и в шлихах золотых россыпей, образовавшихся из разрушения гранитных пород, всегда встречаются массы красные зерна граната.

Турмали́н. Турмалин — боросиликат очень сложного состава, встречается в длинных, большей частью черных призматических кристаллах (рис. 232). Бывает также розовый, желтый и зеленый. Встре-

чается в древних изверженных горных породах с высоким содержанием кремнезема.

Фосфаты. Из фосфоросодержащих минералов в изверженных породах распространен лишь апатит, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ или Cl , встречающийся в древних малмах более основного типа в виде зеленых, коричне-вых, серых и белых кристалликов.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. J. H. L. Vogt, *Bildung von Erzlagern durch Differentiation*, 1893.
2. J. H. L. Vogt, Ряд статей на те же темы в „*Zeitschrift für prakt. Geologie*“ 1900, 1901, 1907 и 1910.
3. Ф. И. Левинсон-Лессинг, Исследования по теоретической петрографии в связи с изучением изверженных пород Центрального Кавказа, Труды С. П. В. о-ва естествоиспытателей, 1898.
4. Его же, Несколько мыслей о дифференциации и о природе магмы, Изв. Полит. института, том XXIII и др.
5. C. Dölter, *Physikalisch-chemische Mineralogie*, Leipzig, 1905.
6. C. Dölter, *Petrogenesis*, 1906.
7. A. Harker, *The natural history of igneous rocks*, London, 1909.
8. R. Th. Chamberlin, *Gases in rocks*, Washington, 1908.
9. J. P. Iddings, *Igneous rocks*, New York, 1913.
10. H. E. Boeke, *Grundlagen der physikalisch chemischen Petrographie*, 1915.
11. E. V. Wolf, *Der Vulkanismus*, 1914.
12. W. Lindgren, *Mineral deposits* New York, 1919. Нов. изд. — 1925.
13. Делл, Магматические горные породы и их происхождение, ч. II. пер. Герасимова, Москва, 1920.
14. Niggli P. *Ore deposits of magmatic origin, their genesis and natural classification*, Translated by H. C. Boydell (revised and supplemented by Dr Niggli and Dr R. L. Parker). 93 pp. London Thomas Murby. 1929.
15. А. Заварицкий, Физико-химические основы изверженных горных пород, Л. 1928.
16. W. Kunitz, *Beiträge zur Genesis der magm. Assoziationen*, Chemie der Erde, IV, 1929.
17. Ross, *Physico-chem. Factor contr. magm. Different.*, „*Econ. Geology*“ XXIII, 1928.
18. Н. И. Везобородько, Главные типы месторождений полевых шпатов на Волыни, Матер. совещ. Геол. ком. по полев. шпату, 1928.
19. Его же, Магматиты Подолья. Зап. Киевск. товари. природовед. 1928.
20. А. Н. Заварицкий, О классификации магматит. рудных месторождений, Изв. Геол. ком. XLV, № 2, 1926.
21. Л. И. Крыжановский и А. Н. Лабунцов, Отчет о командировке на Алтай, докл. А. Н., серия А, 1926.
22. В. И. Крыжановский, Пегматит. жилы окр. Урги в Монголии, докл. А. Н., серия А, 1925.
23. Е. А. Кузнецов, Петрографич. описание Соймон. долины, Труды Инст. прикл. мин. НТУ, № 32, 1927.
24. N. D. Bowen, *Evolution of igneous rocks*, Priny, 1928.
25. I. C. Flett и др. (Gregory, Evans, Hallimond), *Physic. Chemistry of Igneous Rock. Formation*, Trans. Faraday Soc. XX, 1924-25.
26. S. Gordon, *Mining Cryolite in Greenland*, „*Eng. Min. Journ.*“ 1926.
27. W. Kunitz, *Die Mischungsverhältnisse in der Turmalingruppe und die genetischen Beziehungen zwischen Turmalinen und Glimmern*, „*Chemie der Erde*“ IV, 1929.
28. A. Larsen, *A hydrothermal origin of Corundum*, „*Econ. Geology*“ XXIII, 1928.
29. С. Смирнов, Кочкарское месторожд. розовых и золот. топазов на Южн. Урале, „*Зап. Минер. общ.*“ LIV, вып. I, 1925.
30. П. Сущинский, Очерк месторожд. цветных камней юго-вост. Забайкалья. Труды Инст. прикл. минер., М. 1925.
31. Его же, Аквамарин с Шерловой горы, Изв. Донск. политех. инст. X, 1926.
32. А. Е. Ферман, Драгоценные и цветные камни СССР, Л. 1925.

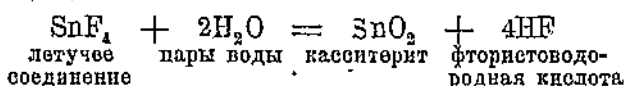
33. Его же, Изумрудные копи и их происхождение, „Уральский техник“ № 5, 1925.
34. Его же, Тантал и ниобаты на Ср. Урале, Докл. Акад. наук, серия А, 1925.
35. Его же (совместно с Н. И. Влодавцем), Процессы каолинизации в Изумрудных коях на Урале, Докл. А. Н., сер. А, 1928.
36. E. K. Gedney and Berman H., Huge Beryl-Crystals at Albany, „Rock products“, XXXII, 1929.
37. E. Holden, The cause of color of smoky quartz and amethyst, „Amer. Miner.“ X, 1925.

ПРОЦЕССЫ ПНЕВМАТОЛИЗА.

ПЕГМАТИТОВЫЕ ЖИЛЫ.

Магма содержит летучие составные части, как то: В, H_2O , H_2S , HF , HCl , CO , CO_2 , SO_2 .

Из них особенно большое значение как агентов минерализаторов имеют бор, фтористоводородная кислота и пары воды. Газообразные вещества, действуя на застывающую изверженную породу, иногда совершенно видоизменяют ее. Этот процесс известен при образовании коренных оловянных месторождений. Реакция образования оловянного камня протекает так¹:



Причем фтористоводородная кислота видоизменяет окружающие минералы, образуя из силикатов гранита — топаз, литиевую слюду и кве-

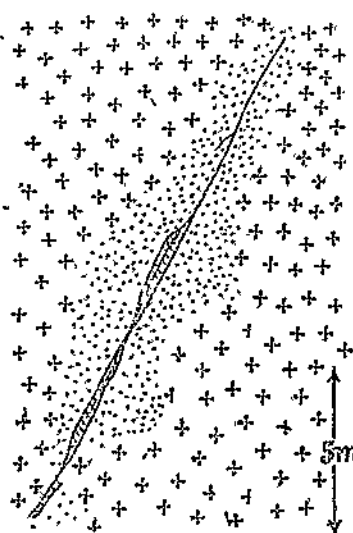


Рис. 233. Переход гранита в грейзен.

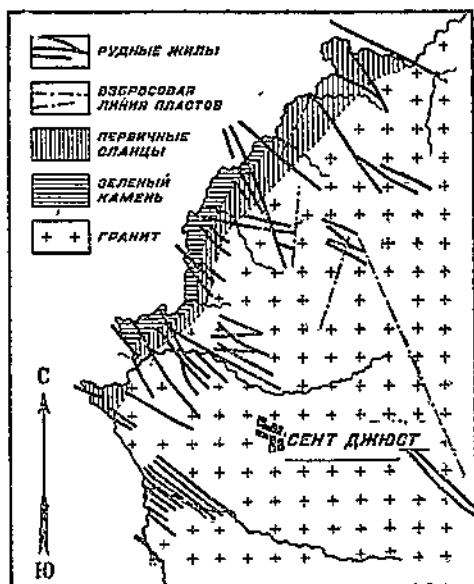
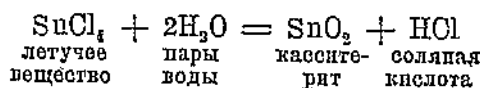


Рис. 234. Жилы оловянных месторождений в Корнуальске.

¹ G..A. Daubrée, Etudes synthétiques de géologie expérimentale, Paris 1879.

гранная гранит, окружающий жилы оловянного камня, в новую горную породу, называемую грейзеном и состоящую из вышеперечисленных минералов. Этот процесс хорошо виден на рис. 233, изображающем проникновение газов в гранит и поле изменения гранита в грейзен.

Кроме того значительно реже, но идут реакции и с хлористыми соединениями:



В общем тип месторождений связан всегда с гранитными магмами, располагаясь в краевой зоне в связи с дислокационными трещинами.

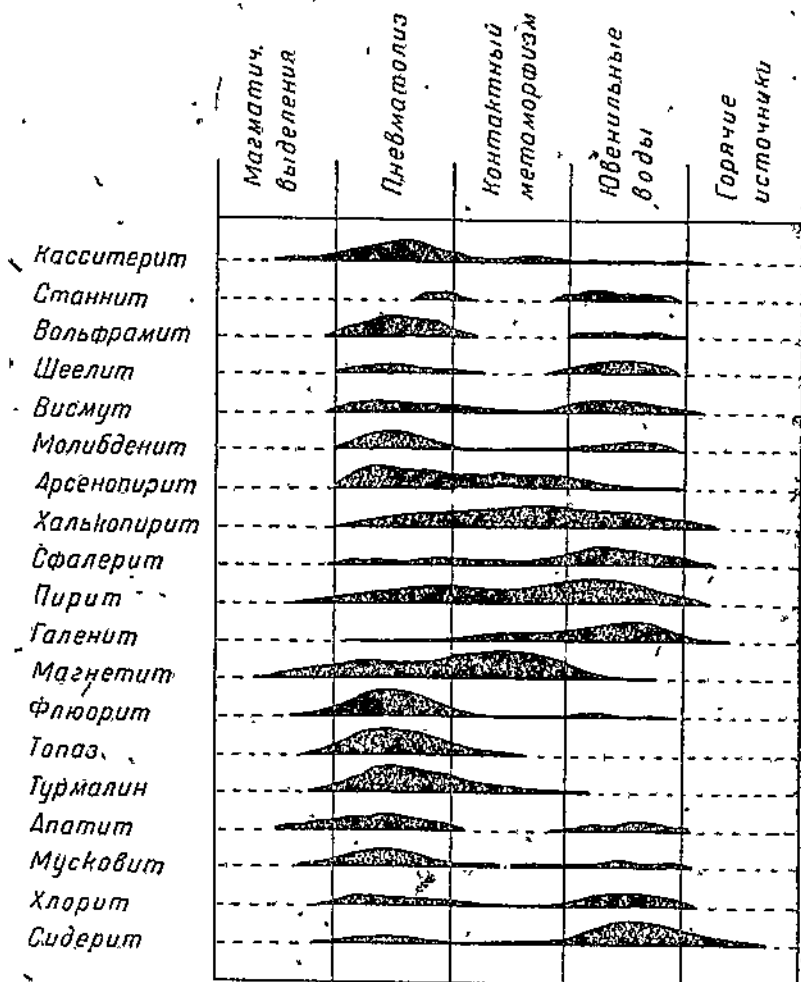


Рис. 235. Распространение минералов в различных генетических циклах зоны магмы.

Эти месторождения изображены на рис. 234 и представляет разрез одного участка обширных Корнуэльских месторождений¹. Пневматолитические процессы, характерные для месторождений касситерита, являются источником образования многочисленных минералов. Главнейшие из них описаны Фергусоном (Ferguson)² в таблице на стр. 354 (рис. 235), являющейся результатом изучения месторождений касситерита. Параллельно указано распространение этих же минералов в других генетических очагах. Относительные величины изображены утолщением линий. Слева направо идет уменьшение давления и температуры, и диаграмма охватывает всю зону магмы.

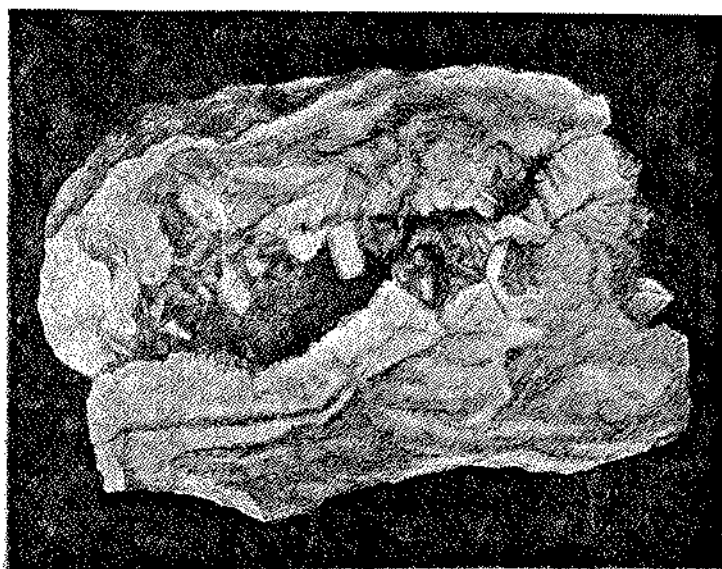


Рис. 236. Пустота с кристаллами дымчатого кварца, берилла и топаза (по Е. А. Ферману).

Кроме вышеперечисленных необходимо отметить минералы берилла, лепидолита и минералы редких земель. Все эти минералы носят название минералов пегматитовых жил. Пегматитовыми жилами мы называем образования магмы последних моментов ее застывания в обстановке насыщения ее перегретым паром и газами H_2O , HF , HCl и др. У поверхности застывания магмы эти газообразные вещества особенно энергично вступают в реакцию с кристаллизующимися минералами, образуя многочисленные пустоты, где свободно растут кристаллы, и образуют ряд типичных минералов с бором и фтором, как топаз, турмалин, слюды и др.

Благодаря этой обстановке свободного роста минералы пегматитовых жил, тождественные с минералами пазерлевых пород, как кварц,

¹ Mac Alister, Geol. Aspect of the Lodges of Cornwall. «Econ. Geol.», III.

² Ferguson and Bateman. «Econ. Geol.», VI).

по лепншат, отличаются большими размерами и хорошо образованными кристаллами (рис. 236). Температура образования пегматитов лежит от 575 до 1000°¹. Низкое давление поверхностных частей застывающей магмы дает возможность газам и парам воды образовывать с остаточной частью магмы своеобразную смесь, не смешивающуюся уже с материнской породой. В остаточной части магмы после кристаллизации ее основных минералов скапливаются редкие элементы, дающие потом в застывшем пегматите такое большое количество минералов редких земель, часто совершенно отсутствующих в основной породе (по Бродгеру).

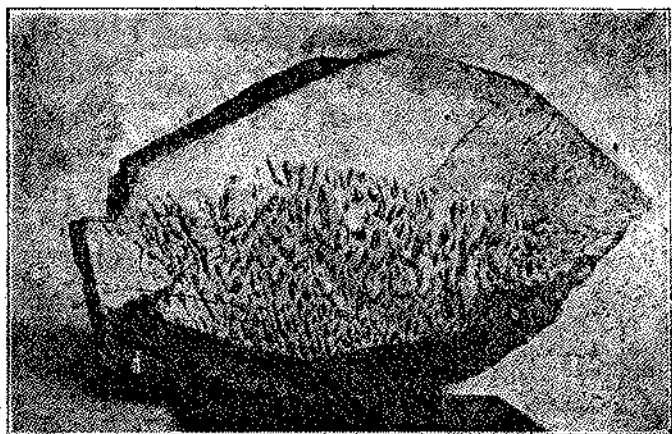


Рис. 237. Письменный гранит (еврейский камень), Мурзинка, Урал.

Очень характерна для пегматитов одновременность образования различных минеральных ассоциаций по закону эвтектики (см. рис. 222). Особенно часто встречается эвтектическая смесь кварца и ортоклаза, дающая типичный для пегматитовых жидкостей так называемый письменный гранит, или еврейский камень (рис. 237).

Глубинным массивным горным породам вследствие высокого давления не свойственны пегматитовые жилы. Поэтому пегматиты главным образом известны в кислых горных породах гранитного типа и значительно реже в габбро и других основных породах.

Это видно и по распределению элементов в изверженных горных породах по подсчетам Фогта. В то время как в основных породах преобладают кальций, барий, магний, алюминий, хром, железно, марганец, в пегматитах концентрируются главным образом кремний, калий, литий, бериллий, бор, церийтретовая группа, олово, торий, цирконий, тантал, ниобий, фтор, вольфрам, уран и молибден.

¹ Wright and Larsen, Quartz as a geological thermometer. „Amer. Journal of Science“, V. 28.

МИНЕРАЛЫ ПЕГМАТИТОВЫХ ЖИЛ

По минералам пегматитовые жилы можно разделить на группы:

1. Обычные слюдяные пегматиты

Преобладающим минералом является мусковит в массе пошпата. Кристаллы его — «пакеты слюды» — достигают больших размеров, и слюдяные пегматиты служат источником добычи этого ценного для электротехники минерала. Мировой известностью пользуются пегматиты в Бенгалии (Индия) и в Сев. Америке. Разрез такого месторождения приведен на рис. 238. Из этого разреза видно, что слюда

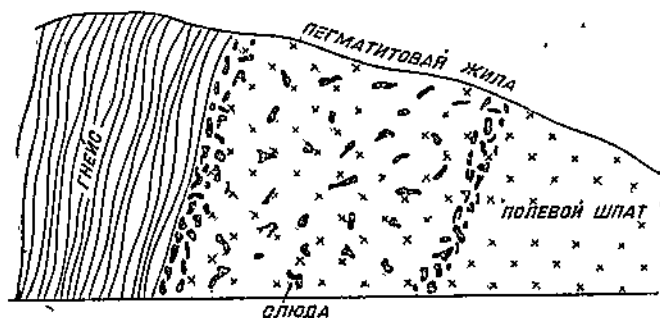


Рис. 238. Схематический разрез рудника Вильнев (Villeneuve), Ottawa, Канада).

частью распределена равномерно по всей массе пегматита. Слюда может также встречаться в виде отдельных гнезд. Обычно же скопления слюды носят характер удлиненных зон, расположенных вдоль одного или обоих залеганий пегматитовой жилы или вдоль кварцевых ее образований. Размеры жил довольно разнообразны — от нескольких метров до 1 км¹.

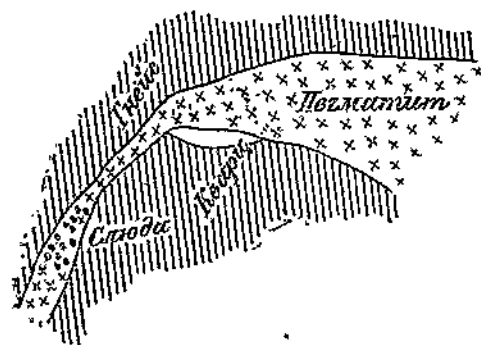


Рис. 239. Тип пегматита Мурман.

В СССР слюдяные пегматиты известны в Ильменских горах близ Миаса, где в начале прошлого столетия был заложен ряд копей, Ильменская слюда небольшого размера — 5—8 см, но отличается чистотой и прозрачностью. Значительные слюдяные пегматиты расположены на севере — на побережье Белого моря на Мурмане. Тип такого пегматита изображен в разрезе на рис. 239². Эти пегматиты служили источником значительной

¹ Hugh S. de Schmid M. E., Mica, its occurrence, exploitation and uses, 1912.

² И. И. Гинзбург, Слюда, ее свойства, применение и распространение в России. Петроград 1920.

добычи слюды еще с XVI в. Самые крупные пегматиты в СССР были найдены на р. Маме в Баргузинском районе в нескольких стах километрах на север от Байкала. Крупные включения слюды, достигающие 60 см², тянутся жилой на большое расстояние. Несомненно в будущем здесь будет крупный центр слюдяной промышленности.

2. Апатитовые пегматиты

Пегматитовые жилы с апатитом тесно связаны со слюдяными пегматитами. На рис. 240, представляющем разрез такого месторождения, ясно виден тип залегания апатитов.

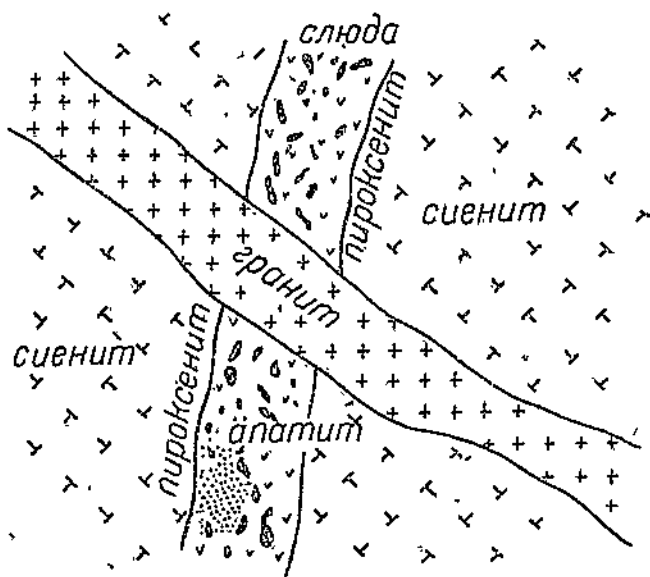


Рис. 240. Пегматитовая жила с апатитом.

Главным агентом в апатитовых жилах является HF. Апатит— $\text{Ca}(\text{Cl}, \text{F})\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_3$ чаще встречается на контактах, там, где пегматит соприкасается с осадочной породой, несущей в себе фосфорную кислоту в виде остатков животных организмов и т. п.

3. Турмалин-пегматит

4. Топаз-пегматит

Эти два типа пегматитов часто встречаются вместе; известны их смешанные типы. Главными минерализаторами являются бор и фтор, из металлов играют большую роль литий и бериллий.

Процесс образования схематически можно представить так:

Застывающий силикатовый раствор магмы	Газы магмы, действующие как минерализаторы	Минералы
SiO_2 } Al_2O_3 } BeO Li_2O K_2O Na_2O SiO_2 } Al_2O_3 }	HF H(OH) SiF_4 B HF	Топаз $\text{F(OH)Al}_2\text{SiO}_4$ Берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$ Турмалин — изменяемая формула $(\text{Li, Na, K})_3\text{Al}_3\text{Si}_3\text{B}_3\text{H}_3\text{O}_{18}$¹ $\text{Li}_2\text{K}_2\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{F}_4$ Лецидолит²

Известные месторождения этого типа расположены на Урале, в так называемом Мурзинском районе, где превосходные кристаллы топазов, турмалинов, горного хрусталя разных цветов служат источником развития особой отрасли промышленности — гранитного дела. Гигантскими кристаллами топаза славятся пегматитовые жилы Нерчинского района до р. Урульге. Оттуда же известны большие изеденные кристаллы розовых и зеленых турмалинов. Эти своеобраз-



Рис. 241. Левкамарины из адуйских копей со следами разъедания.

¹ Dörlter, Handbuch der Mineralchemie. В. II. 1917, S. 771.

² Ibid, S. 455.

ные фигуры разьедания характерны для минералов пегматитовых жил, образующихся в атмосфере фтористого водорода.

Берилл встречается в пегматитах в Мурзинском районе. Кроме того на Урале Адуйские копи близ Свердловска дают превосходные кристаллы; на рис. 241 изображены кристаллы аквамарина со следами разьедания¹. Большое промышленное значение имеют в Забайкальи Адуи-Чологонские копи. Восточная оконечность хребта Чологон получила по богатству бериллами особое название — Шерловая² (или Ширловая) гора, названная так в 1788 г. Горным управлением от слова шерл или ширл, которым буряты называют добываемый здесь аквамарин и вообще всякие удлиненные прозрачные кристаллы; расположена в 22 км на северо-восток от ст. Борзя, Забайкальской жел. дор.

5. Пегматиты минералов редких земель (*колумбит-пегматит*, *эксенит-пегматит* и пр.).

Минералы пегматитов этого типа богаты входящими в них редкими элементами и формулы их чрезвычайно сложны. Из наиболее простых характерны: колумбит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$; танталит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$; самарскит, содержащий Y, Nb, Ta и уран; пирохлор — соединение $\text{Ca}, \text{Ce}, \text{Na}, \text{H}, \text{U}$ с Nb, Ti и др.; монацит $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Di})\text{PO}_4$. Все вышеперечисленные минералы встречаются в пегматитах Ильменских гор на Урале³. Мировой известностью пегматиты редкоземельных минералов пользуются в Норвегии — особенно пегматиты местечка Иттерби. Из минерала гадолинита этого месторождения были впервые выделены следующие новые элементы: иттрий в 1796 г., тербий и эрбий в 1842 г., иттербий в 1872 г., скандий в 1879 г.

В норвежских пегматитах встречаются⁴: гадолинит, $\text{Be}_2\text{Fe}_2\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$; фергусонит — главным образом YNbO_4 , кроме того содержит уран; эксенит — главным образом соединения Nb, Ta с Y, U, а также с Ca и Fe. Кроме того ортит с содержанием тория, известный также в СССР у Байкала близ ст. Слюдянка. Несколько особняком стоят пегматиты с цирконом, выделенные Нигли (Niggli) в отдельную группу⁵. Этот тип известен у нас также в Ильменских горах, и характерны для него минералы следующие: циркон, ZrSiO_4 , пирохлор (см. выше), титанит, CaTiSiO_5 . В норвежских месторождений в области Осло (Христианли), где тип был установлен, известен еще торит.

Редкоземельные пегматиты известны на Мадагаскаре и в Гренландии. Чрезвычайно интересны открытые на Мурмане Северной экспедицией пегматиты с циркониевыми минералами авдвалитом и вивалитом, содержащими железо, марганец, кальций и натрий с цирконием и хлором⁶.

¹ А. Е. Ферсман, Драгоценные и цветные камни России. Т. I. Петроград 1922.

² Проф. П. П. Сущинский, Очерк месторождений цветных камней юго-восточного Забайкалья. Изд. НТУ ВСНХ СССР № 88. Москва 1925.

³ Белянкин, Петрографическая карта Ильменских гор с приложением карты копей. Петроград 1915.

⁴ C. Dölter, L. c. В. II. Стр. 178 и др.

⁵ Cr. Niggli, Lehrbuch der Mineralogie, S. 514—521. 1920.

⁶ А. Е. Ферсман, Отчет Хибинской экспедиции. 1923.

6. Корунд-пегматиты.

Характерными минералами этих пегматитов являются: корунд— Al_2O_3 , силламанит— Al_2SiO_5 , кордиерит— $\text{H}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_4\text{Al}_3\text{Si}_5\text{O}_{37}$.

Драгоценная разновидность корунда—сапфир—встречается в корунд-пегматитах Кашмира в Индии вместе с редким минералом—эвклазом HfBeAlSiO_5 . На Урале в Ильменских горах корунд встречается вместе с редким мелкокристаллическим минералом—уралоритом.

7. Совершенно особняком стоят пегматитовые жилы Гренландии с криолитом, Na_3AlF_6 . Главная масса криолита залегает в виде штока в граните. В криолите встречаются: галенит, сфалерит, халькоперит. Месторождение расположено близ Ивигоута и доставляет все количество криолита, необходимого при выплавке алюминия, на мировой рынок. Аналогичное месторождение, но в малом размере и уже теперь выработанное, было встречено в Ильменских горах близ Миаса.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. L. H. L. Vogt, Beiträge zur genetischen Classification... und der durch Pneumatolise entstandenen Erzvorkommen, „Z. f. prakt. Geol.“, V. 2, 1894, V. 3, 1895.
2. W. O. Crosby, Origin of pegmatites, „Am. Geologist“, V. 19, 1897.
3. Thomas and Alister, The geology of ore deposits, London 1909.
4. B. S. Bastin, Origin of the pegmatites of Maine, „Bull. Geol. Survey“, № 445, 1911.
5. F. Wolf, Vulkanismus, 1914.
6. А. Е. Ферсман, Пышменная структура пегматитов и причины ее возникновения, „Изв. Акад. наук“, 1915 г.
7. W. H. Emmons, The principles of economic geology, New York, 1918 (2 ed. 1922).
8. P. Niggli, Das Magma u. s. Producte, „Naturwissenschaft“ № 9, 1921.
9. P. Niggli, Lehrbuch der Mineralogie, Berlin 1920.
10. Demmer B. und Tietze O., Die nutzbaren Mineralien, I—II B. Stuttgart 1928 (там же пробная библиография).
11. А. Е. Ферсман, Пегматиты, т. I. 1931.
12. O. Andersen, Genesis of some types of feldspar from granite pegmatites, „Norsk. Geolog. Tidsskrift“ X, 1928.
13. Д. С. Веллякин, О железистом полевоом шпате с острова Мадагаскара, „Изв. А. Н.“, 1926, стр. 1199—1266.
14. E. Baier, Lamellenbau und Entmischungsstruktur der Feldspäte; „Ztschr. f. Krist.“ LXXIII. 1930, S. 465—561.
15. F. Hess, The Natural History of the Pegmatites, „Eng. a Mining Journ. Press.“ V. 120, Aug. 1925.
16. А. Ферсман, К минералогии пегматитовых жил Ср. Урала, Труды Минер. музея, А. Н., II, 1927.
17. W. Schaller, Genesis of Lithium Pegmatites, „Amer. Journ. of Science.“ X, 1925.
18. Его же, Mineral Replacements in pegmatites, „Amer. Mineral.“ XII, 1927.
19. S. Gordon, Mining Cryolite in Greenland, „Eng. a Min. Journ.“.
20. P. Niggli, Die leichtflüchtigen Bestandteile in Magma, 1920.
21. Е. Костылева и Н. Крокопченко, Пегматитовые жилы Приуральяского района Сев. Монголии, Труды Монгол. экспед. Л. 1926.
22. A. Fersmann, Ueber die Natur d. Pegmatitbildungen, Докл. А. Н., серия А, 1924.
23. А. Ферсман, Процессы замещения в гранитных пегматитовых жилах, Докл. А. Н., серия А, 1926.
24. Н. И. Безбородько, Граниты Волыни и их пегматиты, „Бюлл. Укр. геол. ком.“, 1929.

25. П. А. Борисов, К вопросу о пегматитовых жилах зап. Беломорья, Труды Инст. науч. севера, вып. 33, 1926.
26. Е. Костылева и Н. М. Проконенко, Пегматит. жилы Приурганского района сев. Монголии, Сб. Ак. н. "Сев. Монголия", 1926.
27. В. И. Крыжановский, Пегматит. жилы окр. Урги в Монголии, Докл. А. Н., серия А, 1925.
28. В. И. Лучицкий, Полевые шпаты и пегматиты, "Минер. сырье" № 3, 1930.
29. К. К. Матвеев, Матер. совещ. по полевому шпату, Мат. КЕПС, № 63, 1927, со статьями П. Григорьева, П. Борисова, О. Воробьевой, И. Гинзбурга, И. Безбородько, А. Твалчредидзе, В. Влодавца и др.
- К. К. Матвеев, Матер. совещ. по полевому шпату, Мат. КЕПС, № 71, 1928, со статьями В. И. Влодавца, П. Н. Стефанова и др.
30. А. Е. Ферсман, О горизонтальной ступенчатости некоторых гранитных пегматитов, Докл. А. Н., серия А, 1926.
31. Еро же, О возрасте урановых минералов в пегматитовых жилах, Изв. А. Н., 1926.
32. Еро же, Полевошпатовая промышленность Норвегии, "Минер. сырье" № 9—10, 1928.
33. Еро же, Гелезис вольфрамовых и связанных с ними оловянных руд в Забайкалье, Сборн. по вольфраму, I, изд. А. Н., в серии бурято-монгольской.
34. O. Andersen, Feldspat, "Norges Geol. Undersökelse" № 128, A, 1926.
35. Th. Barth, Die Pegmatitgänge im Seiland-Gebiet, Oslo, "Sktifter Norske Vidensk.", Akad. Oslo Mah.—Nat. Klasse, 1927.
36. Еро же, Zur Genesis der Pegmatite im Urgebirge im südl. Norwegen, "Neues Jahrb. f. Miner." B. LVIII, A, 1928.
37. Еро же, Zur Genesis der Pegmatite im Urgebirge, "Chemie der Erde" IV, 1928.
38. H. Ellsworth, Pegmatites in Canada, "Amer. Mineral" XI, 1926, 1928.
39. A. Ферсман, Über migmatische Pegmatite des Urals, Докл. А. Н., серия А, 1925.
40. Еро же, Schriftstruktur der Granit pegmatite u. ihre Entstehung, "Ztschr. f. Krist." B. 69, 1928.
41. H. J. Fraser, Paragen. of the New Pegmatites, "Amer. Miner." XV, 1930.
42. I. L. Gillson, Granite of Conway, New Hampshire, and its druse minerals, "Amer. mineral." XII, 1927.
43. R. Gibson, Influence of pressure on high-low invers. of quartz, "Journ. Phys. Chem.", 1924.
44. F. Hess, Natural History of pegmatites, "Eng. a. Min. Journ.", CXX, № 8 (Aug. 22).
45. A. Kieslinger, Pegmatite der Kor. Alpe, "Sitzungsber. Akad. Wissensch.", Wien. Math.-nat. Kl., 137, 1928.
46. J. Koenigsberger, Granitintrusion und Klufmineral, Schweiz, "Min.-Petr. Mitt." VIII, 1928.
47. Kramck, Aberyll-bearing pegm. from Unksu, "Bull. com. géol. Finlande" № 85, 1923.
48. A. Lacroix, "C. R." № 6, 1928 (Пегматитовые эффузивные породы).
49. F. Müllbauer, Die Pegmatit und Kontaktlagerstätte von Wipphof bei Donau, "Centralbl. f. Min." Abt. A. 1930.
50. Read, Diopside bearing pegmatite near Ellon, "Trans. Edinb. geol. Soc." XI, 1925.
51. E. Renning, Die Natasmine in Südwestafrika, eine pegmat.-pneumat. hydroth. Lagerstätte, "Neues Jahrb. f. Min." B, LII, 1925.
52. W. Schaller, Genesis of Lithium pegmatites, "Amer. Journ. Sci." X, 1925.
53. Schwartz and R. L. Leonard, Contact action of pegmat. on schist, "Bull. g. ol. Soc. America", XXXVIII, 1927.
54. J. Sekanin, Nerosty moravských pegmatitu, "Casopis Morav. Zem. Musea" XXVI, 1 28.
55. H. S. Spence, Feldspar in Sweden, Canad. Min. Journ., 1926.
56. Еро же, Pegmatite minerals of Ontario a. Quebec, "Amer. Miner." XV, 1930.
57. Еро же, Remark occur of thucholite a. of lin pegm., "Amer. Miner." XV, 1930.
58. St. Thugutt, Sur la genèse des feldspathiques des filons pegmatiques, "Arch. du Laborat. de minér. de la Soc. Sc. de Varsovie" I, 1925.
59. E. Watson, Diopside-bearing pegmatite in dolomite, "Econ. Geol." XXIV, 1929.

60. С. П. Ничипоренко, Пегматиты в окол. м. Трояніва, в їх відношенню до тініе пегматитів Волині, „Збірн. Вол. Науково-дослідн. музею“, I, Житомир., 1928.
61. С. И. Назаревич и Ф. Лысенко, Полешиаты Волини, „Мин. сырье“ № 2, 1928 (см. „Минер. сырье“ № 11, 1927).
62. А. А. Твалчрелидзе, Матер. совещ. по полевоу шпату, „Мат. произв. ссыл СССР“ № 63, 1927.
63. В. И. Влодавец, Канское месторождение полевого шпата, Мат. КЕПС А. н., № 63, 1927.
64. И. Молчаев, Заметка о Канском местор. полевого шпата, „Изв. Геол. ком.“ XLVI, № 9, 1927.
65. Н. П. Яхонтов, Кварцевые материалы. Нерудные ископаемые, II, 1927.
66. E. Schibold, Über den Feinbau der Feldspäte. Centralbl. f. Min. Abt. A., 1929.
67. V. M. Goldschmidt, Elemente u. Minerale pegmatitischer Gesteine. Nachrichtliches Wissen. Göttigen. Math. Phys. Kl., 1930, № 4.
68. H. Bomen и F. Ganyer, Pegmat. Miner. of Poland. Amer. Miner. XV, 1930.
69. K. K. Landes, Paragen. gran. pegm. of central Maine. Amer. Min. X, 1925.
70. Zur. Mühlen, „Die Lagerstätten von Wolfram, Zinn und Molybdän in Russland“, Ost-Asien Inst. 1926. Stuttg.
71. W. Kunitz. Die Rolle des Titan in den Silikaten. Centralblatt f. Mineral. A. 1928.
72. Б. А. Гаврусевич, К минер. и геохимии пегматитов Волини. „Труды Минер. музея А. Н.“ 1930, IV.
73. А. Е. Ферман. Геохимическая диаграмма Хибинских тундр. Докл. А. Н., серия А, 1931.
74. Ероже, К геохимии золота. Докл. А. Н., серия А, 1931. -

Примечание. Приведенная библиография относится также к большинству последующих глав.

МИНЕРАЛЫ ВУЛКАНОВ

Вулканическими горными породами являются главным образом темные мелафиры, базальты, светлые липариты, трахиты, андезиты, современные лавы и всевозможные продукты вулканических извержений — вулканические пuffs, брекчии и т. п. Наконец газообразные выделения — углекислота, пары воды и пр. Обычными минералами лав служат: роговая обманка, которая вынадеает в лавах большей частью хорошо образованными моноклинными кристаллами, почему называется базальтической рогообманкой.

Авгит. Также в превосходных моноклинных кристаллах встречается в лавах Чехии и на Везувии.

Типичным минералом лав является лейцит, KAlSi_2O_6 , серовато-белые двадцатичетырехгранники которого так обычны в лавах Везувия. Нофеан: $2\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + \text{Na}_2\text{SO}_4$.

Галюин: $2(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2 + (\text{Na}_2, \text{Ca})\text{SO}_4$.

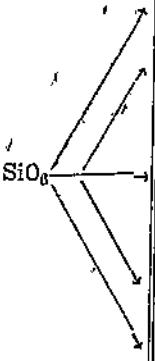
Первый шепельно-серый, второй голубо-синий известны у Лахских озер близ Кобленца.

Из полешипатов особенно часто встречается в трахитах и андезитах салидин с большим содержанием патрия.

Наиболее яркой и характерной группой минералов вулканов являются так называемые цеолиты. Самое имя (цео — вскипало — дуред пильной трубкой) указывает на большое содержание воды. Нитгия

дает этой группе такое расположение, которое хорошо обнаруживает все присущие ей свойства (см. таблицу на стр. 364).

Изменяющееся содержание воды в цеолитах бросалось в глаза всем исследователям. Эта своеобразная пересыщенность водой является результатом образования цеолитов в конце фазы извержения, когда обильные пары взаимодействуют в пустотах застывающей лавы с алюмосиликатными соединениями. Классическим месторождением этого типа является

		Преобладает		Преобладает	
		$(\text{SiO}_2 \cdot n\text{SiO}_2)\text{Al}_2\text{R}^{\text{II}}$ где $\text{R} = \text{Ca}(\text{Ba}, \text{Sr})$		$(\text{SiO}_2 \cdot n\text{SiO}_2)\text{Al}_2\text{R}_2^{\text{I}}$ где $\text{R} = \text{Na}$	
	1 SiO_2	$-2,5\text{H}_2\text{O}$	Томсонит		
	2 SiO_2	$3\text{H}_2\text{O}$	Сколелит	$2\text{H}_2\text{O}$	Натролит
	3 SiO_2	$4\text{H}_2\text{O}$ $6\text{H}_2\text{O}$ $5\text{H}_2\text{O}$	Ломонтит Шабазит Филлипсит	$2\text{H}_2\text{O}$	Анальцит
	4 SiO_2	$4-5\text{H}_2\text{O}$	Гармотом (Ba)		
	5 SiO_2	$6-7\text{H}_2\text{O}$ $5-6\text{H}_2\text{O}$	Ч.		

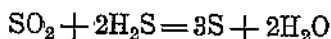
является Ауссиг в Чехии, где большие кристаллы анальцита и агрегаты натролита и других цеолитов заполняют пустоты базальта. В СССР цеолиты в огромном количестве известны в области вулканических пород р. Селенги в Восточной Сибири, а также в лавах Кавказа и Крыма.

Чистый кремнезем образуется в виде опалов, особенно в виде гшала — водно-прозрачного опала, часто сопровождающего цеолиты.

В минералах базальтов концентрируются халцедоны, заполняя их своеобразно слоистой массой, носящей название агат, часто с кристалликами кварца внутри.

Ряд минералов является общим для массивно-кристаллических и вулканических горных пород. Только для данной фазы характерны минералы вулканических возгонов и газообразные продукты.

Сера. Появляется как простой продукт возгона или же при действии SO_2 на H_2S :

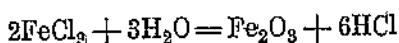


или же при действии на сероводород кислорода воздуха или лавы ($\text{H}_2\text{S} + \text{O} = \text{S} + \text{H}_2\text{O}$). Вместе с серой иногда встречается также селен.

Хлориды. Представляют наиболее частый продукт возгона, в особенности NaCl возгоняется непосредственно из сухих фугарол, оседая

на холодных частях, например окружающей лавы или в воздухе. В других случаях NaCl и хлориды (KCl, FeCl₃) являются вторичными продуктами действия горячих хлористоводородных паров на горные породы (например по краям трещин кратера или в лаве). Происхождение хлористых соединений на разрушенной и посветлевшей поверхности краев трещин в горных породах при выделении из таких трещин HCl, легко узнаваемой по запаху, обнаруживается очень ясно. Преобладает NaCl или KCl в зависимости от присутствия натриевых или калиевых минералов в разлагающихся горных породах; на богатых лейцитом (т. е. калиевым минералом) породах Везувия преобладает KCl, а на плагиоклазовых породах Санторина преобладает NaCl.

Оксиды. Хлориды при высокой температуре разлагаются водяным паром, давая летучие окислы, как то легко подтверждается и опытом, например железный блеск (Везувий, Этна, Липарские вулканы) получается по реакции:



Реже образуются магнитный железняк, тенорит CuO в лаве Везувия.

Из фтористых соединений таким же путем возникает кварц, дириксон, шпинель.

Образование минералов процессами пневматолита в связи с вулканическими явлениями может происходить иногда довольно интенсивно; так в 1817 г. на Везувии в одной из трещин произошло отложение Fe₂O₃, достигшее в течение 10 дней мощности более 0,9 м (по Брейтгауту).

Борная кислота, встречающаяся на некоторых вулканах, сама по себе мало летуча, но может быть увлекаема водяным паром и отлагается на поверхности при посредстве его в виде сассолина — B(OH)₃. Возможно, что внутри земли находятся борсодержащие минералы, или же она является первичной составной частью магмы.

Сульфиды. Образуются при действии H₂S на пары хлористых металлов (CuCl₂ + H₂S = CuS + 2HCl); так из хлористого свинца образуется свинцовый блеск. Действием сернистой кислоты на окислы железа образуется серный колчедан. Реальгар и аурипигмент образуются как продукты прямого возгона или из мышьяковистых соединений и H₂S.

Карбонаты. Хлористые соединения разлагаются водяным паром при высокой температуре с образованием HCl и окислов, которые с CO₂ дают углекислые соединения, часто встречающиеся в виде тонких налетов вокруг отверстий фумарол.

Сульфаты. Разложение горных пород около сольфатар энергичнее всего происходит под влиянием HCl, SO₂ и серной кислоты, образующейся из сернистого газа или сероводорода. Почти все минералы разлагаются действием серной кислоты, причем растворимость их составных частей следует такому ряду: MgO, Fe₂O₃, CaO, Na₂O, Al₂O₃, K₂O, SiO₂; за счет легче растворимых основных частей минералы и породы обогащаются кремнеземом, а с увеличением содержания последнего пони-

жаются их разлагаемость серной кислотой. Прежде всего вследствие потери железа породы светлеют, становятся все богаче глиноземом и кремнеземом и наконец остается землистая масса, состоящая преимущественно из кремнезема. Растворяемые основания соединяются с серной кислотой в сульфаты, удаляемые как легко растворимые или отлагаемые тут же значительными массами.

Из магнезии образуется горькая соль, из железа — гидроксид; известь превращается в гипс; окись натрия дает глауберову соль, глинозем дает с калием красцовый камень (алунит). Гипс часто выполняет красивыми кристаллами пустоты в горных породах; алунит часто появляется огромными массами в сандиновых (калевых) трахитовых породах (например близ Чивитта-Веккии).

Фтористые соединения среди сублимационных продуктов показывают, что среди газов фумарол находятся и летучие фтористые соединения. Такие соединения, как было указано, относятся к так называемым «минерализаторам», которые благоприятствуют образованию других минералов, в особенности силикатов, в составе которых они вовсе даже не встречаются. В фумаролах наблюдаются фтористая кислота и фтористый кремний как летучие вещества, а в твердых продуктах возгона — плавленый шпат и другие соединения.

Выделения из вулканов относятся к действию фумарол, сольфатар и мофетт.

Общая характеристика этих энергичных минералообразователей может быть сведена в следующей таблице (см. табл. на стр. 366).

Грязевые сопки в частности известны в СССР на Керченском полуострове, где были найдены газы: метан CH_4 , углекислота CO_2 , а также соединения бора¹.

I. Явления выделений из действующих вулканов

Фумаролы	Характеристика	Температура
Соляные фумаролы	Сухие возгонки хлоридов	около 800°
Кислые фумаролы	HCl , SO_2 с водой или без воды	500 — 400°
Щелочноаммиачные фумаролы	NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, CO_2 , H_2S и вода	200 — 100°
Сероводородные фумаролы	H_2O , H_2S , CO_2	около 100°
Фумаролы с водяным паром	H_2O с углекислотой и без углекислоты	около 100°

¹ Подробно, см. А. Стопнивич, Природные газы, КЕПС, 1917 г. и В. Хлопик, Бор, там же.

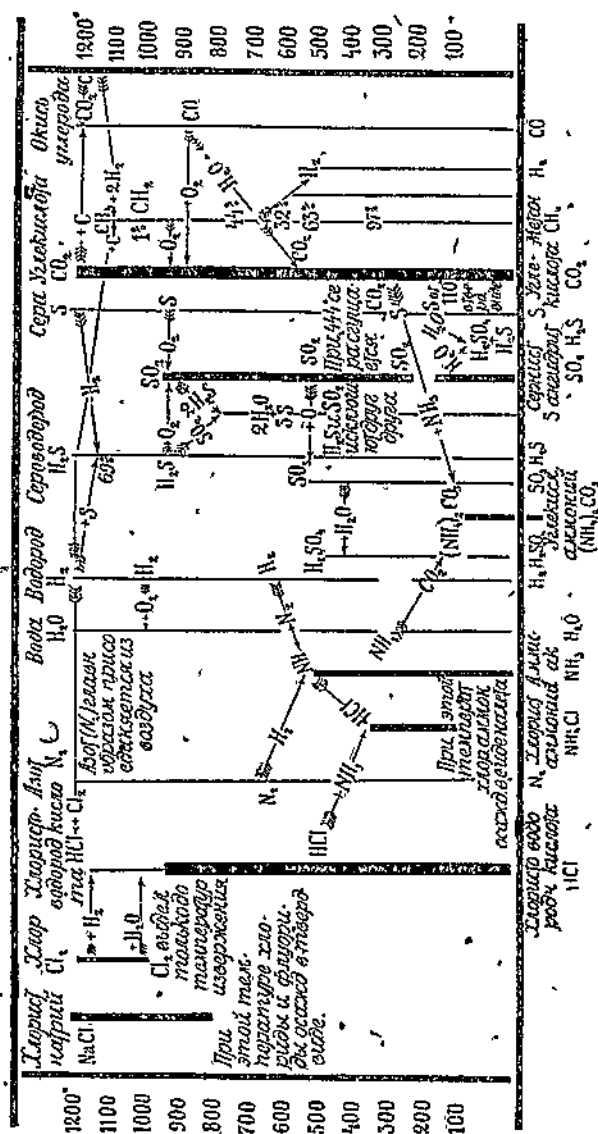


Рис. 242. Минералы, образующиеся в результате взаимодействия газов вулканов при различных температурах.

II. Послевулканические явления

Фумаролы	Характеристика	Температура
А. Сольфатары гейзеры } вода как } главный источники } агент	H_2O , H_2S или SO_2 , CO_2 Периодически дей- ствующие источники. Термы.	100 — 70° 100 — 80° 100 — 20°
В. Мофетты: углекислые, } CO_2 как кислые источ- } главный ники } агент	CO_2 газообразная, кислые источники, углекислые воды	30 — 20°
С. Грязевые сопки	Явления А и В (гейзе- ры, источники) и по- лулидная грязь	Не выше 100°

Минералы, образующиеся в результате взаимодействия газов вулканов, немногочисленны. Все наблюдавшиеся комбинации сведены Вольфом (Wolf) в таблицу (рис. 242), где сверху вниз идут: NaCl , Cl_2 , HCl , N_2 , H_2O , H_2 , H_2S , S , CO_2 , CO , в виде линий, причем количественный масштаб иллюстрируется толщиной линий. В результате реакций получаются: каменная соль в виде пленок и порошкообразных масс; соляная кислота, уходящая в водные растворы; азот; хлористый аммоний в виде белых и полупрозрачных масс, заполняющий трещины в лавах; аммиак, вода, водород; серная кислота; углекислый аммоний; сероводород; сера в виде палочек порошкообразных масс и кристалликов на стенках пустот и в трещинах; сернистый газ; углекислота — один из важнейших по количеству и по значению минералов, выделяемых вулканами; метан и угловый ангидрид.

Все промежуточные реакции помещены внутри таблицы, где ход этих реакций указан стрелками. Конечные продукты, являющиеся выделениями вулкана в условиях современной земной поверхности, приведены внизу под чертой.

Таким образом вулкан является огромным котлом минералообразования, могущих быть наблюдаемыми и в современную эпоху.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. J. Roth, «Allgemeine und chemische Geologie», 1879 S. 216—235 etc.
2. R. Brauns, «Chemische Mineralogie», 1896 (рус. пер. 1904 г.).
3. A. Iacovich, «Статьи, посвященные минералам Неауви»: «Bull. Soc. France de min.» 30, 1907.
«Comp. R.» 142, 143, 1908.
144, — 1907.
- «Минералы Этны Comp. R.» 147. 1908.
4. I. P. Iddings, «The problem of vulcanism», London 1914.

5. F. V. Wolf, *Vulcanismus*, I B., 1914.
6. P. Niggli, *Die Leichtflüchtigen Bestandteile in Magma*, Leipzig 1920.
7. Mh. Vogt, Vortrag. in der Gesellschaft der Wiss. in Kristiania 1920.
8. R. Brauns, *Die Mineralien der Niederrheinischen Vulcangebiete* Stuttgart, 1922.
9. F. Zambonini, *Mineralogia vesuviana*.
10. Berg, *Plutonische und Vulkanische Typen der Erzlagerstätten*, Preuss. geol. Landesanstalt. Sitl. Heft. 4. 1929.
11. А. Ферсман, Химические элементы земли, 1—177, Л. 1923.
12. Его же, Геохимия России, I, 1922.
13. Его же, Строение и состав земли как космического тела, «Научное слово» № 6—7, 1923, стр. 23—32.
14. Его же, Об одной законности распределения химич. элементов, Доклад А. Н., серия А, 1923, стр. 23—26.
15. A. Fergsman, *Zur Geochemie der Granitpegmatite*, «Tsch. Min. Petr. Mitth.» XLI, 1931.
16. V. M., Goldschmidt, «Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente», «Skrifter Norske Vidensk», Akad. Oslo, V Sesquioxide, № 7, 1925.

МИНЕРАЛОГИЯ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Жилы — это трещины в горных породах, заполненные отложениями минеральных растворов. Эти отложения могут происходить в разных зонах земной коры, но главным образом жильные месторождения связаны с зоной магмы как с источником тяжелых металлов. Соединения же тяжелых металлов, особенно сернистые, составляют самую важную и практически интересную часть рудных жил. Эта связь рудных жил с зоной магмы хорошо иллюстрирована де-Лонэ (de Launay) схематическим разрезом через земную кору в области гранитных магм¹ (рис. 243). Здесь мы видим, что в глубинах земной коры сера играет ту же роль, что кислород в поверхностных ее частях. Несмотря на несколько наивный характер этой схемы, она все-таки значительно помогает нам охватить многообразие жильных процессов под одним общим углом зрения, беря за исходную точку зону магмы и связанные с ней первичные (ювенильные) водные растворы, несущие в себе жильные минералы². В общем жильные месторождения современные американские исследователи (Эммонс, Линдгрэн) делят на следующие группы:

	Температура	Давление
1. Глубинные жилы (deep vein)	300—500°	Очень высокое
2. Жилы средней глубины (moderate depth)	150—300°	Высокое
3. Поверхностные жилы (shallow depth)	50—150°	Умеренное

Растворы, идущие из глубин — восходящие воды — могут заполнять трещины непосредственно; и тогда жильные образования стоят

¹ Рисунок взят у А. Е. Ферсмана («Геохимия», Петроград 1922).

² См. также: Ketr, *The Role of the Igneous Rocks in the Formation of Veins*. «Trans. Am. In. of Min. Eng». 31. 1902.

ине всякой зависимости от боковых горных пород¹. Стенки трещины могут, в большей или меньшей степени, подвергаться действию растворов,

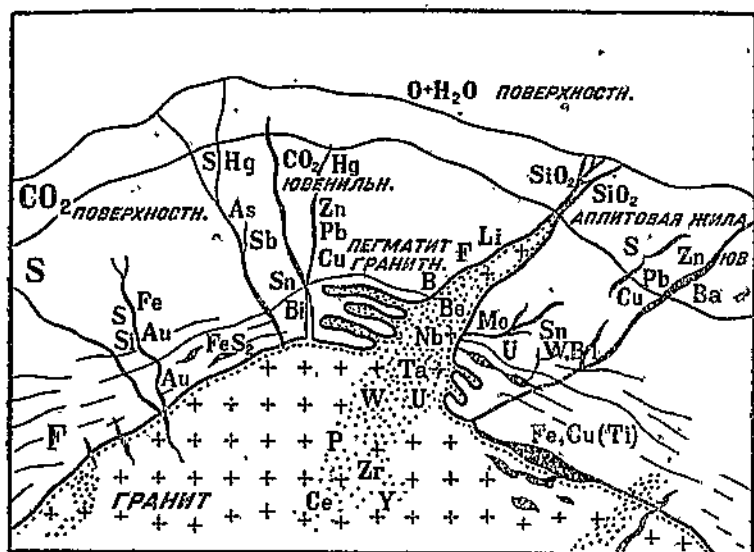


Рис. 243. Схематический разрез через земную кору в области гранитных магм (по А. Е. Ферману).

изменяться, могут происходить реакции замещения, сопровождающиеся образованием псевдоморфов. Тип жильных месторождений, не связанных с боковыми породами, представляют собой например золотосные жилы Аляски² (рис. 244). С другой стороны, часто заполнение трещин происходит восходящими водами, минерализующими боковые породы. Вообще влияние боковых пород в рудной практике довольно значительно. Так по Виду (Weed)³ порфировые и анлитовые жилы около Бьютте в Монтане, пересекающие граниты, почти всегда влекут за собой обезруднение медно-кварцевых жил (рис. 245). Аналогичный пример в другого типа горных пород представляют жилы около Нейгарта в Монтане, где жила суживается и становится безрудной при пересечении ее амфиболитом (рис. 246).



Рис. 244. Схематический разрез золотосных жил Аляски (по Spenser'у). Жилы изображены черными линиями, поднимающимися снизу вверх.

¹ E. de Beaumont, Note sur les émanations volcaniques et metalliferes.

² Spenser U. S. Geol. Surv. Bull 259.

³ W. H. Weed, Influence of Country — Rock on Mineral veins. Trans. «Am. In. Min. Eng.», 1902, XXXI.

Рассмотрим вкратце минералообразующие процессы, идущие в жилах, в связи с изменениями боковых пород.

Грейзенизация. С этим явлением мы познакомились в главе о пневматолитизе. Вообще жильные месторождения связаны рядом переходов с месторождениями пневматолитиза и контактными образованиями. Часто пневматолитические месторождения касситерита переходят в

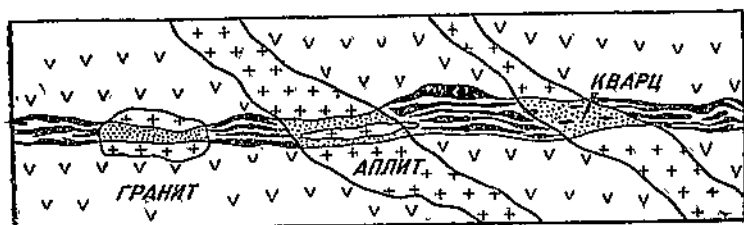


Рис. 245. Медно-кварцевые жилы Бьюте в Монтане, Сев. Америка. Черные полосы — рудные скопления, по Унду (Weed).

рудные жилы термальных вод с халькопиритом, галенитом и другими типичными жильными минералами. Явление грейзенизации

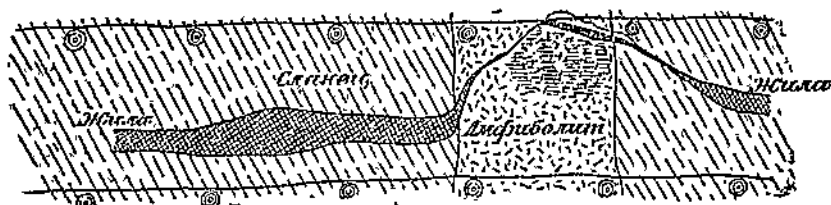


Рис. 246. Жила Florence, Нейгарт, Монтана, по Унду (Weed).

состоит в разложении полевшатов и магнезальной слюды с заме-

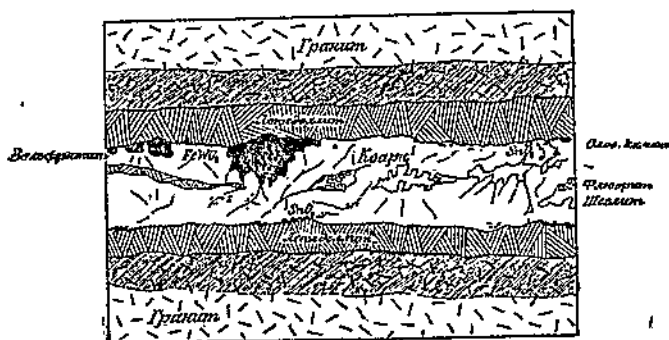


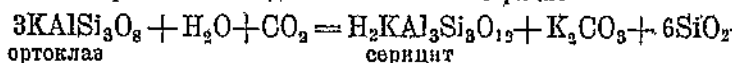
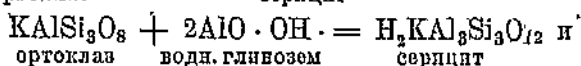
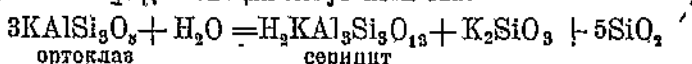
Рис. 247. Схематический разрез жилы оловянного камня. Циннвальд.

щением их литиевой слюдой и отчасти мусковитом. Процесс минералообразования хорошо виден на рис. 247, где представлен схема-

тический разрез одной из рудных жил Цинвальда¹ и где видны превращение гранита в грейзен и залегание жилы.

Каолинизация. Каолинизация глубинных жил значительно отличается от каолинизации в зоне катаморфизма, которая будет рассмотрена в главе о процессах выветривания. Каолинизировавшиеся массы гранита или кварцевого порфира быстро смешаются свежей породой, если рассмотрим *перпендикулярно* жиле, или, как обычно говорят, и в горизонтальном направлении. Если же идти *в глубину* по жиле, то каолинизация не только не уменьшается, но по ряду наблюдений увеличивается с глубиной. Глубинная каолинизация довольно распространенный процесс в жильных образованиях. В каолинизированных массах нередко присутствие турмалина, флюорита, что указывает на газоводный характер многих подобных жил.

Серицитизация. Серицит — это калиевая слюда, аналогичная по составу мусковиту. В серицит превращаются главным образом полевые шпаты боковых пород. Реакции могут идти так:



В серицит превращается также глинистый и другие сланцы, давая серицитовый сланец. В рудных жилах этот процесс очень распространен. Так Эммонс² классифицирует даже жильные месторождения *зоны средней глубины*, так:

Серицитовые золото-серебряные жилы.

Серицитовые серебро-цинковые жилы.

Серицитовые медные жилы.

Серицитовые кальцито-золотые

Серицитовые медно-серебряные жилы.

жилы и т. д.

Процессы серицитизации относятся к жилам средней глубины и к верхним жилам (shallow depths).

Пропилитизация. Явления пропилитизации состоят в том, что в боковых породах жилы, минералы, содержащие железо, как рогообманки, пироксены и биотит, переходят в хлорит, эпидот и пирит. Химически выщелачиваются натрий и другие щелочноземельные металлы; сера и вода присоединяются. Эти изменения особенно характерны для жил в андезитах, дацитах и базальтах. Пропилитизация часто сопровождается золотососными жилами, например в Венгрии, в Мексике и др.

Березитизация и листвénитизация. На Урале, близ Березовских заводов, впервые были обнаружены явления разложения полевых

¹ R. Beck, Lehre von der Erzlagertstätten. I. B. Berlin, 1909.

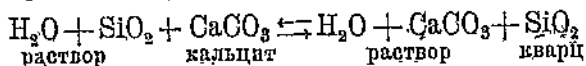
² W. H. Emmons, The principles of economic geology, 1922.

тов, замена их слюдами при одновременном замещении породы пиритом (А. Карпинский). Эти процессы связаны с газо-водными жилами, так же как и лиственитизация, состоящая в полном разложении полецитов, пироксенов, амфиболов, оливина и замещении их слюдами, тальком и карбонатами.

Окремнение. Под влиянием кремнистых растворов боковые, особенно сланцевые породы рудной жилы часто переходят в роговик. Эти явления распространены в области Алтайских месторождений¹.

Если жильное тело целиком представляет собой минералы, образовавшиеся из обменного разложения между притекающими растворами и боковыми породами, то эти жилы называются метасоматическими, или жилами замещения. Этот чрезвычайно распространенный тип жил встречается в различных зонах и в разнообразнейших формах. Процессы замещения протекают так:

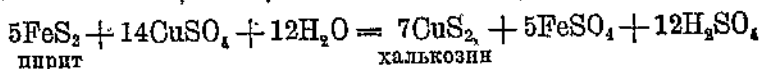
Раствор кремнезема циркулирует по кальциту:



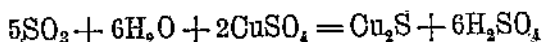
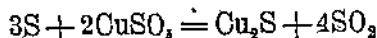
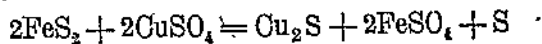
или горячие водные растворы, содержащие сернистый свинец, поднимаются вверх по трещинам силикатовых пород.

Значение метасоматических процессов в рудных жилах особенно ярко выяснилось после применения металлографического микроскопа и исследованию непрозрачных рудных минералов в отраженном свете². На рис. 248а изображены микрофотографии шпифлов с пиритом и халькозином (медным блеском), взятые из разных горизонтов жилы. Необыкновенно ясно виден весь процесс замещения, заканчивающийся почти полным исчезновением пирита и заполнением рудной жилы медным блеском Cu_2S .

Реакции замещения могут идти в данном случае разными путями; по опытам Штокса (Stokes):



Спенсер, изучая месторождения халькозина, различает несколько стадий и дает следующий ход реакций³.



¹ П. П. Пилипенко, Минералогия Западного Алтая, Томск 1915, стр. 300, 311, 315 и др.

² Н. Schneiderhöhn, Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsproducten besonders im auffallenden Licht, Berlin 1822.

G. Tammann, Lehrbuch der Metallurgie, Leipzig 1921.

W. M. Davy and C. M. Farnham, Microscopic examination of the ore minerals, New York 1920.

³ См. W. H. Emmons, The enrichment of ore deposits, «Bull. Geol. Survey» 1917, p. 625.

Особенно часто реакции замещения протекают при образовании жильных минералов в трещинах известняка. Сернистые соединения

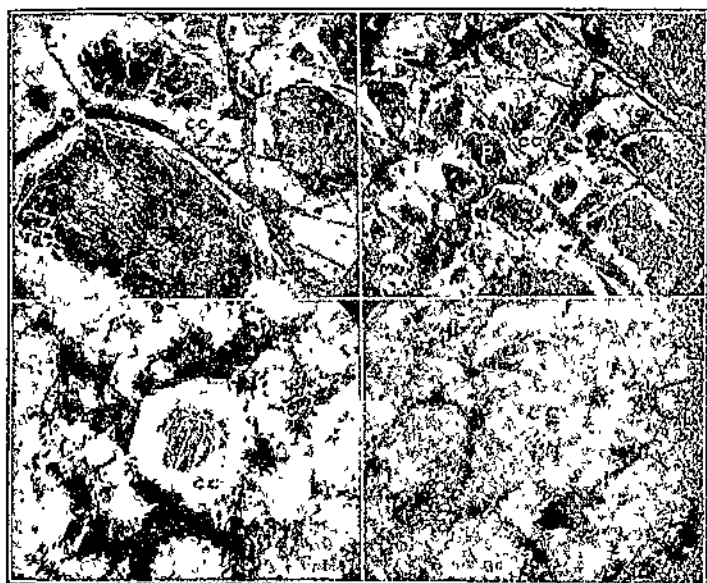
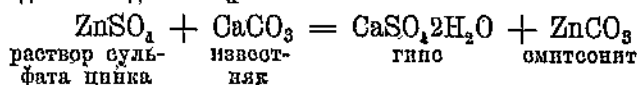


Рис. 248а. Микрофотография полированных кусочков рудной жилы, показывающих прогрессирующее замещение пирита (p) халькозином (c) $\times 40$, по Рису (Ries).

цинка и свинца даюл в этих условиях жилы углекислых руд — например месторождение Ледвилль (рис. 252):



К явлениям метасоматизма мы еще вернемся в главе о катаморфизме.

ГЛУБИННЫЕ ЖИЛЫ

Минеральные отложения глубинных жил содержат металлы: золото, медь, железо, олово, цинк, вольфрам, молибден и др. Марганец редок. Главными нерудными минералами являются: кварц, гранит, пироксены, амфиболы, турмалин и отчасти слюды. *Барит и другие сульфаты почти отсутствуют.* Из рудных минералов обычны — золото самородное, магнетит, касситерит, вольфрамит, пирит, халькопирит и арсенопирит. Минералы заполняют трещины и лишь отчасти иногда замещают боковые породы. Кристаллические образования минералов больше, чем в аналогичных по составу поверхностных жилах, хотя кристаллы кварца менее хорошо развиты.

К зоне глубинных жил относятся золотоносные жилы Аляски, Калифорнии, Бразилии. В СССР к этой группе принадлежат рудные

жилы Берёзовска близ Свердловска, Кочкарские на Южном Урале, свинцово-серебряные и медные жилы Кавказа, жилы Нагольного края в Донецком бассейне и т. п. Минералы, встречающиеся в глубинных жилах:

Элементы: золото, серебро (Конгсберг в Норвегии, Фрейберг в Саксонии).

Сернистые: галенит PbS , халькопирит $CuFeS_2$, пирит FeS_2 , пирротин $Fe_{1-x}S_{x+1}$ (Кавказ), молибденит MoS_2 , сфалерит ZnS , стибнит Sb_2S_3 , висмутин Bi_2S_3 .

Галоидные: флюорит CaF_2 .

Кислородные соли: марштит, гематит, кварц, пасситерит, шпинель, $MgO \cdot Al_2O_3$, рутил TiO_2 .

Углекислые: кальцит $CaCO_3$ и доломит $(CaMg)CO_3$ (редко), сидерит $FeCO_3$ (редко).

Силикаты: слюды, андрадит, альмандин $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$, рогообманка, хлориты, ортоклаз, альбит $NaAlSi_3O_8$, турмалин, топаз, скаполит.

Сернокислые: ангидрит $CaSO_4$ (редко).

Вольфрамокислые: вольфрамит $(FeMn)WO_4$, шеелит $CaWO_4$.

Теллуристые соединения (редки).

ЖИЛЫ СРЕДНЕЙ ГЛУБИНЫ

Глубина залегания жил этого рода исчисляется американскими геологами от 300—750 м, температура образования 150—300° и давление от 140—400 ат. Изверженные горные породы, с которыми ассоциируют жилы «средней глубины», бывают как кислые, так и основные; главным образом жилы связаны с диоритами, гранитами, гранодио-

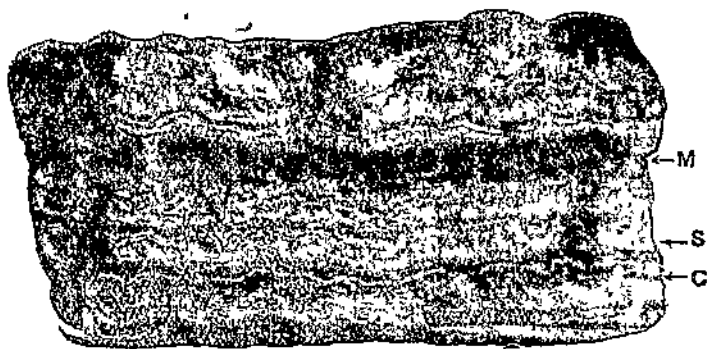


Рис. 2486. Тип ленточного сложения жилы.

ритами, кварцевыми порфирами, монзонитами и т. п. Из металлов присутствуют: золото, серебро, медь, свинец, цинк, сурьма и мышьяк; в небольших количествах встречаются также — никель, кобальт, висмут, марганец и некоторые другие.

Сложение жил часто бывает ленточное, как на рис. 2486, где сфалерит переслаивается с галенитом и кварцем. Мегасоматические

процессы сильно развиты и являются характерными, особенно для месторождений галенита и сфалерита среди известняков. Примером крупного месторождения этого типа могут служить месторождения в Колорадо-САЩ близ Ледвилля. По Блоу (А. А. Blow) восходящие горячие растворы в связи с извержениями порфиров действовали на каменноугольный известняк, разбитый вблизи порфиров многочисленными трещинами. В глубинных частях месторождения отложились сернистые минералы — галенит, халькопирит; выше растворы вступили во взаимодействие с известняками и дали многочисленные карбонатные минералы. Так:

Mn — дал $MnNO_3$ марганцевый шпат
Pb { — » $PbCO_3$ церуссит
— » $PbCO_3$ англизит

Кроме того в верхних же частях отложился вторичный сфалерит.

§ 2. МИНЕРАЛЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В ЖИЛАХ СРЕДНЕЙ ГЛУБИНЫ.

Из элементов встречаются золото, серебро, медь. Медь является новым минералом по сравнению с глубинными жилами, так же как и висмут.

Сернистые: галенит, сфалерит, халькозин, шпирит, халькопирит, арсенопирит, аргентит, борнит, стибнит, висмутит, молибденит, реальгар AsS , аурипигмент As_2S_3 , не встречающийся в глубинных жилах, кобальтин, киноварь встречается в несколько большем числе месторождений, чем в первой группе жил. Особенно характерны минералы класса сульфоселенов: гларгирит $3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$; прустит $3Ag_2S \cdot As_2S_3$; блеклые руды: тетраэдрит $4Cu_2S \cdot Sb_2S_3$, а также пеллуристые соединения — наггагит, алфадит $PbTe$, гессит Ag_2Te и др.

Эти минералы почти не встречаются или редки в области глубинных жил.

Галогидные соединения: флюорит.

Кислородные соли: кварц — является часто жильным телом; опал, роговик.

Углекислые: кальцит — распространен значительно больше, чем в глубинных жилах; доломит, сидерит — характерный минерал жил средней глубины, родохрозит.

Силикаты: слюды — преимущественно серицит; родонит, ортоклаз, хлорит.

Фосфорнокислые: апатит.

Сернокислые: барит — часто составляет рудное тело. Широко распространен.

Кроме того встречаются некоторые вольфрамовокислые минералы, например шеелит.

Как пример жил средней глубины следует указать на многие месторождения Алтая, где Пилипенко¹ различает следующие стадии мине-

¹ П. П. Пилипенко, Минералогия Западного Алтая, Томск 1915, стр. 668.

ралообразования: 1) *флюоритовая* (очень слабо развитая); 2) *баритовая* (мощно развитая), 3) сернистоводородная, *роговиковая* (жестко развитая) или *кварцевая* (слабее развитая) и 4) сернистоводородная *карбонатная* (слабо развитая). Будущи генетически связаны с гранитной магмой, рудные месторождения западного Алтая дают ряд минералов, представленный в следующей таблице:

Зоны	Жильное тело	Главные минералы зоны	Довольно распространенные минералы зоны	Редкие минералы зоны
I Зона окристых руд	Большой частью нет, иногда кварц опал, лимонит, хризоконда	Лимонит, пролюзит, аморфная кремнекислота, кераргирит, малахит, церуссит, азурит, смитсонит	Манганит, кварц, тенорит, кальцит, каолин, серицит, халькозин, хризоконда, Ag, Au, Cu	Лед, альбит, барит, ковеллин, вульфенит, гидроперуссит, швелит, фосгенит, сурик, аурихальцит
		Дрозит, самородные металлы (Au, Ag, Cu), куприт, кераргирит, халькантит, мелантерит, гесларит, англесит	Кварц, каламин, каолин, хризоконда, турьит, гипс	Оливинит, атакамит, галотрихит, алуит, скородит, бропантит, цинкотрихит, трихальцит?, боптит, хеневикит
II Зона окисленных руд	Нет	Халькозин, аргентит, самородные элементы (глав. образ. Au, Ag, Cu) и грубодисперсная фаза минералов зоны I	Ковеллин, марказит, сера, кварц	Висмут, карелинит, штроемерит?
III Зона колчеданно-кислых руд	Барит, кварц	Сфалерит, пирит, галенит, халькопирит	Блеклые руды	Алтанит, висмутит, арсенопирит, вольфрамит, борнит, вентерит, гессит, марказит, пирротин, гематит, магнетит, сидерит, флюорит, тремолит, актинолит, асбест, андрацит, эпидот, штроемерит
	Кварц, анкерит, серицит	Сфалерит, пирит, галенит, халькопирит	Блеклые руды, кальцит	

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЖИЛЫ

Глубина залегания по исследованным главным образом американских месторождений исчисляется от 100—400 м от поверхности. Температура минералообразования более 100°. Генетически жилы связаны с изверженными горными породами большей частью новейших гео-

жигических периодов. Метасоматические процессы чрезвычайно сильно развиты. Сложение жил большей частью ленточное, часто симметрическое. В осадочных породах жилы часто носят трубчатый характер. Жильным минералом часто является кварц, сплошной и кристаллами. Сплошной кварц является тонкозернистым в виде роговика, хальцедона и опала. Кальцит, доломит, барит и флюорит представляют собой господствующие «жилные тела». Каолин находится в жилах этого рода в больших количествах, так же серпидин и хлорит, причем процессы образования этих минералов в значительной степени обуславливаются нисходящими метеорными водами. Во-

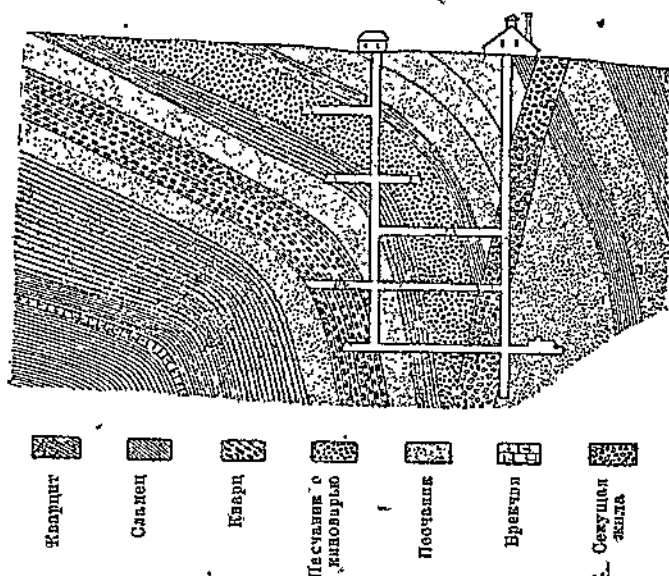


Рис. 249. Разрез месторождения киновари в Никитовке, Донбассе.

обще поверхностные жилы представляют собой переход к жилным отложениям холодных растворов и являются часто в виде жил смешанного типа. Характерно, что сидерит здесь значительно реже встречается, чем в жилах средней глубины. Зато все практически важные месторождения киновари принадлежат к этому типу. Разрез Никитовского месторождения, в Донбассе, приведенный здесь (рис. 249), показывает, как поверхностные жилы могут быть далеко удалены от первоначального источника — минералообразующих растворов магмы. С киноварью парагенетически бываюи связаны — марказит, стибнит, кальцит, кварц, опал¹.

Месторождения стибнита также принадлежат часто к этой группе и парагенетически бываюи связаны с иридом и другими сернистыми минералами, а также с кварцем.

¹ Подробные вопросы о наших месторождениях минералов будут разобраны автором в подготавливаемом им к печати труде: «Минералогия СССР».

Сернистые: минералы, большей частью вторичные: галенит, сфалерит, марказит, пирит. Залегания сернистых минералов в осадочных породах связаны с явлениями метасоматизма. Таковы жилы галенита, сфалерита в известняках Каринтии (рис. 250) и многих других местах.

Элементы — представлены золотом, серебром и медью. Из окислов распространены разновидности кварца, боксит. Необходимо отметить большое развитие *углекислых* минералов — кальцит, стронцианит, анкерит, магнезит и др.

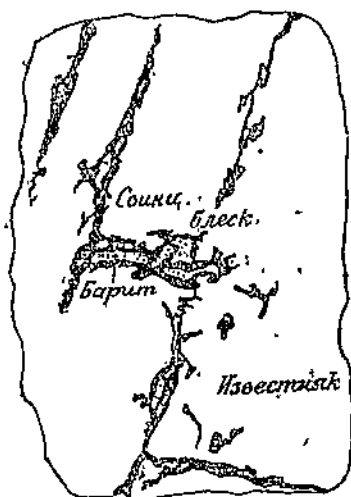


Рис. 250. Жилы галенита у Блейберга в Каринтии.

Из силикатов кроме минералов, общих с предыдущей группой жил, встречаются иногда цеолиты. Характерно появление *алунита* и *вторичного альбита*.

Поверхностные жилы отличаются большим распространением. Как на типичные примеры можно указать на *трансильванские золото-кварцевые жилы* в андезитах, на знаменитую *Комстокскую жилу* в Неваде, САСШ, давшую огромные количества благородных металлов.

В общем если сделать сводку распределения минералов (за исключением руд тяжелых металлов) (см. стр. 252) в различных генетических циклах зоны магмы, то получим картину, изображенную на таблице (рис. 251). Алмаз и корунд преобладают в цикле магматических выделений; графит, кварц, пирит, барит и флюорит характерны для жил. Группа минералов, типично осадочных, как фосфаты, соли, нитраты, и др., будет нами рассмотрена в следующей главе.

МИНЕРАЛЫ	МАГМАТИЧЕС- КИЕ ВЫДЕЛЕН-	ПЕГМАТИТЫ	КОНТАКТНЫЙ МЕТАМОР- ФИЗМ	ГЛУБИННЫЕ ИЛЛЫ	СРЕДНИЕ ГЛУБИНЫ	МАЛЫЕ ГЛУБИНЫ	ХОЛОДНЫЕ РАСТВОРЫ	ОСАДОЧНЫЕ
СПЛЮДА								
ПОЛЕВОЙ ШПАТ								
АЛМАЗ			?	?				
КОРУНД								
СПОДУМЕН								
ТУРМАЛИН								?
ГРАФИТ								
КВАРЦ								
АСБЕСТ						?	?	
МАГНЕЗИТ								
ТАЛЬК						?		
ФОСФАТЫ								
ГАЛОИД. СОЛИ								
ГИПС								
НИТРАТЫ								
ПИРИТ								
СЕРА							?	
БАРИТ								?
ФЛЮОРИТ								?
МОНАЦИТ								

Рис. 251. Распространение минералов в различных генетических циклах (указано зачерненными полосами).

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Kemp, The role of the igneous rocks in the formation of veins, Am. Inst. Min. Eng. 31, 1902.
2. Я. В. Самойлов, К минералогии Нарольного края.
3. I. F. Kemp, The problem of metalliferous veins, "Ec. Geol." V. 1, 1903.
4. W. H. Emmons, A genetic classification of minerals, "E. G." V. 3, 1903.
5. W. Lindgren, Metallogenetic Epochs, "E. G." V. 4, 1909.
6. К. Богданович, Рудные месторождения, т. 2, 1913.
7. П. П. Нидриченко, Минералогия Западного Алтая, 1915.
8. C. F. Tolman, Study of the Magmatic Sulfide ores, Stanford University California, 1916.
9. W. H. Emmons, The principles of economic geology, New York 1918.
10. W. Lindgren, Mineral deposits, New York 1919.
11. H. H. Thomas & D. A. Mac Alister, The geology of ore deposits, London 1920.
12. A. Stansfield, Assimilation and Petrogenesis. Separation of Ores from Magmas, Urb. U. S. A. 1923.

13. В. И. Вернадский, Об элементах редких земель в массивных горных породах, докл. А. Н., серия А, 1929.
14. В. Зильберманн, И. Алимарин, Ю. Книпович и Е. Кузнецов, Редкоземельные минералы Кыштымской дачи, Труды Инст. прикл. минер. № 44, 1930.
15. А. Н. Лабунцов, К минералогии сев. Карелии, Изв. А. Н., 1927.
16. А. Н. Лабунцов, Геолого-минералогические исследования на зап. Памире-„Труды Памирской экспедиции“. IV, изд. А. Н., 1928.
17. А. Обручев, Рудные месторождения. М.-Л. 1929.
18. Н. Н. Смирнов, Гос. Ильменский заповедник, „Отдел охраны природы“ вып. 8, М. 1927.
19. С. С. Смирнов, Матер. геол. минерал. южн. Прибайкалья, „Матер. общед. и прикл. геологии“, LXXXIII, Геол. ком., 1928.
20. Л. И. Крыжановский и А. Н. Лабунцов, Отчет о командировке на Алтай, докл. А. Н., серия А, 1926.
21. Г. Черняк, К минералогии местор. по р. Слюдянке, „Труды минер. музея“, III, 1927.
22. В. Эммонс, Введение в учение о рудных месторождениях (Перев.) ГИЗ. М.-Л., 1925.

МИНЕРАЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ КАТАМОРФИЗМА

ПРОЦЕССЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Термин «выветривание» имеет широкий смысл. Под ним подразумевают и непосредственное действие ветра (дефляция), и разрушающее механическое действие воды (депудация), и действие температуры, и наконец химическое разрушение пород и минералов под влиянием разлагающего действия кислотных вод (химическое выветривание).

Механическое разрушение горных пород силой ветра, температурных влияний и действием атмосферных осадков превращает их в кучи обломков, в щебень. Эта щебенка уносится водными потоками в долины, где частью откладывается, заполняя долины, частью уносится далее, текущими водами.

Действие морских волн, приливов и отливов, подробно разбирающееся в курсах геологии¹, дают скопления гальки, гравия и песков, имеющих иногда большое минералогическое значение. Так например в Крыму у Карадага галька в значительной мере однообразного минералогического состава и состоит из зеленой и красной лшмы, хальцедона и сердолика.

Разрушенные горные породы распадаются на составные минералы. Обломки и зерна минералов сортируются водой по удельному весу. Вода — точнейший сортировщик и отмучивает мельчайшие частицы, равные по весу и объему, отлагающиеся в медленно текущих водах и водных бассейнах.

Удельный вес минералов, дающих начало такого рода месторождениям, следующий: кварц 2,65; полевшаты от 2,55—2,75; железомagneзianальные силикаты (рогообманки и пр.) от 2,9—3,4; графиты от 3,14—4,13; алмаз 3,54; корунд 4,0; монацит 5,0; магнетит 5,0; касситерит (оловянный камень) от 6,4—7,1; золото от 15,6—19,33 и платина от 14,0—19,0.

¹ От, Динамическая геология. Москва 1922.

Процессы эрозии и механической концентрации свойственны различным геологическим эпохам, но значительнейшие месторождения относятся к третичному и послетретичному времени.

МИНЕРАЛЫ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ

Элементы. Золото самородное благодаря исключительно тяжелому удельному весу (от 15—19) и неизменяемости от действия всевозможных химических агентов скапливается в значительных количествах и дает начало крупнейшим промышленным так называемым россыпным месторождениям. Россыпное золото, хотя и не уносится далеко от своих коренных месторождений, но под механическим влиянием воды окатывается в форму зерен, пластинок, так называемую золотого песка (рис. 252). Реже попадаются крупные включения золота, окатанные и называемые самородками (рис. 253).

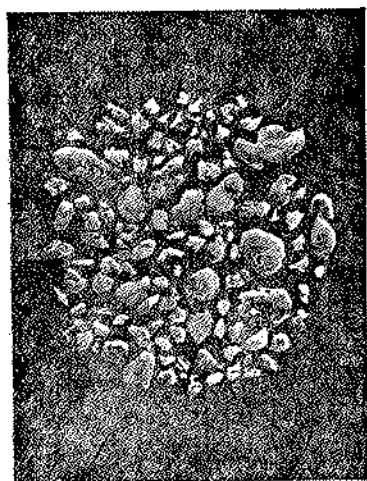


Рис. 252. Золотой песок.



Рис. 253. Мелкие самородки золота из россыпей.

На рис. 254 показано схематическое образование россыпного золота из разрушившейся золотоносной жилы. Обычно сначала идут наносы, называемые золотоносными «турфа», под ними залегают золотоносные пески, состоящие из галек, гравия, песка и глины. Месторождения россыпного золота в СССР разрабатываются на Северном, Среднем и Южном Урале; в Сибири по рр. Лене и Вилюю; в Забайкалье по рр. Зее, Амуру и др., в Дальневосточном крае и на Алтае. Мировая добыча россыпного золота на сумму около 70 млн. долл. ежегодно.

Платина. Платина главным образом добывается из россыпных месторождений, выносясь водой из разрушенных оливиновых пород. Общий вид россыпного месторождения платины изображен на рис. 255. Он вполне схож с россыпями золота. Ежегодная добыча платины была до войны около 5 т.

Осмысленный прирост. Скопляется в россыпях аналогично платине. Значительно более редок. Добыча исчисляется несколькими десятками килограммов в год.

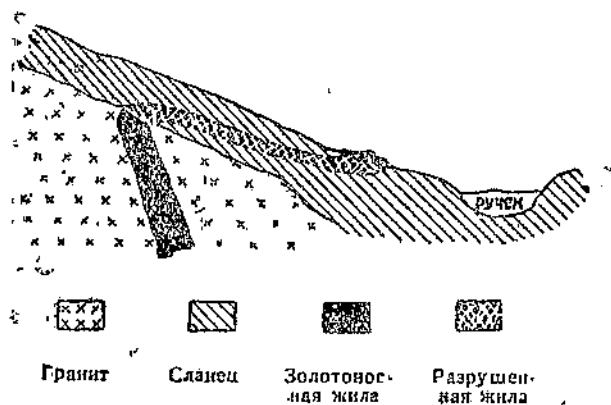


Рис. 254. Схематический разрез разрушающейся золотоносной жилы.

Алмаз. До открытия коренных Южноафриканских месторождений алмаз добывался исключительно из россыпей Индии (в Голконде) и Бразилии, главным образом в провинции Минас Жераэ.

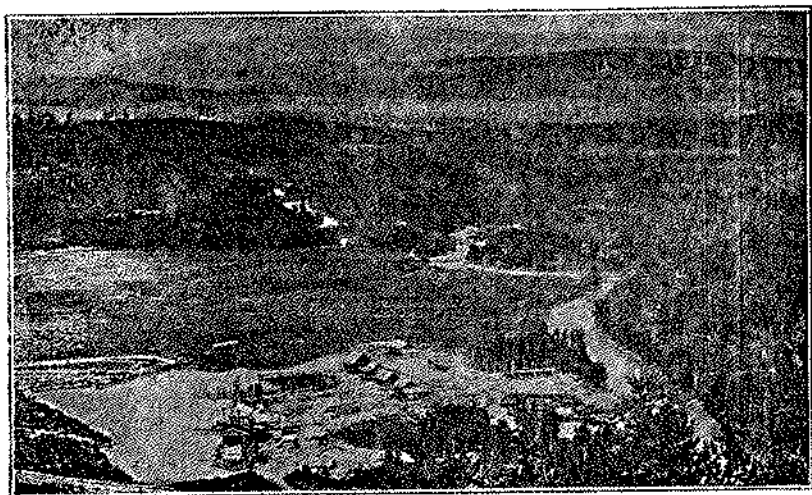


Рис. 255. Общий вид платиноносной долины р. Иса, Урал (по Высоцкому).

Ввиду сравнительно небольшого удельного веса он рассеян в россыпях на большом пространстве, и добыча его очень затруднительна.

Окислы. Кварц. Зерна кварца из разрушенных горных пород дают залежки кварцевых песков. Кварцевые пески иногда отлагаются сравнительно близко от коренных пород и дают залежки крупнозернистого грубого песка. Мелкие частицы уносятся далеко, отмываются водой и дают прекрасные белые мелкие кварцевые пески (пески Киевского и Новгородского районов). Чистый кварцевый песок является ценным материалом для стекольных и фарфоровых заводов. Магнетит. Магнетитовые пески обычно в областях разрушения изверженных горных пород. Остаток при промывке золота и платины, так называемый «шлик», состоит главным образом из магнитного железняка. Магнетитовые пески иногда представляют значительные скопления и служат предметом разработки (Япония). Касситерит, или оловянный камень. Россыпные месторождения известны на о. Бангка в Малайском архипелаге.

Расположены они недалеко от коренных месторождений. Оловянный камень встречается в виде песка и галек (рис. 256). Своеобразны способы добычи и разведки вторичных оловянных месторождений, залегающих под болотистой почвой острова (рис. 257).

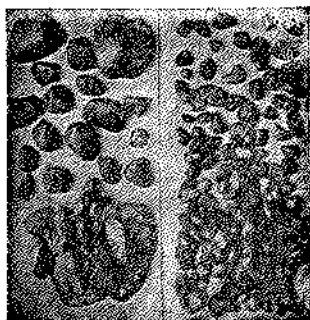


Рис. 256. Россыпной оловянный камень с о-ва Бангка.



Рис. 257. Разведка бурением залежей россыпного олова на о. Бангка.

Корунд. Корундовый песок — продукт разрушения горных пород, содержащих корунд, известен под именем наждака. Месторождения наждака имеют большое промышленное значение и разрабатываются в Малой Азии и других странах. Прозрачные разновидности корунда — сапфир, рубин — встречаются в россыпях как продукт разрушения пегматитовых жил (о. Цейлон).

Силикаты. Гранат встречается во всех областях разрушения гранитных горных пород. Красные гранатовые пески — обычный остаток при промывке золота. Пелешпаты (так называемые аркозовые пески) широко распространены и при химических процессах, идущих в природе, служат источником калиевых и натровых растворов.

Фосфаты. Фосфорит. Фосфорит вымывается при разрушении осадочных горных пород, — известняков, мерделей и песков. Желваки фосфорита, окатанные водой, залегают правильными рядами под наносами унесших их вод. Характерным примером могут служить подольские фосфориты на юге СССР.

Монацит ($\text{Ce, La, Di} \text{PO}_4$). Благодаря высокому удельному весу — 5,0 — монацитовые пески скапливаются в области содержащих их грацитов. Мировой известности залежки монацитовых песков известны в Бразилии. Эти пески употреблялись как балласт для железнодорожных работ, пока не открыли, что они содержат от 3 до 8% радиоактивного тория и представляют ценнейший материал¹.

ХИМИЧЕСКОЕ «ВЫВЕТРИВАНИЕ»

В зоне катаморфизма, простирающейся в среднем до 10 км в глубину, главными деятелями в разрушении и переформировании минералов являются вода, углекислота и кислород.

Порные породы, несущие в себе минералы, можно разбить на два основных типа: тип гранитный — кислые породы и тип основных пород — базальтовые, диабазовые и тому подобные породы. Эти два типа, подвергаясь действию вышеперечисленных деятелей зоны катаморфизма, дают ряд минералов выветривания.

Главным конечным продуктом «выветривания» кислых пород являются каолин и глины. Это зависит от преобладания полешпатов в составе изверженных пород. По Кларку² средний состав изверженной породы равен в процентах:

Кварц	12,0
Полешпаты	60,0
Пироксены и амфиболы	18,0
Слюды	4,0

Итого 94,0

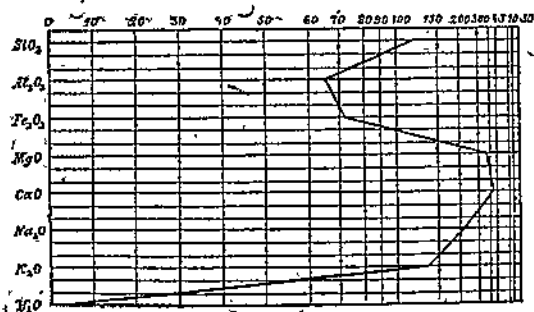


Рис. 258. Диаграмма выветривания гранита.

¹ Кроме того в россыпных месторождениях встречаются некоторые драгоценные камни, как то: аметист, топаз, берилл, аквамарин, турный хрусталь. Известнейшие месторождения в Бразилии и на Южном Урале.

Химические изменения состоят в разрушении и уносе в растворах оснований, концентрации глинозема и присоединении воды. Если вычертить эти изменения графически, то получим такую диаграмму, для частного случая, как это сделано Лейтом для гранита из Грузии (Georgia) (рис. 258). На этой диаграмме верхняя линия показывает число граммов выветрелого гранита; сбоку — основные химические группировки. Сравнение идет со 100 г свежего гранита. Линия, соответствующая 100, прочерчена толще. Начнем рассмотрение сверху: для кремнезема почти лежит около 120 верхней скалы — это значит, что в 120 г выветрелого гранита кремнезема содержится столько, сколько в 100 г свежего, а это значит, что часть кремнезема унесена в растворе. Для глинозема точка, соответствующая верхней скале, лежит около 67, это значит, что в 67 г выветрелого гранита глинозема столько же, сколько в 100 г свежего. Произошло обогащение остаточного материала глинозема. Для окиси железа точка лежит на 72, — следовательно и здесь произошло обогащение железом. Для

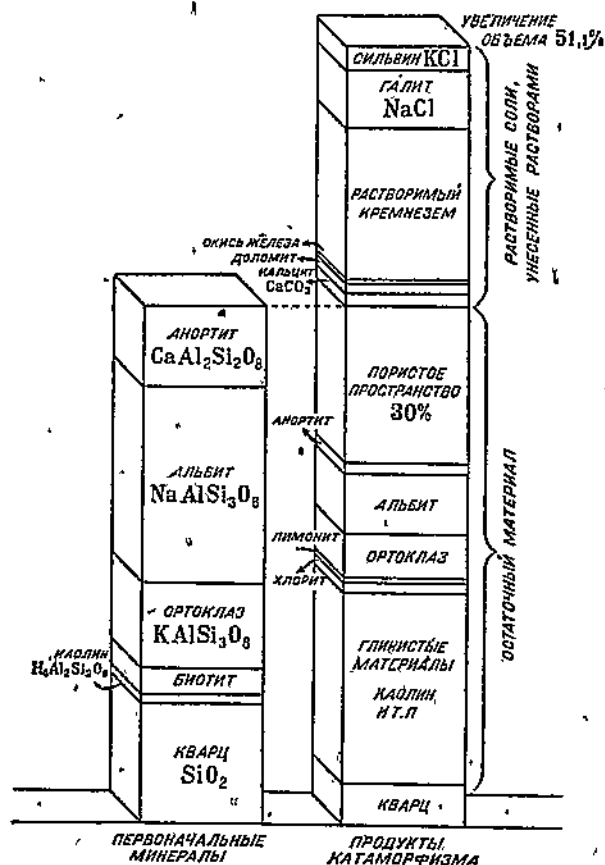


Рис. 258. Диаграмма, показывающая ход минералогического изменения при выветривании гранита.

оксида магния почка лежит около 380. Этот резкий скачок диаграммы указывает на чрезвычайное обеднение продуктов разрушения гранита магнием. В разрушенной породе окиси магния почти в четыре раза менее, чем в свежей. Для окиси кальция растворение и вынос еще больше — в 100 г свежей породы окиси кальция столько же, сколько в 480 г выветрелой. Количество воды резко повышается: в 100 г свежего гранита воды столько же сколько в 5 г разрушенного. Такова химическая картина. Эти химические изменения претворяются в новый минералогический состав, причем реакции эндотермичны и сопровождаются увеличением объема. Диаграмма, поясняющая минералогический состав, перечисленный в объемных про-

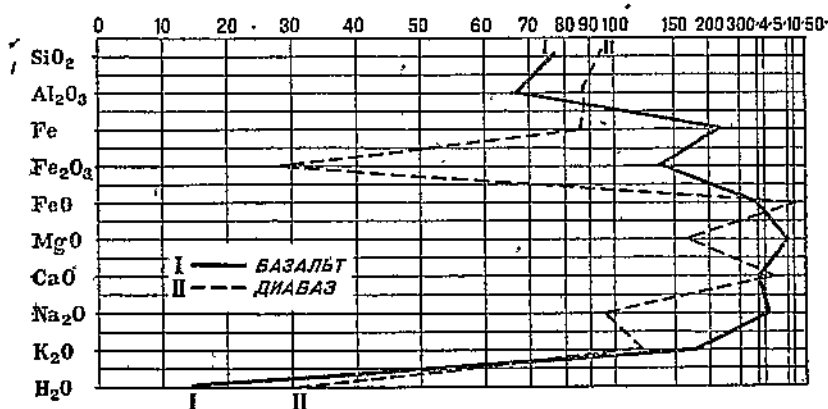


Рис. 260. Диаграмма хода выветривания диабаза и базальта.

центах, дает нам картину, изображенную на рис. 259. Первоначальный минералогический состав исследуемого гранита состоял главным образом из кислосиликатов — анортита, альбита и ортоклаза, из слюды — биотита и кварца. Объем продуктов катаморфизма увеличился на 30% и состоит из следующих минералов: остаточный кварц и топазиды, глины, каолин и т. п. Унесенные и выпавшие из растворов кальцит, доломит, галит, силитин и минерал группы кремнезема. Кроме того немного хлорита и шимонита.

Выветривание минералов основных пород дает в результате темно-зеленые железисто-магнезиальные пески, глины, окислы железа, карбонаты железа, кальцит и доломит. Средними звеньями ряда превращений минералов при выветривании будут серпидит, хлорит, змеиный, палец и магнетит. Химические изменения, нанесенные на диаграмму по изучению двух определенных горных пород, базальта и диабаза, дают картину, изображенную на рис. 260. Диаграмма диабаза аналогична предыдущей диаграмме гранита, диаграмма же базальта несколько разнится в том смысле, что порода от разрушения обеднена соединениями железа, а не обогащена, как в предыдущем случае. В общем же картина та же: направо от линии (100) лежат соединения, уносимые растворами, это будут соли кальция, магния, калия и натрия; налево лежат соединения,

обогащающие продукты выветривания, это будет прежде всего вода, затем глинозем и кремнезем.

Таким образом, нам будет теперь совершенно понятен перестрой, сделанный Лейтох, минералогического изменения для средней изверженной породы в процессе катаморфизма; продукты катаморфизма разбиты на основе группы осадочных пород (рис. 261). Для дальнейшего изучения чрезвычайно интересных методов подсчета анализов и лабораторных работ рекомендуем превосходную книжку цитированных выше авторов¹:

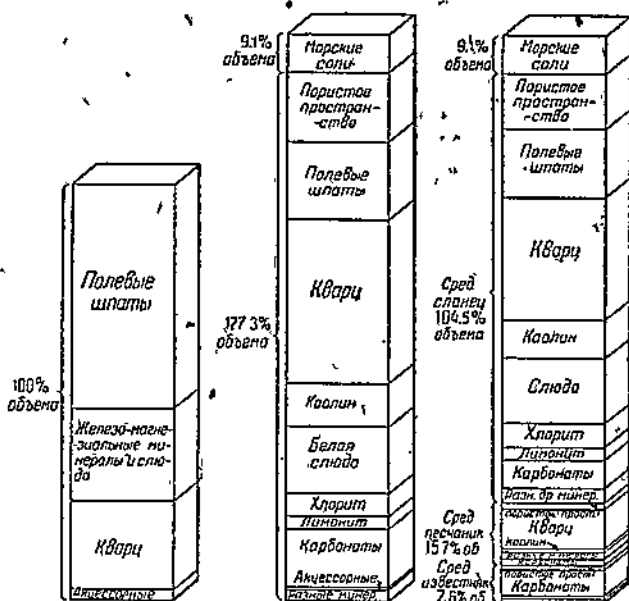


Рис. 261: Минералогические изменения при выветривании средней изверженной породы.

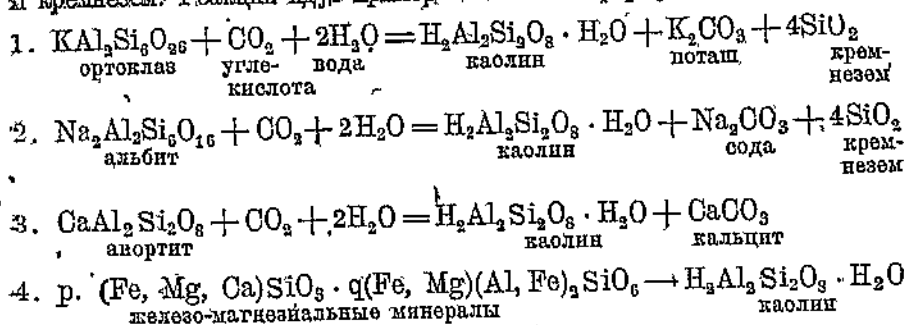
Первый столбец обозначает состав средней изверженной породы. Второй столбец обозначает минералы, получившиеся в результате выветривания средней изверженной породы благодаря образованию водных и углекислых минералов. Увеличение объема минералов выветривания сравнительно с минералами изверженной породы равно 30%. Третий столбец представляет собой, осадочные горные породы, получившиеся в результате выветривания средней изверженной породы (первый столбец). Мы имеем здесь известняки, песчанники и сланцы. Распределение минералов выветривания произведено здесь согласно среднему составу каждой из вышеперечисленных осадочных пород.

Рассмотрим подробнее важнейшие минералы, образующие процессы и минералы фоны катаморфизма.

Процессы каолинизации. Процессы каолинизации основаны на разложении полевитов углекислыми водами. Продуктом разложения яв-

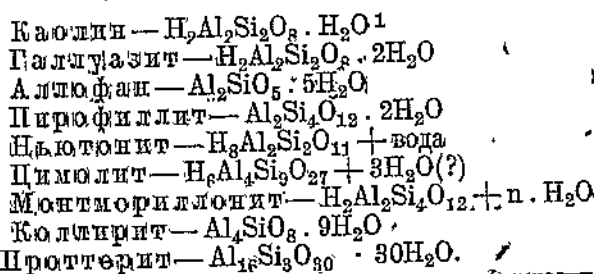
¹ См также A. Holmes. Petrographic methods and calculations, London 1921.

ляется в щелочи и уносимые растворами углекислый калий (поташ) и кремнезем. Реакции идут примерно по таким формулам:



Процессы каолинизации могут идти и в зоне магмы под влиянием кислотных растворов.

Каолин представляет собой белые, желтые, розовые землистые массы и является основной составной частью глин. К группе каолина принадлежит ряд минералов, из которых галлуазит и аллофан важнейшие составные части глин. Химический состав этих минералов таков:



Для более полной характеристики каолина, галлуазита и аллофана приведем сравнительные анализы этих трех минералов²:

	Каолин	Галлуазит	Аллофан
Na ₂ O	0,04	—	0,86
K ₂ O	0,41	—	1,69
MgO	0,11	—	2,95
CaO	0,16	0,10	2,60
Al ₂ O ₃	37,02	33,83	14,01
Fe ₂ O ₃	0,79	следы	2,65
SiO ₂	48,73	35,73	57,58
TiO ₂	0,17	—	следы
P ₂ O ₅	0,03	—	0,12
H ₂ O	13,35	28,61	17,89
	100,81	100,85	100,45

¹ F. W. Clarke. The Data of Geochemistry. 1920

² D ö l t e r, Handbuch der Mineralchemie. II B., 1817, S. 123, 41 и 135.

Каолин называют также фарфоровой глиной, так как он употребляется для изготовления фарфоровой посуды.

Глина. Понятие, обозначаемое словом «глина», очень неопределенно и у разных авторов различно: П. А. Замятченским дана сводка взглядов всех известных минералогов и педологов на этот вопрос¹, и понятие «глина» определяется так:

1. Понятию называются землистые минеральные массы или петрографической термимологии землистые обломочные горные породы, способные с водой и с другими жидкостями образовывать пластическое тело, способное и по высыхании сохранять свою форму, а после обжигу принимать твердость камня.

2. Всякая глина представляет смесь различных минералов в различных количественных отношениях. Одна группа этих минералов, будучи выделена из глины, лишена пластичности, другая группа проявляет эти свойства в высокой степени. За последней группой частиц целесообразно сохранить название глинистой субстанции.

3. В зависимости от минерального (химического) характера частиц, составляющих глинистую субстанцию, последнюю можно подразделить на 1) простую или мономинеральную и 2) сложную или полиминеральную. Первая состоит из одного минерала. Таковыми можно назвать некоторые (может быть даже большинство) фарфоровые глины, глинистая субстанция которых по химическому составу тождественна или весьма близка к каолинитиду.

К сложной глинистой субстанции относятся: 1) многие фарфоровые глины, глинистая субстанция которых по составу отличается от каолинита и представляет смесь различных водных силикатов глинозема, отвечающих формуле каолинита, галлуазита, индианита и др., также тончайших частичек слюды, вероятно и других бесцветных минералов; 2) все остальные глины со всем разнообразием их свойств, глинистая субстанция которых по химическому и минералогическому характеру является весьма сложной. В нее могут входить водные и безводные окислы железа, алюминия, кремня, различные соли, например углекислый кальций, далее — силикаты водные и безводные, состав и характер которых определить ближе пока не удается за незнанием средств и способов качественного распознавания их.

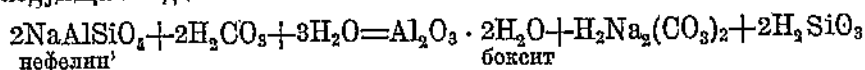
Бокситизация². Процессы разложения полевых шпатов и нефелинов могут пойти дальше каолинитизации, вплоть до образования гидратов алюминия, главным образом бокситов. Такие месторождения образуют обширные залежи в Арканзасе в САСШ в связи с выветриванием нефелиновых сиенитов, а также на о. Куба, где они связаны с разрушением змеевиковых пород. Различают три боксит мелкокристаллического сложения $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ и боксит аморфный $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$. Структура боксита обычно ослитовая, имеющая характер стяжений (кон-

¹ П. А. Замятченский. Что такое глина. «К. Е. П. С.» № 18, 1923.

² M. D. Edwards, The occurrence of aluminium hydrates in clays, «Ес. geol.», V. 9, 1914.

W. J. Mead, Occurrence and origin of the bauxite deposits of Arkansas «Ес. geol.», V. 10, 1915.

преций). Реакция разложения нефелинов может быть представлена в следующем виде:



Процесс разложения полепшатов и фельдшпатоидов (нефелин) до боксита был изучен Мидом (Mead) на Аризанасском месторождении и представлен следующей диаграммой объемного характера (рис. 262).

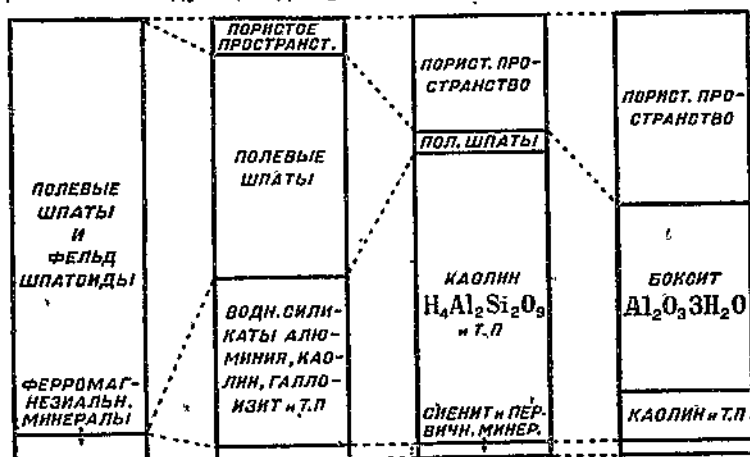


Рис. 262. Образование боксита при выветривании полепшатов и фельдшпатоидов.

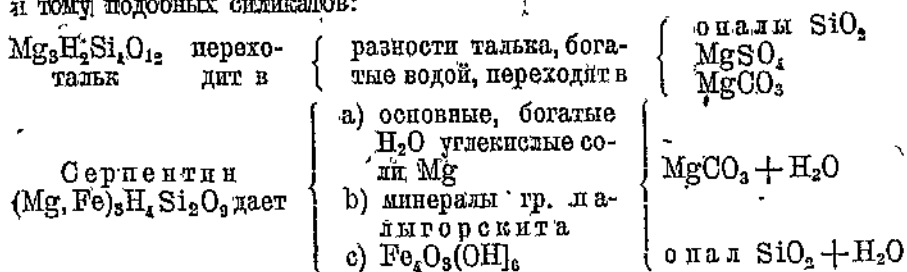
Боксит залегает обычно вместе с глинами, каолином, от которых он иногда очень трудно отличим.

Приведем некоторые анализы бокситов.

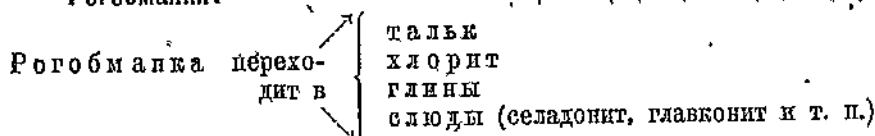
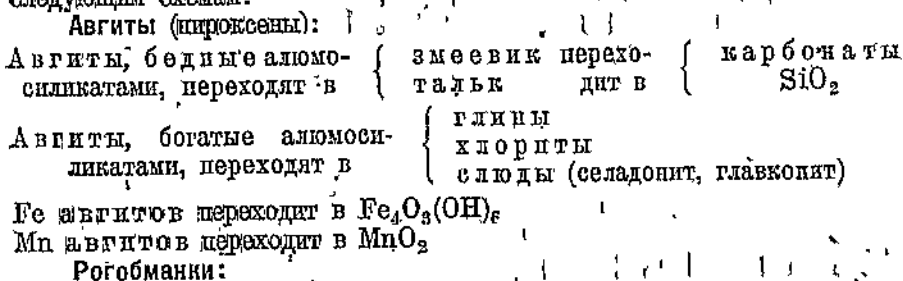
Месторождение	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	
Бо, Франция	4,8	3,2	55,4	24,8	11,6	(Deville)
Жаксонвилль, САСШ	21,08	2,52	48,92	2,14	28,41	(Hillebrand)
Арканзас, САСШ	2,00	3,50	62,05	1,66	30,81	
Тихвинское, Ленингр. обл.	5,5	2,8	53,2	19,8	17,6	(КЕНО) № 31
Журавлинское, бл. Пермь	1,54	0,04	63,76	0,35	34,48	

Презвычайно интересна бокситизация каолинов, изученная на Журавлинских месторождениях у р. Чусовой в Уральской обл. Здесь мы имеем разрушение каолинового ядра действием сернокислых растворов. Окисление пиритов каменноугольных углистых сланцев дает сернокислые растворы алюминия, которые вместе с тем вносят калий из подстилающих песков и глин, удаляют преобладающую, образуя на контакте с нижележащим известняком или обогащенные глиноземом глины или боксит. Этот тип месторождений связан с процессами алунитизации; процессы алунитизации, дающие залежи алунита, исследованы на том

Аналогично образуется тальк из слюд, рогообманок, авгитов и тому подобных силикатов:

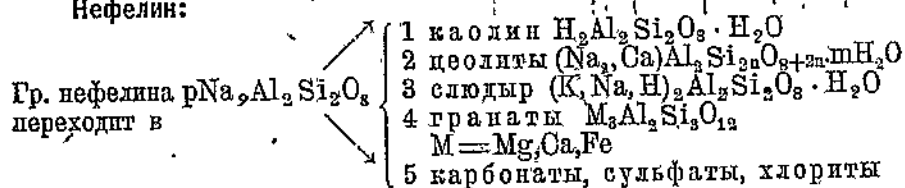


Остальные силикаты дают в зоне катаморфизма ряд минералов по следующим схемам:

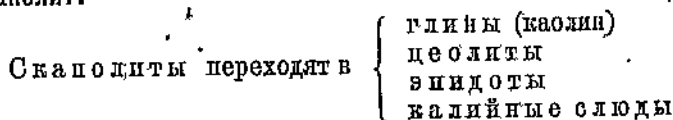


Кроме того выветривание рогообманок дает рогообманковый асбест, по виду иногда похожий на змеевиковый, но не огнеупорный, зато противостоящий действию кислот. Этот вид асбеста носит название талька горная кожа.

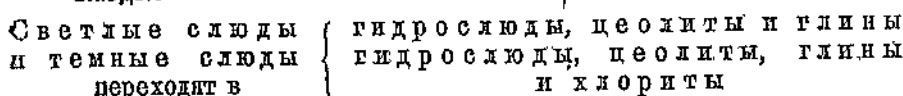
Нефелин:



Скаполит:



Слюды:



Различают несколько минералов группы лимонита:

Турьит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	94,6%	} Fe_2O_3
Гетит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	89,9%	
Лимонит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	85,5%	
Ксантосидерит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	81,6%	
Лимнит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	74,7%	

Пирролизит и гетит красного цвета, похожие на гематит. Прекрасные образцы гетита с кристаллами кварца известны с Волжского на Онежском озере.



Рис. 265. Сталактитообразный лимонит на потолке штольни.

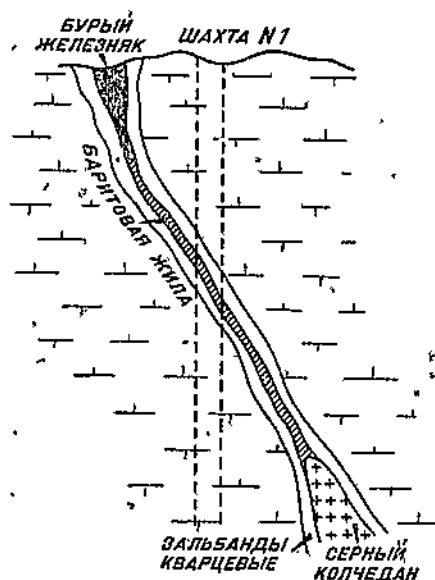


Рис. 266. Тип рудной жилы. Поперечный разрез Конюховского месторождения. Кыштым, Урал.

Пирролизит, MnO_2 ; псиломелан, $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; вад — водная окись марганца непостоянного состава; манганит, $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; гаусманит, Mn_3O_4 .

Марганцевые растворы циркулируют вместе с железными и, как это мы видели на диаграмме Фогта, неодинаковая степень растворимости солей железа и марганца определяет их раздельное выпадение при окислении растворов общего происхождения. Поэтому марганцевые минералы, главным образом пирролизит, встречаются часто совместно с лимонитом, например в Керченских рудных пластах, в Комаровских месторождениях на Урале и многих других.

Марганцевые растворы, взаимодействуя с известняками, дают выпадения:



известняк

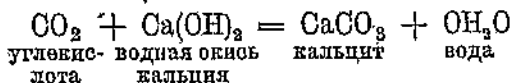
пирролюзит

В небольших количествах пирролюзит широко распространен в осадочных горных породах в виде черных пятен и так называемых дендритов. Однако основные месторождения приурочены к выпадению его из морской воды (см. о минералах морей и озер).

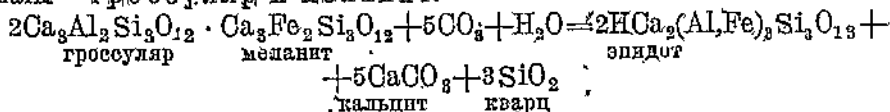
Из других минералов значительно реже встречаются: диаспор: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ — как продукт выветривания корундосодержащих пород; брусидит $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ — водная окись магния, дающая иногда волокнистые образования, похожие на асбест. Из силикатов надо отметить еще галлинерит, или кумейит, никелевый силикат неопределенного состава. Его образование связано с выщелачиванием никельсодержащих изверженных порных пород. Образование его схематически изображено на рис. 266.

ПРОЦЕССЫ КАРБОНАТИЗАЦИИ

Карбонаты, или углекислые соли являются наиболее распространенными продуктами «выветривания», так как углекислота — деятельнейший агент разрушения минералов. Самым распространенным является карбонат кальция — CaCO_3 , или кальцит. Кальцит растворим в воде, особенно в углекислой, а потому переносится ею вплоть до морских бассейнов. Образуется он при распадении кальциевых полевшпатов, как это можно видеть из формул «каолинизации», а также при взаимодействии воды, содержащей углекислоту, с растворами водной окиси кальция:



Помимо этих источников образования карбонатов почти все кальцийсодержащие минералы дают при выветривании кальцит, например гранаты —grossуляр и меланит:



Благодаря многочисленности минералов, содержащих кальций, кальцит широко распространен в природе в поясе выветривания. Часть кальциевых растворов, как описано в первой главе, в конце концов попадает в моря, где усваивается морскими организмами и образует из осадков этих организмов мощные пласты известняков.

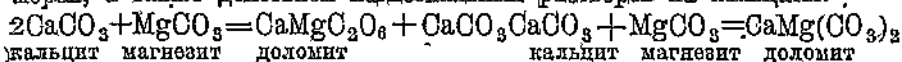
В свою очередь пласты известняка благодаря его растворимости размываются метеорной водой. В известковых породах образуются пещеры размывания, в свою очередь покрытые налетными образованиями кальцита в виде сталагмитов и сталактитов. Трещины в известняке и сланцах часто заполняются кристаллическими отложениями кальцита в виде известкового шпата, иногда прозрачного, как например в Крыму у Байдарских ворот. Местность, где на поверхности выступают размытые известняки, имеет своеобразный характер, напоминающий тающий ледник; такой ландшафт называется карстовым ландшафтом¹.

¹ А. Кр у б е р, Карстовая область горного Крыма.

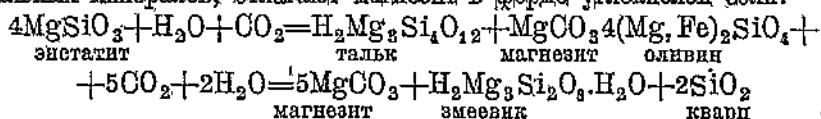
Доломит $(MgCa)(CO_3)_2$.

Магнезит, $MgCO_3$.

Доломит наряду с кальцитом является распространеннейшим минералом зоны выветривания. Двойная соль магния и кальция образуется как химический осадок при взаимодействии растворов Ca и Mg в водах морей, а также действием магнезиальных растворов на кальциты:

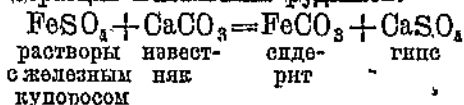


Магнезиальные растворы в обильном количестве, образуясь при выветривании авгитов, рогообманок, оливинита и других магнезиальных минералов, отлагают магнезит в форме углекислой соли:



Значительная часть магния попадает в морские бассейны, как это описано в главе о магнезии. Если магнезиальные растворы реагируют с железосодержащими водами, то образуется целый ряд промежуточных минералов: анкерит $2CaCO_3 \cdot MgCO_3 \cdot FeCO_3$ — белый, серый и буrowатый, мезитиновый шпат $2MgCO_3 \cdot FeCO_3$ и др. Ряд заканчивается углекислым железом — сидеритом.

Сидерит, $FeCO_3$. Очень часто подземные железосодержащие растворы вступают во взаимодействие с залежами на их пути известняками, и тогда происходит реакция замещения. Такие переходы от кальция к сидериту можно проследить по образцам из среднеуреских рудных отложений и по образцам Балхашских рудников:



В более редких случаях может происходить реакция углекислых вод с залежами магнезита и давать сидерит.

КАТАМОРФИЗМ РУДНЫХ ЖИЛ

Несколько особняком стоит разрушение рудных жил. Большой частью рудные жилы, тянущиеся из глубины земли, проходят разные зоны земной коры. В глубинных частях рудная жила обычно несет сернистые металлы. В верхних частях благодаря действию кислорода воды, углекислоты и серной кислоты образуются окислы, углекислые сернокислые соли металлов. Кроме того обычны образования лимонита в верхних частях рудных жил («железная шпата»). В отличие от обычных процессов выветривания здесь большую роль играет серная кислота, и разрушение рудных жил сопровождается обычно образованием многочисленных сернокислых минералов — барита, гипса и др. (рис. 266). Растворимые соли различных металлов, образующиеся при этом, уносятся водами, проникают и отлагаются в осадочных породах, образуют рудные залежи на сотни км.

Таковы рудные степи Казахской АССР, медистые песчанники Уральской обл. и многие другие.

Схематический разрез рудной жилы, несущей в основе медный колчедан, представлен на рис. 267.

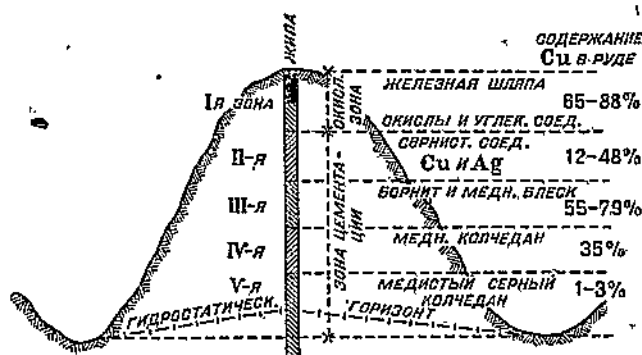


Рис. 267. Характер оруденелости серебряных и медных жил, по Демаре (Demaret).

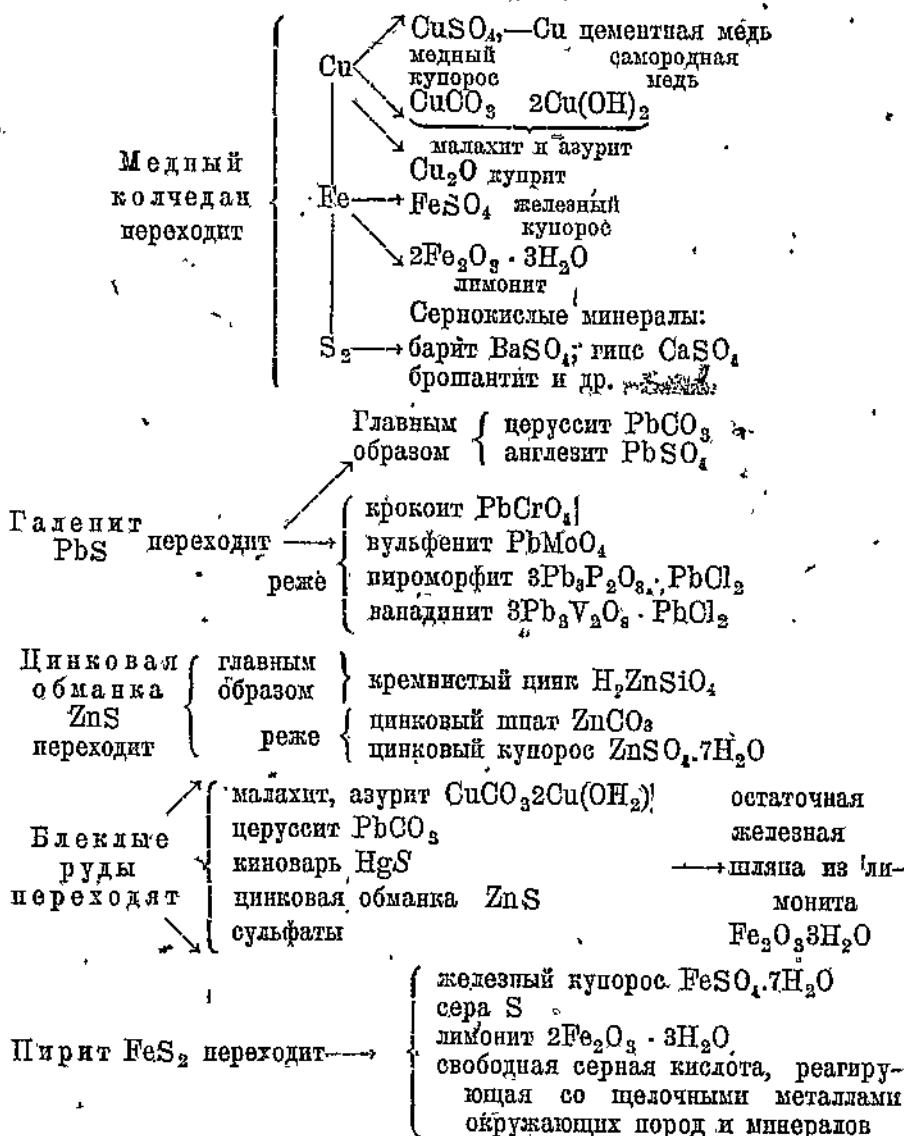
При катаморфизме рудных жил огромную роль играют процессы метасоматизма. Эти процессы имеют определенную закономерность, в некоторых отклонениях исследованную Шюерманом (Schuermann). По Шюерману одни металлы могут замещать друг друга, другие нет¹. Он составил диаграмму последовательного замещения одного металла другим при образовании ими вторичных сернистых минералов. Эти последние образуются растворами, поднимающимися от первичных сернистых минералов. Порядок замещения металлов при образовании вторичных сернистых минералов может быть представлен по Шюерману, так:

Ртуть	Серебро	Медь	Свинец	Цинк	Железо
Ртуть					
Серебро					
Медь				псевдо-морфозы	псевдо-морфозы
Свинец					
Цинк					
Железо					

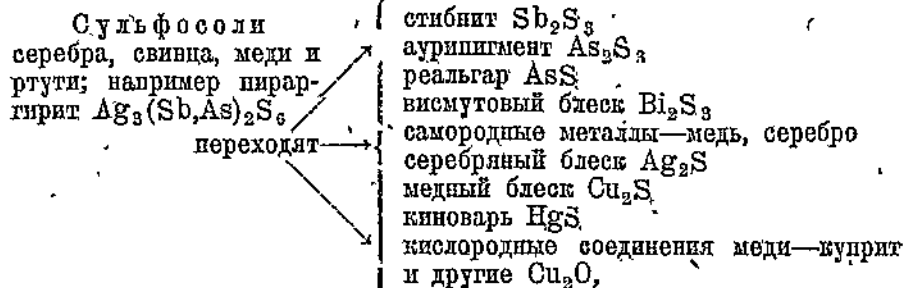
¹ E. Schuermann, Ueber die Verwandtschaft der Schwermetalle zum Schwefel. «Liebig's Annalen», V. 249, S. 326 etc.

Путь замещения указан толстой линией, т. е. рудные минералы замещаются сульфидами серебра, меди, свинца, цинка и железа; сульфиды серебра замещаются сульфидами меди, свинца, цинка и железа; сульфиды меди замещаются сульфидами свинца, цинка и железа и т. д.

Минералы, получающиеся при процессах катаморфизма в рудных жилах, могут быть представлены в следующих схемах¹:



¹ Подробное описание реакций см. ч. I, «Описание минералов», в соответствующих главах.



ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. К. Д. Глинка, Исследования в области процессов выветривания, СПб 1906 (Тр. СПб об. естествоиспытателей, т. XXXIV, вып. 5. Отд. геол. и минер.).
2. К. Д. Глинка, Латериты и краснозем, «Почвоведение» 1908.
3. M. L. Chaueux, Introduction à l'étude petrographique des roches sédimentaires, Paris 1916.
4. C. K. Leith and W. I. Mead, Metamorphic geology a text-book, New York 1915, ч. I, гл. 1—8.
5. K. Lang, Die Verwitterung, Fortschr. der Mineralogie, Krist. und Petrogr. Z. B. 1922, 175—224 (с подробнейшим списком литературы).
6. П. А. Земайтчиноский, Статьи из сборника «К познанию русских глин», КЕПС. № 18, Петроград 1923.
7. Boidell H. C. Operativ Causis in ore depositions Inst. Min. Met Trans. 37. 1923.

ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ ПОЯСА ВЫВЕТРИВАНИЯ

90% объема разрушающихся изверженных пород переходит в раствор и уносится водами. Все эти растворы концентрируются в морских бассейнах. На поверхность земной коры действуют атмосферные воды. Атмосферные воды достигают земли через значительный слой воздуха и прежде всего захватывают и растворяют в себе газы воздуха. Воздух содержит, как известно, кислорода около 21%, азота—79%, углекислоты—0,03%.

По анализам¹ Рейхарда (Reichardt) в 1 л дождевой воды содержится всего газа 27,04 см³; кислорода—5,97; азота—около 16,60; углекислоты—4,47. Как мы видим, несмотря на малое содержание углекислоты в воздухе, содержание ее в атмосферной воде приближается к кислороду. Это обуславливается большой растворимостью углекислоты в воде.

Значительная часть атмосферной воды просачивается в почву, а затем в глубже лежащие слои. Дойдя до водопроницаемого слоя (глины), она течет, следуя уклонам этого слоя. Проходя различные породы и минеральные скопления, вода растворяет и выщелачивает их. Кислородом, растворенным в воде, окисляются серные, мышьяковые и тому подобные соединения, благодаря чему образуются более или менее легко растворимые сернокислые и мышьяковокислые соединения. Угле-

¹ Анализы значительно варьируют.

кислая вода разрушает силикаты и растворяет углекислые минералы, как кальциты, доломиты и др. Зависимость состава воды источника, выходящего наружу, от минералогического комплекса в виде горных пород ясна из следующей таблицы по Рейхардту

Геологическая форма- ция, откуда берет на- чало источник	1 л воды содержит, мг						
	Плотный остаток,	Азотная кислота, N_2O_5	Соляная кислота, Cl	Серная кислота, SO_3	Известь, CaO	Магnezия, MgO	Органич. веществ. (KMnO ₄)
Гранит	24,4	—	3,3	3,9	9,7	2,5	3,1
	70,0	—	1,2	3,4	30,8	9,1	0,8
	210,0	—	следы	10,3	44,8	21,0	0,9
Мелафир	160,0	—	8,4	17,1	61,6	22,5	3,8
Базальт	150,0	—	следы	3,4	31,6	28,0	0,4
Порфир	25,0	—	—	3,4	5,6	1,8	1,6
Глинистый сланец . .	120,0	—	2,5	24,0	50,4	7,3	—
	60,0	—	8,8	1,7	2,8	3,6	3,5
	70,0	следы	2,0	5,0	5,6	1,8	3,4
Пестрый песчаник . .	180,0	следы	10,6	10,0	44,0	10,8	4,2
	225,0	9,8	4,2	8,8	73,0	48,0	2,8
	360,0	4,0	3,2	3,4	95,2	7,2	1,8
Раковистый известняк .	190,0	следы	8,9	27,5	39,2	28,0	0,8
	90,0	—	7,5	—	10,0	3,6	0,5
	325,0	0,2	3,7	13,7	129,0	29,0	1,4
Доломитовый . . .	418,0	2,3	следы	34,0	140,0	65,0	1,1
Гипсовый источник . .	2 365,0	следы	16,1	1 108,3	763,0	125,5	следы

Вообще же содержание твердых растворенных веществ чрезвычайно разнообразно. Как пример можно взять подсчеты около 1 500 источников южной и средней части СССР. Содержание твердого остатка 200—600 мг в 1 л воды встречается чаще (около $\frac{3}{5}$ всех источников), а число источников, содержащих 160—700 мг в 1 л, доходит до $\frac{7}{10}$ общего числа их; среди анализированных источников оказался также юдин с содержанием растворенных веществ более 5 000 мг и один более 6 000 мг в 1 л.

Известь представляет обязательную составную часть воды; преобладающее содержание ее: 100—200 мг в 1 л (более $\frac{1}{2}$ всех источников), затем 0—100 мг (около $\frac{1}{3}$ источников), так что число источников, содержащих CaO в количестве 0—200 мг в 1 л, достигает $\frac{5}{6}$ всего их числа. Магnezия также почти обязательная составная часть воды и редко встречается в виде «следов», а еще реже вовсе отсутствует. Содержание ее обыкновенно невелико: не выше 100 мг MgO (более $\frac{6}{7}$ всех источников); свыше 200 мг содержит только три источника из 100. Щелочи, определяемые при анализе обыкновенно в виде NaCl+KCl, содержатся в каждой воде обыкновенно менее 100 мг (почти $\frac{1}{2}$ всех источников); источников, содержащих NaCl+KCl более 200 мг — менее $\frac{1}{3}$.

Хлор (в виде хлоридов) обыкновенно встречается в малом количестве, хотя очень редко отсутствует илл имеется только в виде сле-

дов; число источников с содержанием ниже 100 мг достигает почти $\frac{4}{5}$ их общего числа, а с содержанием не выше 200 мг — более $\frac{9}{10}$ всех источников. Свободная углекислота встречается в малом количестве; содержание ее достигает значительных размеров только в водах, прилегающих к типу минеральных. Карбонаты же (главным образом *гидрокарбонаты*) — обычная составная часть воды и составляют значительную часть всего плотного остатка. Преобладающее содержание углекислоты CO_2 , карбонатов (связанной или связанной) есть 100—200 мг (почти $\frac{3}{5}$ всех источников); затем следуют воды с содержанием ниже 100 мг и далее с содержанием 200—300 мг, так что на долю вод с содержанием CO_2 выше 300 мг приходится всего $\frac{1}{40}$ общего числа источников. Серная кислота (SO_3 , сульфаты) почти в $\frac{1}{10}$ всех источников или отсутствуют, или содержится в виде следов; преобладающее ее содержание не выше 100 мг (более $\frac{2}{3}$ всех источников), затем 100—200 мг ($\frac{1}{8}$ всех источников), но не так уже редко встречается и более высокое содержание. Аммиак (редко свободный), азотистая и азотная кислоты (в виде солей), происходящие от разложения органических веществ, в чистых водах не встречаются; аммиак и азотистая кислота, если оставить в стороне случаи исключительного загрязнения, если и содержатся, то в весьма малом количестве до 1 мг. Что касается азотной кислоты, в которую преобразуются азотистые органические вещества, попадающие в почву, то содержание ее изменяется в зависимости от степени загрязнения почвы и иногда может быть значительным: из всех источников она найдена лишь в $\frac{1}{3}$ и то в количестве менее 100 мг.

Органические вещества содержатся в малом количестве; преобладающее содержание их, выраженное в количестве KMnO_4 , требующемся для их окисления, обыкновенно несколько миллиграммов, не выше 10 (более $\frac{4}{5}$ всех источников).

Относительно жесткости, наличие и размеры которой столь важны для большинства применений воды, можно заметить, что общая жесткость, т. е. содержание Ca и Mg солей, перечисленное на граммы CaO в 100 л воды (немецкие градусы), обыкновенно не превосходит 40°, но в то время как для общей и карбонатной жесткости (соответствующей $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ преобладающей является величина 10—20°, минеральная жесткость (Ca- и Mg-соли сильных кислот) обыкновенно менее 10°, поэтому в отдельных случаях минеральная жесткость может иметь громадные размеры (100° — гипсовые источники), каких никогда не достигает карбонатная жесткость. Менее 20° общей жесткости имеют более $\frac{3}{5}$ всех источников, минеральной — более $\frac{7}{8}$ и карбонатной — более $\frac{9}{10}$.

Источники, проходящие скопления железных соединений, сильно железисты, проходящие сернистые минералы — содержат много серы и т. п. Вообще все минеральные источники можно разделить на следующие группы:

Обыкновенные холодные источники (1 г твердого остатка на 1 л воды) t° до 20°.

Обыкновенные горячие источники t° выше 20°.

Щелочные источники. С содержанием двууглекислого натрия.

Эти две группы содержат твердых солей 200—600 мг в 1 л воды;

CaO—100—200 мг; MgO—0—100 мг; щелочи (Na, K) менее 100 мг,
CO₂—100—200 мг.

Щелочноземельные кислые источники. С содержанием двууглекислой извести и магнезии.

Соленые источники. NaCl более 15 г на 1 кг.

Горькие источники с Na₂SO₄ и MgSO₄.

Железистые источники 10 мг железа на 1 кг воды.

Сернистые источники с содержанием H₂S и гидросульфатов.

РЕЧНАЯ ВОДА

Речные воды чрезвычайно богаты продуктами выветривания. Состав речных вод можно иллюстрировать следующей таблицей анализов различных рек СССР.

Состав некоторых речных вод

Название рек	1 л воды содержит, мг					
	Плотный остаток	Солиная кислота, Cl	Серная кислота, SO ₄	Известь, CaO	Магнезия, MgO	Органич. вещества, (K ₂ MnO ₄)
С. Двина у Архангельска (Шмидт).	223,8	33,3	29,6	36,8	36,8	—
Днепр у Днепропетровска осенью 1911 г. (Волжин)	226,9	13,6	5,5	74,8	16,2	28,8
Нева у Ленинграда (Трап)	55,2	1,0	1,9	8,5	3,6	23,0
Днестр у Одессы (Драгендорф)	200,0	17,7	38,9	69,6	17,3	3,1
Волга у Астрахани (гор. водопр. 1902 г., Банковский)	191,5	12,4	36,9	59,0	11,4	14,5
Дон у Цимлянкой станицы (1905 г., Писаренко)	371,2	38,8	48,8	95,2	26,6	8,7
Сосна у Ельца (1900 г., Фрост)	194,8	17,8	14,6	64,0	21,3	9,3
Ока у Кашимова (1902 г., Комаровский)	117,0	2,4	9,0	33,2	6,5	28,2
Самара у Новомосковска (1899 г., Волжин).	1 400,2	351,4	242,0	102,3	56,1	27,0

Из этой таблицы по сравнению ее с таблицами состава источников, которые служат основой питания рек, видно, что речная вода теряет по пути кремнезем и известь.

Интересно сопоставить потерю через выветривание изверженных пород и средний состав речных вод (по Лейту):

	Потеря через выветривание изверженных пород	Средняя речная вода
SiO ₂	63,28	19,75
Al ₂ O ₃	2,71	4,66
Fe ₂ O ₃	2,53	9,64
MgO	13,36	48,30
CaO	8,85	13,20
Na ₂ O	6,27	6,32
K ₂ O		
	100	99,87

В конце концов все речные воды собираются в морских бассейнах и небольшая часть в замкнутых озерах. Моря и океаны концентрируют в течение тысячелетий растворимые части минералов изверженных пород.

МОРСКИЕ И ОЗЕРНЫЕ ВОДЫ

Большая разница между океанской водой и речной объясняется в большей степени жизнедеятельностью морских организмов, усваивающих различные соли (по Ю. Роту):

	В морской воде	В речной воде
Карбонатов	0,21	60,1
Сульфатов	10,34	9,9
Хлоридов	89,45	5,2
Остальные соли SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . . .	—	24,8
	100	100

или перечисленный на оксид и элементы.

По мере отделения моря от системы морей и океана или части моря в виде бухты или лимана вследствие геологических преобразований совершается большей частью концентрация морской воды. Возьмем для примера Каспийское море с почти отделившимся от него заливом Карабу-

На 100 г твердого остатка речной воды содержится		На 100 г твердого остатка морской воды содержится	
	—	Cl	55,217
	—	O	5,283
	—	Br	0,188
	—	C	0,041
Na_2O . . .	13,20	Na	30,637
MgO . . .	9,64	Mg	3,769
CaO . . .	48,30	Ca	1,196
K_2O . . .	4,32	K	1,107
Al_2O_3 } . .	4,66	S	2,562
Fe_2O_3 }		—	—
SiO_2 . . .	19,75	—	—
Остальное .	0,13	—	—
	100,00	—	100,00

газом и совершенно отдельным озером Эльтон. По Ю. Роту, состав их таков: на 1000 ч. воды приходится:

	Каспийское море	Карабугаз	Эльтон
Na	8,2	32,7	15,06
K	0,07	5,2	1,2
Mg	0,76	45,1	60,5
Ca	0,3	—	—
Cl	5,5	152,0	172,0
Br	0,007	0,2	—
SO_4	3,1	49,5	42,6

Если же отнести все составные части к одинаковому количеству твердого остатка и вычислить, сколько каждого соединения содержится в 100 ч. твердого вещества, то получим:

	Каспийское море	Карабугаз	Эльтон
Na	24,7	11,5	5,2
K	0,5	1,8	—
Mg	5,9	15,8	20,8
Ca	2,3	—	—
Cl	42,4	53,4	59,0
Br	0,05	0,08	—
SO ₄	24,1	17,4	14,6
	100,0	100,0	100,0

Из таблицы ясно видно увеличение магnezияльнохлористых солей в связи с переходом от моря к озеру.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Соответствующие главы в курсах геологии. См. М у ш к е т о в, Финансовая геология. Иностранцев, Финансовая геология, Van Nise, Treatise of metamorphism, 1904.
2. Отоний, Грунтовые воды, 1906.
3. Волжин, Анализ воды, Екатеринослав 1910.
4. Ch. S. Slichter, Подземные воды, пер. А. Д. Стопнейча, ОПВ 1912.
5. Dr. K. Krillhach, Lehrbuch der Grundwasser und Quellenkunde, Berlin 1917. Есть русский пер. 1914 г.
6. G. Clarke, The data of Geochemistry, Washington 1920. Гл. III, IV, V, VI и VII.
7. Bjo y d e l l Н. С. Operativ cosses in ore deposition. Inst. Min. metall. Tarns. 37, 50—177. 1928.

ХИМИЧЕСКИЕ ОСАДКИ МОРЕЙ И ОЗЕР.

Морская вода — это не насыщенный раствор. Степень насыщенности зависит в значительной мере от температуры и от растворимости солей, находящихся в морской воде. Диаграмма (рис. 268) рисует некоторые закономерности в двойной системе — вода и соль. Точка N означает состав и температуру морской воды. При охлаждении до 0° и ниже образуется лед; при дальнейшем охлаждении выделяется соль.

Процесс образования левой кривой. При испарении, идущем при одной и той же температуре, что указано на чертеже пунктирной линией, идет процесс насыщения, если приток извне не разбавляет опять данный бассейн. При повышении температуры насыщение увеличивается. Этот процесс представлен правой кривой. Поэтому выпадение солей из морской воды наблюдается в бухтах, лагунах, отдельных от моря, где приток воды не покрывает ее расхода от испарения. Примером может служить уединенный залив Каспийского моря — Карабугаз.

Выделение минералов как химических осадков идет в зависимости от температуры и степени насыщения растворов. На диаграмме (рис. 269)

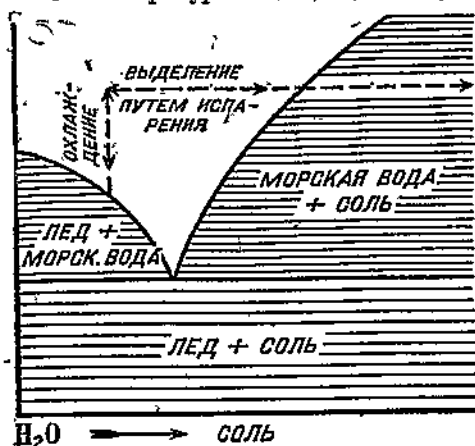


Рис. 268. Образование химических осадков в морской воде при испарении и охлаждении.

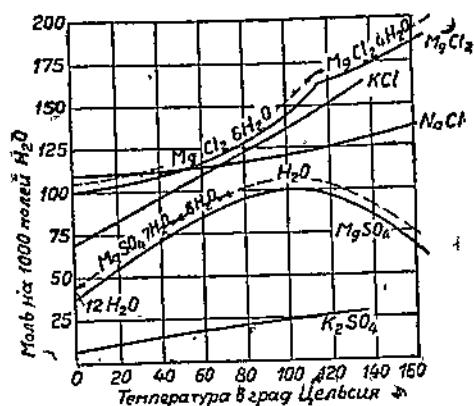


Рис. 269. Кривые растворимости различных солей (по Гильдебрандту).

представлены данные о растворимости различных солей в зависимости от температуры. Большинство кривых непрерывно повышается. При охлаждении морской воды все соли, насытившие раствор, выкристаллизуются. Так в вышеупомянутом Карабугазе сернокислый натрий $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, называемый мирабилитом, выпадает в большом количестве зимой и образует по северо-западному берегу залива огромные массы выброшенной волнами на берег соли (рис. 204). Летом же выпавшая соль опять растворяется. Минералообразование идет из находящихся в морской воде молекулярных группировок: NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2 , Na_2SO_4 , K_2SO_4 , MgSO_4 , KBr , MgBr_2 , CaCO_3 , MgCO_3 , N_2O .

Главнейшими реакциями являются образование двойных солей и образование гидратов. Первыми минералами, насыщающими испаряющийся морской раствор, будут кальцийсульфаты: гипс и ангидрит. В чистоводных растворах гипс выделяется до 65,5%; при высшей температуре выделяется только ангидрит. При сме-

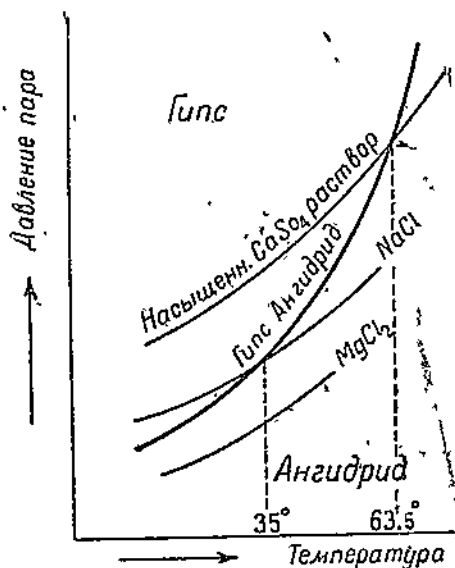


Рис. 270. Соотношение между гипсом и ангидритом в процессе образования.

панных растворах и при насыщении воды NaCl при 25° сначала выделяется гипс, потом гипс, ангидрит и каменная соль. Это изображено на диаграмме приводимой Нигли¹ (рис. 270).

Минералы, выпадающие как химические осадки морей и озера можно разбить на следующие группы:

1. Сернокислые соединения:

	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄
CaSO ₄	CaSO ₄ ангидрит CaSO ₄ ·2H ₂ O гипс	2CaSO ₄ · MgSO ₄ K ₂ SO ₄ 2H ₂ O } полла- лит	CaSO ₄ ·Na ₂ SO ₄ глауберит	K ₂ SO ₄ ·CaSO ₄ · H ₂ O сингенит
MgSO ₄	полигидрат кругит	MgSO ₄ ·H ₂ O кизерит MgSO ₄ ·7H ₂ O рейхардит или эпсомит	Na ₂ SO ₄ · MgSO ₄ 2 1/2 H ₂ O } левзит Na ₂ SO ₄ · MgSO ₄ 4H ₂ O } астра- ханит	K ₂ SO ₄ · MgSO ₄ 6H ₂ O } шенит K ₂ SO ₄ · 2MgSO ₄ } калистра- ханит
Na ₂ SO ₄	глауберит	3·Na ₂ SO ₄ · MgSO ₄ } вантофф- фит	Na ₂ SO ₄ тенардит Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O мирабилит	глазерит
K ₂ SO ₄	сингенит + H ₂ O	калистраханит	Na ₂ SO ₄ ·3K ₂ SO ₄ глазерит	

Кроме того:

леонит MgSO₄·K₂SO₄·4H₂O

кругит 4CaSO₄·MgSO₄·K₂SO₄·2H₂O

2. Хлористые соединения:

	CaCl ₂	MgCl ₂	KCl
MgCl ₂	CaCl ₂ ·2MgCl ₂ ·12H ₂ O тахидрит	MgCl ₂ ·6H ₂ O бিশофит	KCl·MgCl ₂ · 6H ₂ O } карнал- лит

¹ Niggli, Lehrbuch der Mineralogie. 1920, S. 578—579 etc.

NaCl, каменная соль или галит.

KCl, сильвин.

FeCl₂·3KCl·NaCl, риннит.

Бром находится в бишофите, карналлите и сильвине.

3. Сернокислые соединения:

KCl·MgSO₄·3H₂O Каинит

4. Соединения с бором:

MgCl₂·2Mg₃B₃O₁₃ Борацит

MgB₂O₄·3H₂O Пинноит

CaNaB₆O₉·8H₂O Боронатрокальцит

Ca₃B₂₀O₃₈·15H₂O Пандермит

KMg₂B₃O₁₆·8H₂O Калиборит

Классическим месторождением минералов как химических осадков морей является Стассфурт близ Магдебурга в Германии (рис. 81).

Исследования Ванд-Гоффом и его школой, это месторождение дает возможность установить следующие парагенетические группы в зависимости от температуры при испарении растворов.

Процесс испарения показан направлением стрелки снизу вверх.

При 0°:

Рейхардит + карналлит + бишофит

Рейхардит + карналлит

Рейхардит + сильвин

Рейхардит + (частью с шенитом)

+ галит + гипс
или полигалит,
ангидрит

При 25°:

Кизерит + карналлит + бишофит

Карналлит + кизерит

Каинит + кизерит MgSO₄·6H₂O

Каинит

Каинит + рейхардит

Рейхардит { + галит +

Астраханит { полигалит

Галит + полигалит

Галит + ангидрит

Галит + гипс

Галит +
ангидрит

При 55°:

Кизерит + карналлит + бишофит

Карналлит + кизерит

Каинит + кизерит

Каинит

Лангебейнит

Девеит

С галитом +
полигалит и
глауберит

Галит + полигалит или глауберит

Галит + ангидрит. Ангидрит

The Journal of Law, Economics, & Organization, V16 N1

С галитом $\frac{1}{1}$
Полигилит или
глауберит

Галит	полигалит	или	глауберит
Галит	ангдрит		
Ангидрит			

В Стассфурте заледни солей претерпели значительные изменения во время своей геологической жизни. Работами Аррениуса (Arrhenius) и др. выяснены процессы их опускания и поднятия, причем сила давления выжимала некоторые соли с более легким удельным весом.

В современном море оно иле был найден ряд минеральных стяже-
ний, из которых некоторые, как например марганцевые желваки в преж-
ние геологические эпохи дали начало значительным скоплениям мощ-
ных месторождений марганцевых руд.

5. Цирконит и психомелан.

Состав марганцевых желваков, находящихся на дне морей, включает в себя главным образом соединения — MnO_2 , Mn_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 .

Небезынтересна таблица анализов железомарганцевых желваков Черного, Балтийского и Баренцева морей¹.

	Черное море				Балтийское море		Баренцovo море	
	«Меотиды» 21 м	«Меотиды» 13,6 м	«Амбат-рас» 12—13 м	«Эдинька» 9—12 м	Плоское желваки	Шаровые желваки	Плоское желваки	Трубочатые желваки
MnO ₂	1,33	2,77	2,07	3,19	7,04	17,43	34,38	8,06
Mn ₂ O ₃	11,40	12,88	12,31	15,38	17,92	10,02	8,56	14,34
Fe ₂ O ₃	44,44	36,58	44,35	32,59	35,05	31,79	20,96	25,80
Al ₂ O ₃	3,50	0,99	2,08	1,97	3,81	3,45	3,81	2,83
SiO ₂	10,20	18,30	13,48	15,32	16,07	19,92	13,49	18,76
CaO	6,79	4,64	2,43	3,88	3,34	1,20	2,07	4,43
MgO	2,97	1,53	1,77	3,52	2,33	1,32	1,19	3,74
K ₂ O	0,08	0,08	0,10	0,04	0,05	0,08	0,08	0,15
Na ₂ O	0,15	0,11	0,13	0,18	0,13	0,09	0,12	0,30
P ₂ O ₅	4,30	2,25	2,28	6,78	0,88	2,35	3,35	3,18
CO ₂	2,52	4,27	5,05	3,98	5,27	4,03	5,52	3,19
Потеря при про- каливании	12,54	16,04	14,05	12,89	8,57	8,16	6,63	15,36

¹ Я. В. Самойлов и А. Г. Титов, Железно-марганцевые желваки со дна Черного, Балтийского и Баренцова морей, «Труды геол. и минер. музеев АН. наук», т. III, 1917.

Главную массу желваков составляет железомарганцевое вещество, причем содержание марганца и железа колеблется довольно значительно в желваках из различных пунктов. Почти во всех образцах преобладает железо над марганцем и только в плоских образцах Баренцова моря отношение обратное. В большинстве исследованных железо-марганцевых желваков марганец в главной своей части представлен Mn_2O_3 и только относительно незначительная его часть заключается в форме MnO_2 . Напротив, обратным отношением — преобладанием MnO_2 над Mn_2O_3 — отличаются шаровые желваки Балтийского моря и особенно плоские желваки Баренцова моря. В этих последних содержание MnO_2 значительно превышает содержание Mn_2O_3 .

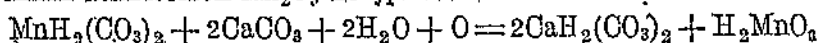
Таким образом плоские желваки Баренцова моря наиболее богаты содержанием Mn_2O_3 и главная масса марганца заключена в них в виде Mn_2O_3 .

Как известно, именно эти желваки извлечены из наибольшей глубины по сравнению со всеми другими железо-марганцевыми желваками.

Гипотезы образования марганцево-железистых желваков разнообразны. Некоторые объясняют их образование скоплением вулканических островов, особенно при подводных извержениях, другие — жизнедеятельностью организмов. Так Фермор пишет:

1. Некоторая часть марганца может быть и обязана космической пыли и вулканическим остаткам; главная же масса осаждена из раствора морской воды, куда марганец принесен реками.

2. Можно допустить, что часть окислов марганца выделилась в результате жизнедеятельности организмов, растительных и животных, но главная масса согласно Пенрозу (Penrose), осаждена карбонатом кальция путем замещения $CaCO_3$, переходящим в раствор, соответственным количеством Mn_2O_3 по уравнению:



В вышецитированной работе Я. В. Самойлов склоняется к образованию желваков в результате жизнедеятельности организмов.

Значительные месторождения пиролюзита в СССР относятся к морским, главным образом прибрежным отложениям; таковы месторождения Богословского района на Урале, близ с. Марсита.

Вторичный пиролюзит залегает в форме конкреций в послетретичных глинах и песках, выщелоченный из марганецсодержащих третичных отложений¹. Третичные осадки содержат пиролюзит и другие марганцевые минералы в Никопольских месторождениях на Украине и в Чи урах на Кавказе, причем все эти отложения приурочены к олигоценовому возрасту.

Н. А. Соколов предполагает², что образования этих руд сложились в связи с особенностями органического мира, населявшего олигоценное море.

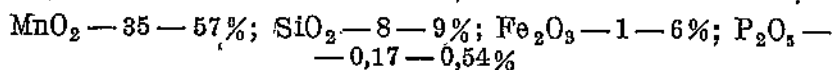
Олигоценное море имело на месте теперешнего Никопольского района подводный гранитный кряж, местами выступавший из-под уровня

¹ Е. Федоров и Никитин, Богословский горный округ. 1901 г., стр. 77 и др.

² Н. А. Соколов, Труды Геологического комитета, 1901, XVIII, № 2.

моря. В котловинах этого кризиса и отлагался пирролюзит, окаймляя с юга обширную отмель, соответствующую прибрежной полосе олигоценового моря.

В Никопольском районе пирролюзит залегает гнездобразными стяжениями скорлуповато-двуслоного строения. Толщина залежи от 1 до 1,5 м. Химический состав:



В Мшатурах пирролюзит, псиломелан, манганит образуют также проглысы вдоль берега палеогенового моря. Отложения имеют формы желваков, оскопковых зерен, связанных поропиковатой рудой, и расположены горизонтальными рядами, чередуясь с песчаниками и песками. Тип залегания изображен на рис. 271. Химический состав руды аналогичен Никопольским месторождениям.

Глаукоцит встречается в темнозеленых зернах, широко распространенных в осадочных породах, и отлагается также и в настоящее время во многих местах на дне океана. Он образует зеленый зернистый осадок и вообще бывает более или менее, смешан с другими осадочными материалами, особенно с тонким песком и илом. Обычно отдельные зерна имеют вид и размер фораминиферовых раковин и многие из них имеют еще приращенные к внешней стороне обломки раковин. Многие также являются отщепившимися внутренними опечатками фораминифер. Только редкие глаукоцитовые зерна превышают 1 мм в диаметре.

В настоящее время глаукоцит образуется в большом обилии в сравнительно неглубоких водах и близ линии тины, окружающей континентальные берега, как раз вне границы действия волн и течения. Глубина, на которой он обыкновенно образуется, колеблется между 183 и 370 м, но в некоторых местах он образуется на глубине более чем 1650 м.

Постоянное нахождение глаукоцита внутри раковин фораминиферы приводит к убеждению, что эти организмы принимают участие в его образовании¹. Предполагается, что мертвые организмы падают на дно, после чего раковины заполняются илом, который в присутствии сульфатов морской воды действует на раковины, разлагая органический материал в них. Содержащееся, как предполагается, в иле железо окисляется в сульфид, и последний после того окисляется до железного гидроксида, оставляя свободной серную кислоту. Серная кислота действует на глинозем, заставляя его перейти в раствор, и в то же время коллоидальный кремнезем делается свободным.

Коллоидальный кремнезем действует на железный гидроксид и в присутствии калийных солей, которые по предположению произошли от разложения соседних минералов, образует глауконит.

¹ К. Д. Глинка держится возвращения на глауконит, как на минерал, не представляющий новообразования, а являющийся детритным продуктом. См. его работу: «Глауконит, его происхождение, химический состав и характер выветривания». См. также Clarke, The data of Geochemistry, 1920.

Осадки, с которыми глауконит ассоциирован, как известно, содержат всегда в изобилии юртоклад, мусковит и другие минералы, из которых и выщелачиваются калий. Другие материалы, обычно находящиеся с глауконитом в зеленых песках: кварцит, рогообманка, магнетит, азвит, циркон, гранат и различные типы известковых соединений, происшедших от раковин.

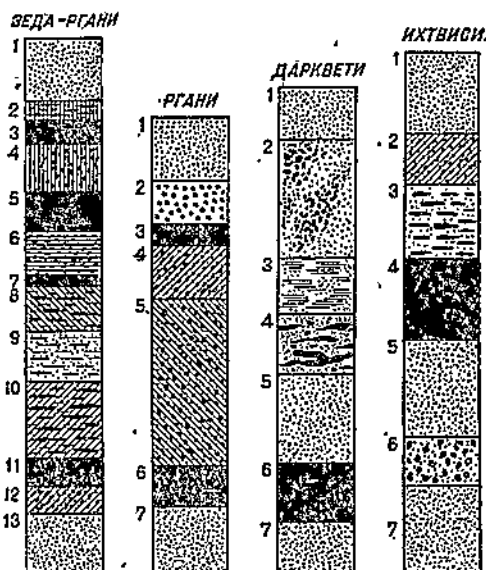


Рис. 271. Разрезы рудоносной свиты марганцевого месторождения, в Чиатурах, снятые в забоях различных частей района.

Зеда-Ргани: 1 — песчаник кровли. 2 — крупнозернистая руда в желтой песчанистой массе. 3 — красно-бурый землистая разновидность руды с включениями кусков плотной руды. 4 — черная крупнозернистая руда в черной основной массе со включениями кусков плотной руды. 5 — мелкозернистая руда в желтой основной массе. 6 — черная мелкозернистая руда в черной основной массе с пропластками плотной руды. 7 — плотная руда. 8 — черная мелкозернистая руда в черной основной массе с кусками плотной руды. 9 — черная землистая руда. 10 — крупнозернистая руда в красновато-желтой основной массе. 11 — плотная руда черно-синего цвета. 12 — крупнозернистая руда в красновато-желтой основной массе. 13 — песчаник почвы.

Ргани: 1 — серый песчаник кровли. 2 — песчаник с мелкими зернами руды. 3 — землистая руда. 4 — черная мелкозернистая руда в песчанике синевато-черного цвета. 5 — крупнозернистая руда с песчаником синевато-черного цвета. 6 — плотная руда с сероватым отливом. 7 — желтый песчаник почвы с мелкими зернами руды.

Дарквети: 1 — черный песчаник кровли. 2 — землистая руда. 3 — светлосерый песчаник с темными пятнами. 4 — мелкозернистая руда с включением кусков плотной руды. 5 — светлосерый песчаник. 6 — плотная руда с незначительными включениями мелкозернистой разновидности руды. 7 — песчаник почвы.

Ихтвиси: 1 — серый песчаник кровли. 2 — мелкозернистая руда в желтой основной массе. 3 — чередующиеся слои темносерого песчаника и плотной руды. 4 — плотная руда. 5 — серый песчаник. 6 — крупнозернистая руда с примесью песчаника. 7 — серый песчаник почвы.

Из химических осадков морей необходимо отметить еще найденный в глубоководном иле перолит-филиппсит. Филиппсит образуются несомненно в связи с попадающими в море продуктами вулканических извержений — пеплом, рапидди и пр. Характерные двойники филиппсита хорошо видны на прилагаемых рисунках (рис. 272а, 272б, 272в).

Минералы озер

Озера с минеральными растворами могут образоваться из морских заливов и лагун, постепенно отделявшихся от моря, и из пресных озер, насыщенных солями, выщелоченными из пород материка. Работы Курнакова, Вериго и др. выяснили ряд закономерностей.

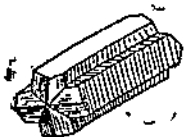


Рис. 272а. Филиппсит. Крестовидное двойниковое прорастание.

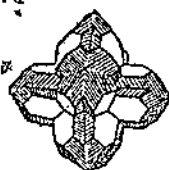


Рис. 272б.



Рис. 272в. Многократный двойник филиппсита в глубины 4298 м (сильно увеличен).

По Курнакову, все природные соляные рассолы можно разделить на два основных класса. К первому классу относятся рассолы, содержащие кроме сернокальциевой соли (гипса) большую или меньшую примесь сернокислых солей магния и натрия. Состав главнейших частей соляной массы может быть представлен в виде следующей схемы:

Первый класс: $\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$
 $\text{— MgCl}_2 \cdot \text{NaCl}$

Это наиболее распространенный тип, к которому принадлежит морская вода, а также рассолы озер и лиманов, непосредственно связанных с морем своим образованием.

В рассолах второго класса ions серной кислоты содержится или как раз столько, сколько требуется для образования сернокальциевой соли, или же меньшее количество. В последнем случае раствор может содержать хлористый кальций, и схема составных частей соляной массы принимает вид:

Второй класс: $\text{CaSO}_4 \text{ — —}$
 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot \text{NaCl}$

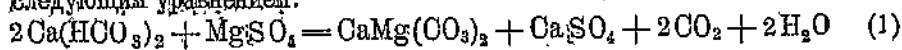
Юпит приводит к заключению, что озера с рассолами второго класса обязаны своим происхождением выпотеванию солей из пород материка и не имеют непосредственной связи с морем.

Рассолы первого класса, приходя в соприкосновение с углекислыми соединениями кальция материковых отложений, постепенно теряют содержание серной кислоты и метаморфизуются в рассолы второго класса.

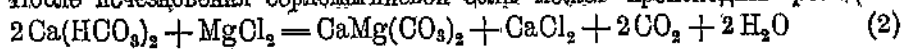
А. Вериго показал, что действием избытка раствора двууглекислой соли на соляную воду с переизбытком одесских лиманов можно постепенно производить осаждение магнезии из сернокислой соли до тех пор, пока вся серная кислота, содержащаяся в соляной массе

солончаковой воды, не будет обращена в гидтс. В результате этого процесса соляная масса солончаковой воды, имеющая характер соляной массы Черного моря (первого класса), превращается в соляную массу Кузильницкого лимана (второго класса).

В опытах Вериги обработка раствором двууглекислой соли производилась при кипячении, причем магний осаждался в виде гидроксида магния и основной углекислой соли. В природе выделение магния происходит по всей вероятности в форме двойной углекислой соли кальция и магния — доломита, и реакция может быть выражена следующим уравнением:



После исчезновения серномагневой соли может происходить реакция:



определяющая характерное для рассолов второго класса появление хлористого кальция. Таким образом метаморфизация морской соляной массы связана с образованием доломита или с явлениями доломитизации известняков и мергелей. В числе реакций, последовательно уменьшающих количество сернокислых соединений в рассоле, необходимо также указать на процесс восстановления гипса, происходящий в отложениях призм и на дне озер под влиянием бактерий. При этом получаются серноватистокислая соль и сернистый кальций. Последнее вещество, реагируя с водой и углекислотой, дает углекислую соль и сернистый водород; этот газ улетучивается в атмосферу и окисляется кислородом воздуха с выделением свободной серы или же вступает во взаимодействие с железными соединениями и образует карбонатное сернистое железо, которое обуславливает характерную черную окраску нормальных грязевых отложений соляного озера. Все названные продукты восстановления непосредственно обнаружены химическим анализом в различных соляных грязях.

Для характеристики процесса метаморфизации может служить отношение:

$$K = \frac{\text{MgSO}_4}{\text{MgCl}_2}$$

которое было названо коэффициентом метаморфизации соляных рассолов. Кроме вышеперечисленных соединений для озер характерны отложения галита NaCl , соды Na_2CO_3 , термонатрита $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, трона NaNaCO_3 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и гейлюссита — $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Крупнейшие соляные озера известны у нас в Нижневолжском крае — Баскунчак, Эльтон; содовые озера известны в Азиатской части СССР, где, особенно в Западно-сибирском крае, масса озер всевозможных типов. Кроме того известны озера с борнокислыми минералами: бурра, или тингал — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (вода) (в Тибете). Важнейшие озера — в Тибете и в Южной Америке — Чили, Перу, Мексика; сасолин, или борная кислота $\text{B}(\text{OH})_3$, встречается в озерах, связанных с вулканическими областями в Италии близ Неаполя, в Крыму у Керчи, в грязевых сопках в связи с выделениями борной кислоты из вулканов.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Van't Hoff, Zur Bildung der Oceanischen Salzablagerungen, 1905—1909.
2. J. O. Buschman, «Das Salz», Leipzig 1906—1909.
3. H. Everding, Zur Geologie der Deutschen Zechsteinsalze, «Abhandlungen der Königl. Preuss. geol. Landesanstalt N. F.», Heft 52, 1907 (с подробнейшим списком литературы).
4. J. Walter, Das Gesetz der Wüstenbildung, Leipzig 1912 (есть в русском переводе).
5. E. Jänecke, Die Entstehung der deutschen Kalisalzlager, Braunschweig 1915.
6. J. H. Hildebrandt, The Extraction of Potash and other Constituents from Sea Water Bittern, «Journ. of Industr. and Engineers», v. 10, 1918.
7. E. Legmann Fortschritte der mineralogischen und geologischen Erforschung der Permischen Salzlagerstätten, «Jahrb. d. Halleschen Ver. z. Erf. d. Bodenschätze», 1921 (с интересующим списком литературы).
8. K. Andree, Geologie des Meeresbodens, Leipzig 1920 (с списком литературы, содержащим 602 названия).

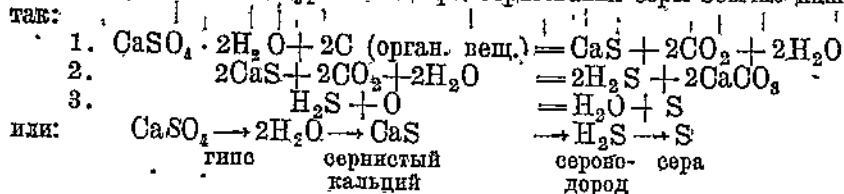
БИОЛИТЫ

(Минералы, образующиеся при посредстве организмов.).

Изучения влияния организмов на образование минералов расширилось, особенно за последние годы, благодаря работам русских ученых Я. В. Самойлова и В. И. Вернадского.

Наиболее мощные процессы минералообразования протекают в морских бассейнах. Одной из минералогических проблем явилась проблема минералогии морского дна и проблема диагенезиса. Превращение морского ила в горную породу — процесс диагенезиса — пока еще мало исследован и изучен. В озерах и болотах идут также значительные процессы накопления бурых железняков в связи с деятельностью микроорганизмов. Бактерии, как показывают исследования, играют большую роль в зоне катаморфизма, но работа их иногда нацело покрывается дальнейшей перекристаллизацией и другими изменениями первоначально отложенного минерального вещества. Так сера концентрируется серными бактериями в виде мельчайших капелек. В дальнейшем серный концентрат кристаллизуется, и образовавшиеся кристаллы покрывают весь процесс и придают ему совсем другую окраску.

Многие химические реакции при образовании минералов осадочных пород не могут быть поняты, если мы не введем биологического фактора. Так, химические уравнения при образовании серы обычно пишутся так:



Тем не менее, взяв гипс и углерод в том или ином виде, мы не получим самородной серы, и только введение в процесс минерало-

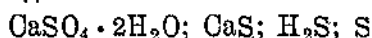
¹ Термин биолиты введен проф. Я. В. Самойловым для обозначения минерала, прошедшего в какой-либо стадии своего образования через организм.

образования серных бактерий, концентрирующих самородную серу, помогает нам объяснить его.

Таким образом живой организм выступает часто как концентрат того или другого минерального тела. Это относится не только к распространенным в зоне катаморфизма минералам легких металлов, но и к редким соединениям тяжелых металлов. Так, есть предположение, что месторождение меди в Пермских отложениях находится в связи с преимущественным развитием организмов, имеющих кровь не красную, а голубую, т. е. что кровь их содержала медь — органической гемоцианин, а не гемоглобин¹. Малополитное распространение ванадия в осадочных породах быть может предстанет в другом свете в связи с открытием в крови асцидий (*Phallusia*) ванадия, выполняющего функцию железа. Большие скопления остатков этих бесскелетных оболочниковых могли обогащать соответствующие осадочные отложения ванадием².

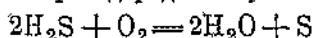
Рассмотрим плавающие биолиты:

Элементы. Крупнейшие месторождения самородной серы связаны с разложением липидов при участии органического вещества и деятельности микроорганизмов. Приведенные выше уравнения, дающие схему разложения липидов в виде:



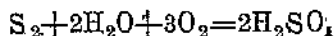
показаны лишь при участии бактерий. Исследования показали, что бактерии, в жизненных процессах которых сера в том или другом виде необходима, довольно многочисленны.

Виноградским изучена группа так называемых серобактерий. Эти бактерии окисляют сероводород с образованием серы:



При этом S отлагается в виде капелек в тела бактерий³. На рис. 273 изображена пружина *пурпурных серобактерий*, причем отложения капелек серы в теле бактерии изображены кружочками. Серобактерии обычны в болотах, в лиманной воде, в неглубоких морских заливах и других водоемах, на дне которых гниют органические остатки и происходит выделение сероводорода. Часто вокруг таких бассейнов на далекие расстояния слышен неприятный запах сероводорода. Таковы многие участки залива Сиваш на Азовском море, лиманы Черного моря и т. п. Из серных бактерий кроме *пурпурных* распространены также и бесцветные нитчатые формы, как например *Беггиоты* (*Beggiota*), нити которой иногда бывают сплошь набиты каплями серы.

Накопленную серу, бактерии окисляют, и этот процесс служит им дыхательным актом, причем конечным продуктом является серная кислота:



Месторождения самородной серы связаны часто с асфальтом,

¹ J. V. Samojloff, Mineralogical Magazine L. XXII, 1917, p. 97.

² Я. В. Самойлов, Биолиты, Природа, 1922, стр. 25.

³ В. А. Омелянский, Основы микробиологии, Петроград 1922, стр. 310.

нефтью, и этот парагенезис в значительной мере подтверждает характер их происхождения.

Сернистые. Общеизвестно, что при гниении белков образуется сероводород, но кроме того сероводород образуется также при восстановлении солей серной, сернистой и серноватистой кислот, как ре-

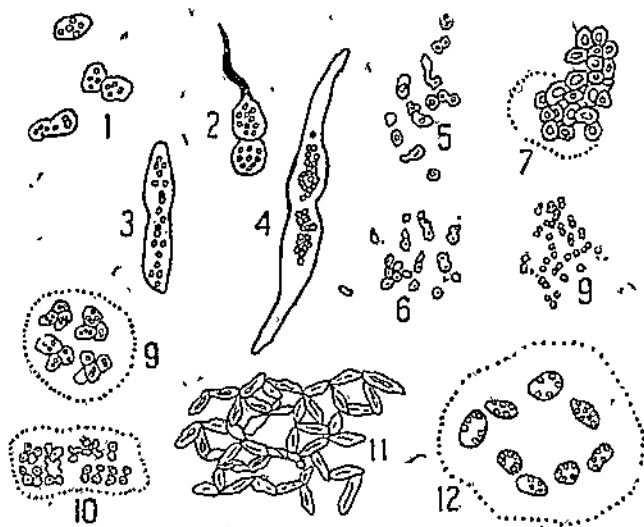
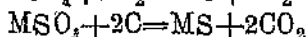
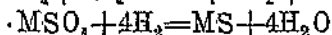
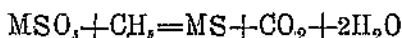


Рис. 273. Типы пурпурных серобактерий.

зультат действия на эти соли выделяемых микробами газов CH_4 и H_2 или самой плазмой на тела.

Процессы протекают так¹:



Восстановление может происходить специфическими бактериями, как например *Spirillum desulfuricans*, изображенным на рис. 274. Количество сероводорода, выделяемого бактериями, огромно. Исследования Черного моря² показали, что на всем его пространстве, начиная с глубины 200—300 м, вода содержит значительное количество сероводорода, причем с глубиной содержание его доходит до 6,5 см на 1 л.

Выделяющийся сероводород, как мы видели выше, служит исходным материалом для образования серы, а также для ряда сернистых минералов. Во многих месторождениях среди осадочных пород пирит несомненно является биолитом. Халькопирит в тесной связи с жизнедеятельностью организмов известен в хорошо изученном Мансфельдском месторождении в Германии (см. литературу в конце главы).

¹ В. А. Омельянский, Основы микробиологии. II. 1922 г. и др.

² N. Andrussov, Lamer Noire, Congr. Geolog. internat., 1897. 7 sess. Guide des excursions.

Образование сернистых минералов под влиянием биогенных процессов в морях является одной из проблем современной минералогии. На рис. 275 изображены морские споробактерии, в которых ясно видны выделения барита.

Галоидные. Флюорит, CaF_2 , чрезвычайно редок среди осадочных горных пород. Под Москвой известны отложения в тал. называемом ратовиком близ с. Ратовки землистого флюорита, называемого ратовикитом. Возможно, что в связи с нахождением фтора в скелетных частях некоторых морских организмов и морская фауна в местах находок «осадочного» флюорита была относительно богата флюорсодержащими организмами. Ратовикит был встречен еще на р. Сев. Двине и в бассейне р. Печоры.

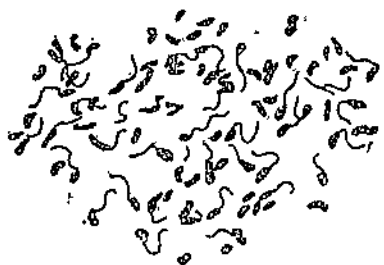


Рис. 274. *Spirillum desulfuricans*.
Увел. 100-кратное.



Рис. 275. Морские споробактерии (по Hintze). Ясно видны выделения внутри кристалликов гипса.

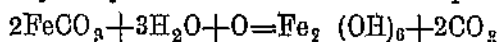
Окислы. Из окислов прежде всего надо отметить группу кварца SiO_2 . Растворимый кремнезем в больших количествах из воды источников и речной воды, как это мы видели ранее, попадает в океан; между тем как в океане содержится ничтожное количество кремния — $n \times 10^{-4} \%$. Следовательно весь кремний где-то исчезает в океане. Действительно на дне океана отлагаются большие скопления гидратов окиси кремния, типа опалов. Эти отложения обязаны своим происхождением микроорганизмам, главным образом одноклеточным водорослям, так называемым диатомовым, количество видов которых достигает до 2 000 с лишним. Панцири этих диатомовых водорослей состоят из усвоенного из морской воды этими организмами кремнезема и мощным покровом отлагаются на морском дне. Это усвоение было доказано опытами Мюррея и Ирвина (Murray et Irvine) при выращивании диатомовых в среде, лишенной водного кремнезема, и в присутствии его. Диатомовые превосходно развивались лишь в последнем случае. Причем если в раствор вносилась глина, то диатомовые прекрасно росли, разрывая связь в глине между Al_2O_3 и SiO_2 , и усваивали кремнезем.

Кроме диатомовых имеются микроскопические одноклеточные животные — радиолярии, количество видов которых доходит до 5 000, концентрирующие в себе SiO_2 , переводя его из растворимого в твердое состояние. Скопления кремневых скелетов радиолярий и диатомовых

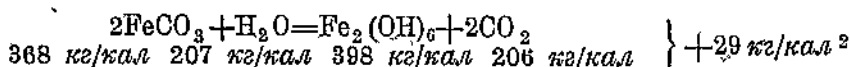
носит название трепел, или кизельгур; более мягкие массы называются горной мукой. Кроме того остатки скелетных частей морских организмов (губки и др.) составляют значительную часть распространённой осадочной породы оолита, особенно часто встречаемой в СССР¹.
Лимонит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

В некоторых современных озерах и болотах осаждаются так называемая озерная или болотная руда, состоящая из лимонита. В этом процессе принимают участие железобактерии, изученные Виноградским, доказавшим, что окисление солей закиси железа играет роль дыхательного акта в их жизни.

Реакция в случае углекислых солей железа проходит так:



Лиске (Lieske) даёт следующую реакцию окисления с термическими эквивалентами:



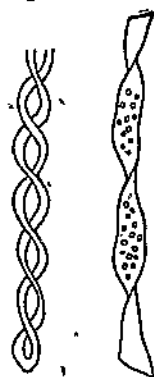
Наиболее обычными и распространёнными железобактериями являются — *Gallionella ferruginea*, *Spirophyllum ferrugineum* и *Leptothrix*.

На рис. 276 и 277 изображены железобактерии с зернышками, содержащими отложения водной окиси железа.

Ряд исследований над водой железных рудников указывает на энергичную деятельность железобактерий как концентрантов главным



Рис. 276. Некоторые формы *Spirophyllum ferrugineum* с зернышками гидроокиси железа.



Gallionella ferruginea *Spirophyllum ferrugineum*

Рис. 277. Формы железобактерий.

образом водной окиси железа. На прилагаемом рисунке (рис. 278), представляющем собой микрофотографию пороска лимонита из железной ржавчины, ясно видны остатки железобактерий *Spirophyllum*.

¹ Я. В. Самойлов, К вопросу о перемещениях кремнезёма в осадочных отложениях, «Записки Геол. отд. о-ва любителей ест., антроп. и этнограф.», т. V, 1916.

² Lieske, Beiträge zur Kenntnis der Physiologie von *Spirophyllum ferrugineum* Ellis, einem typischen Eisenbakterien, «Jahrb. wiss. Bot.», B. 40 1911 г.

В какой мере железобактерии содействовали концентрации лимонита в озерных и болотных отложениях, а также и железомарганцевых отложениях современных морей, сказать трудно. Тем более трудна задача объяснения роли жизненных процессов микроорганизмов в прошлые геологические эпохи. Работа в этом направлении только намечается, и исследованию предстоит еще долгий путь к разрешению поставленных проблем.

Соли кислородных кислот. Морские известняки — биолиты — имеют в своей основе твердые скелетные части морских организмов. Скелеты различных организмов представляют собой не только соли угольной кислоты, но и соли серной, фосфорной и фтористоводородной кислот¹. Катионом в большинстве случаев является кальций, но в целом ряде случаев магний, стронций и барий. Конечно кальций резко преобладает

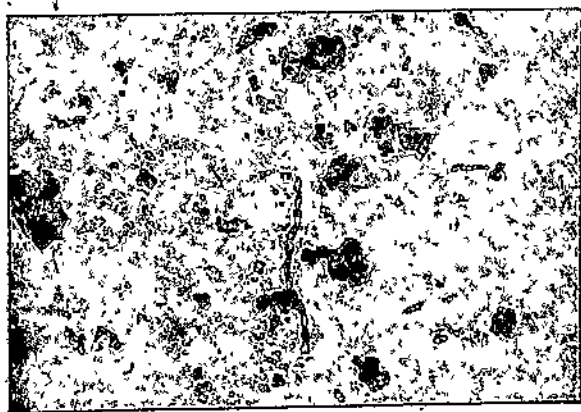


Рис. 278. Микрофотография порошка лимонита из железной ржавчины. Видны остатки железобактерий, по Хардеру (Harder).

над другими по своей концентрации в организмах. Концентрациями солей кальция являются мельчайшие организмы микропланктон — одноклеточные водоросли *Coccolithophoridae* — коккосферы и рабдосферы, составляющие значительную часть мела и известняков. На ряду с этим необходимо упомянуть «колонии кораллов», полипы, *Bacterium calcis* и ряд подобных организмов, создающих CaCO_3 . В год отлагается из моря не менее $1,4 \times 10^9$ т кальция². Магний усваивается организмами, переводящими его в MgCO_3 ; таковы некоторые плеченогие (*Crania anomala*), альционарии (*Primnoa reseda*) и др., где среднее содержание MgCO_3 доходит до 11,7%, иглокожие (*Orphiomuxa Nassida* и др.) и т.п.

Стронций и барий также усваиваются некоторыми микроорганизмами и отлагаются в их тела в виде сернокислых солей, дающих потом

¹ Я. В. Самойлов, Изучение известняков с палеофизиологической точки зрения, «Изв. Моск. отд. геол. комит.», т. I, № 1, 1919.

² В. И. Вернадский, Живое вещество в химии моря, 1923, стр. 33.

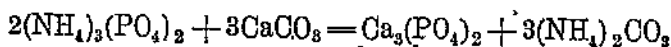
желваки барита и включения целестина в осадочных горных породах¹.

Фосфорнокислые. Фосфорит. Образование многих месторождений фосфоритов большинством исследователей объясняется скоплением на морском дне различных организмов, погибших массами при тех или иных геологических условиях². Химический состав фосфорита приближается к апатиту, часто к фторапатиту — $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$; некоторые разновидности близки к нормальному трехкальциевому фосфату — $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Процессы разрушения органического вещества могут идти разнообразными путями. При распаде организмов образуется аммиак, который соеди-

Анализы фосфоритов важнейших месторождений

	Флорида САСШ	Алжир близ Тебесса	Подоль- ские фосфори- ты	Курские фосфори- ты	Костром- ские фосфори- ты
Na_2O	—	—	0,22	} 1,75	0,74
K_2O	—	—	0,20		0,34
MgO	0,21	0,40	следы	0,65	0,64
CaO	46,14	50,55	53,08	24,59	44,60
Al_2O_3 }	4,44	1,70	1,80	2,20	3,94
Fe_2O_3 }					
F	2,40	2,45	3,34	2,40	3,28
Cl	—	следы	—	следы	следы
CO_2	2,28	5,00	2,32	3,45	5,54
SiO_2	—	0,40	1,22	0,65	0,40
SO_3	—	1,40	следы	0,80	0,99
P_2O_5	33,98	33,67	38,60	13,60	28,98
FeS_2	—	—	—	—	0,60
H_2O	3,47	6,07	1,27	1,00	7,96
Нерастворимый остаток	5,85	—	—	49,00	2,98
	98,97	101,64	102,00	110,09	101,87

яется с фосфорной кислотой, содержащейся в костях, зубах и т. д. В свою очередь фосфорнокислый аммиак разлагается при действии на углекислый кальций и дает фосфорнокислый кальций по формуле:



Фосфориты обычны в виде желваков и стяжений среди песков, песчаников, известняков и других осадочных горных пород. Для характе-

¹ Подробно см. Я. В. Самойлов. Месторождение тяжелого шпата в восточной части Костромской губ. „И. А. Н.“ СПб 1910.

Его же, О распространении оксфордско-секванских баритов на востоке Европ. России. „И. А. Н.“, 1912.

Его же, О сульфате бария в теле животных. „И. А. Н.“ 1911.

² Я. В. Самойлов. К минералогии фосфоритовых месторождений, Труды комиссии Моск. сельск.-хоз. инст. по исслед. фосф. Т. III, 1911.

Я. В. Самойлов, К минералогии фосфоритовых месторождений, Труды комиссии Моск. сельск.-хоз. инст. по исслед. фосф. Т. III 1911.

рисинки их химического состава нами дана выше таблица сравнительных анализов из различных месторождений¹.

Органические соединения. Весь этот класс, содержащий в себе угли, нефть, смолы, допадает в группу биолитов. Гептесису нефти и углей посвящены специальные курсы в цикле геологических наук, и здесь мы не будем их касаться.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Надсон, Микроорганизмы как геологические деятели. СПб 1908.
2. В. Л. Омелянский, Основы микробиологии, Петроград 1922, гл. X.
3. Я. В. Самойлов, Биолиты, „Природа“, 1922.
4. В. И. Вернадский, Живое вещество в химии моря, Петроград 1923.
5. T. W. Vaughan, Chemical and organic deposit of sea, „Bull. Geol. Soc. Am.“, v. 28, 1917.
6. E. C. Harder, Iron depositing bacteria and their geologic relations, „U. S. Geol. Survey“, 218, 1919 (с исчерпывающим списком литературы).
7. H. Schneiderhöhn, Chalcographische Untersuchung des Mansfelder Kupferschiefer, „Neues Jahrbuch“, XLVII B., 1 Heft, 1922 (со списком литературы).
8. Stelzner, Die Lagerstätten nicht erzlichen Mineralien.
9. Nadson G. A. The bacter lime deposits, Arch. Hydrobiol, 1928.

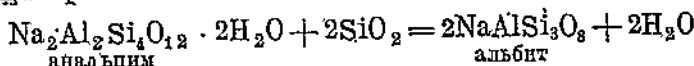
ПРОЦЕССЫ АНАМОРФИЗМА

Анаморфизм (по Ван-Гизу) есть такое изменение разрушенных пород и минералов, которое делает их плотными и кристаллическими. Термин анаморфизм обнимает собой: 1) цементацию пород и минералов циркулирующими растворами; 2) динамический метаморфизм под влиянием давления горсобразующих процессов; 3) контактовый и термальный метаморфизм под влиянием высокой температуры и химического действия магматических извержений и проникновений. Наконец к анаморфизму относится и так называемый метасоматизм, или замещение одного минерального ископаемого другим посредством химического взаимодействия растворов и твердых минеральных тел. Зона анаморфизма начинается приблизительно на расстоянии 10 000 м от поверхности земли и простирается до 12 000 м глубины, т. е. толщина этой зоны исчисляется от 1 000 до 2 000 м.

Давление, господствующее здесь, исчисляется до 1 000 ат. Циркулирующие воды находятся частью в пористом состоянии, частью в виде уплотненных паров. Все реакции идут с уменьшением объема.

Молекулярный объем, т. е. молекулярный вес, разделенный на удельный, служит масштабом выполняемого пространства. Сущность реакций составляет отнятие воды, отнятие углекислоты и кислорода, или, как говорят, — дегидратация, декарбонизация, деоксидация.

Например:



¹ S. A. Moiloff. Phosphorite. Handbuch der Mineralchemie. B. III. 1918 S. 355—357.

т. е. цеолит — апатитом переходит в полешипат — альбит. Пояс анаморфизма характерен образованием множества вторичных силикатов. Кремнезем играет большую роль, и здесь образуются вторичные роговики, полешипаты, слюды и пр. Многие химические реакции обратимы, и минералы, образовавшиеся в зоне выветривания, опять восстанавливаются до первоначальных магматических форм.

РАЗЛИЧНЫЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА.

/По Гольдшмиду/

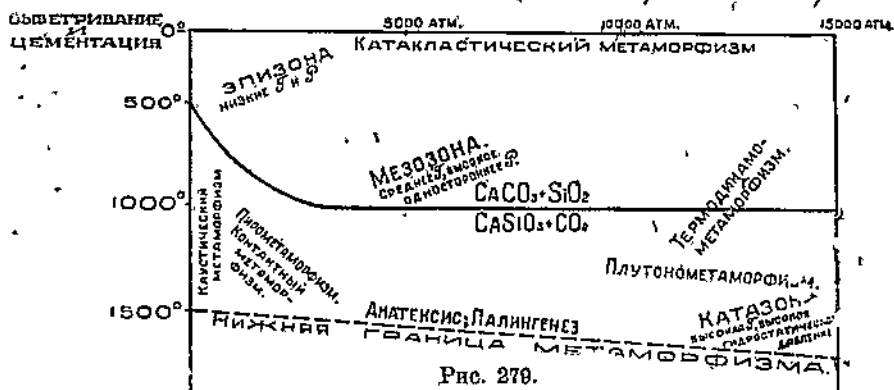


Рис. 279.

Рис. 279. Минералогический состав горной породы тесно связан с теми физико-химическими условиями, в каких находится порода в данный момент, — прежде всего с температурой (T) и давлением (P).

Если эти условия изменяются, если в силу тех или иных геологических факторов порода перемещается в другую термодинамическую (тепловую) зону, погружается в глубину или, наоборот, придвигается ближе к поверхности, немедленно начинается преобразование слагающих ее минералов.

На оси ординат прилагаемой диаграммы нанесены величины температуры, последовательно увеличивающейся с глубиной (1° на 33 м); на оси абсцисс — величины гидростатического давления, нарастающего также с глубиной (260—280 кг/см² на 1 км); следует помнить, что на средних глубинах (мезозона), кроме гидростатического давления, обусловленного законом тяжести, огромную преобразующую роль играет одностороннее (тангенциальное) давление, связанное с вековыми складкообразующими (орогеническими) колебаниями земной коры.

Просматривая диаграмму (слева направо и сверху вниз), мы отправляемся от вершины угла, т. е. от области поверхностной, характеризующей низкой температурой и низким давлением. Здесь господствуют явления выветривания и цементации. Повышение температуры выше 500° даже при сравнительно низком давлении уже может вызвать явления так называемого контактного метаморфизма, причем порода кроме термического воздействия может подвергнуться также химической переработке веществами, выделяемыми приближающимися к ней интрузивным телом. К контактному метаморфизму относятся также связанные с весьма высокими температурами явления обжига и оплавления (пирометаморфизм, каустический метаморфизм).

Взаимодействие средних температур (500 — 900°) и высокого (главным образом одностороннего) давления отмечено на диаграмме особой кривой, разграничивающей важные области метаморфизма. Здесь, с одной стороны, идут процессы автометаморфизма, т. е. изменения, происходящие в подыгравшихся из глубин и остывающих магматических породах, с другой стороны, породы, опустившиеся в эту зону из более холодных зон, подвергаются здесь термо-

динамическому метаморфизму с образованием ряда характерных для этой зоны минералов.

Эта область интересна в частности тем, что в ней отчетливо разграничено существование „взаимных пар“: кальцит-кварц (ближе к поверхности) и волластонит—углекислота (глубже). До 500°—при низком давлении—и до 900°—при высоком давлении—кальцит может существовать одновременно с кварцем. Выше этих термодинамических норм он распадается, и потеряв углекислоту, переходит в систему $\text{CaO}-\text{SiO}_2$, участвующую в образовании изоморфного ряда кальциевых метасиликатов.

Выше 1500° (т. е. на еще больших глубинах) породы попадают в нижние зоны литосферы, где боковое давление исчезает, сменяясь высоким гидростатическим давлением. Здесь—область плутонометаморфизма, очень высоких температур и давлений, доводящих преобразование породы до окончательной асимилиации ее магмой, до переплавления (анатексиса) и новой кристаллизации (палингенеза).

МИНЕРАЛОГИЯ ОБЛАСТИ КОНТАКТОВ

Область контактов мы рассматриваем главным образом как сферу действия термального контактного метаморфизма, изменяющего окружающие породы (главным образом осадочные) под влиянием высокой температуры газов и паров магмы. Схематически вид области контактов изображен на рис. 280.



Рис. 280. Схематический разрез области контактов.

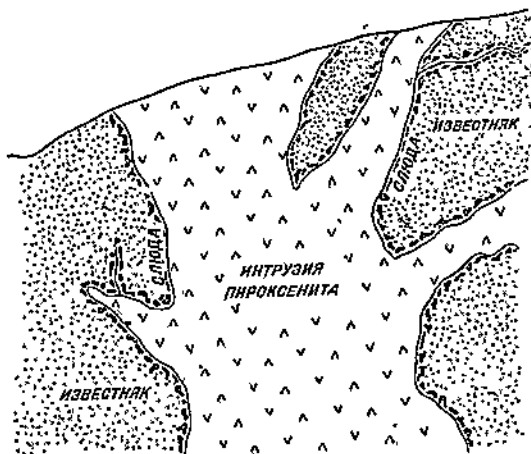


Рис. 281. Схематический разрез рудника Шербрук (S. Scherbrooke). Онтарио. Сев. Америка.

Черные пятна обозначают скопления минералов, образующих часто мощные залежи.

Масштаб изменения горных пород в области контакта чрезвычайно различен и стоит в зависимости от местных условий. Известны изменения глин и глинистых сланцев от гранитных магм на расстоянии до 4 км. В среднем же поле контактного метаморфизма исчисляется американскими геологами от 1 до 2 км.

Температура области контактов может быть установлена по образованиям волюластонита и некоторым разновидностям кварца, имеющим при обычном давлении довольно точную температуру образования. Пояс непосредственного контакта по Гольдшмидту обладает температурой от 1200—1000°, на что указывает наблюдающееся превращение волюластонита в псевдоволюластонит, совершающееся по опытам при 1180°. Температура остальной области контакта лежит по Линдгрёну от 600—300°. Таким образом в области контакта можно различать два основных пояса:

1. Непосредственное соприкосновение магмы с осадочными породами, характеризующееся высокой температурой и часто высоким давлением. Здесь же имеет место интенсивное действие газов и паров, выде-

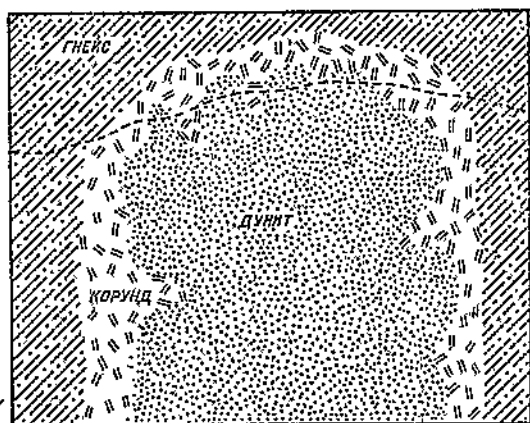


Рис. 282. Выделение корунда в дунитах.

ляющихся из магмы. Ряд минералов образуется на границах этой области. Так мы имеем ряд месторождений слюд этого типа. На рис. 281 изображен разрез месторождения такого рода¹. Точно так же характерно выделение корунда в дунитах на границе их соприкосновения с гнейсами (рис. 282).

Образование тех или других минералов имеет место в зависимости от содержания извести в вступающих в реакцию горных породах. По исследованиям Гольдшмидта образование минералов в рогеобманковых породах идет в такой последовательности:

¹ Hughes de Schmidt, Mica, P. 184.

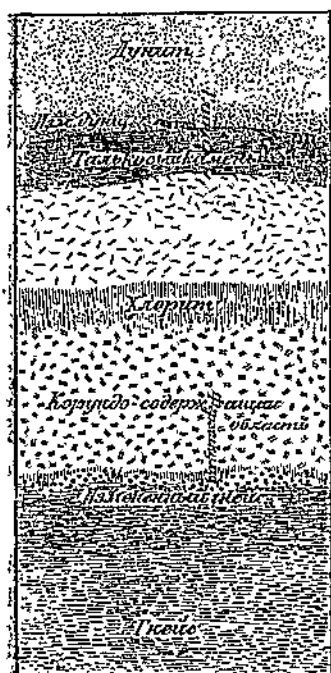


Рис. 285. Разрез месторождения корунда в Сев. Каролине. Сев. Америка.

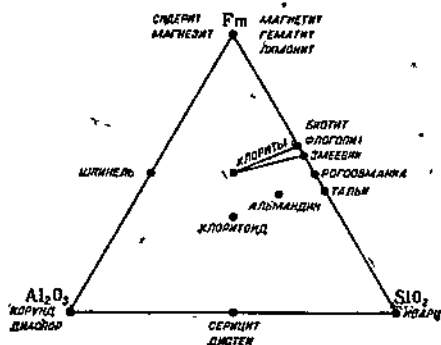


Рис. 286. Образование контактовых минералов при низкой температуре и давлении в породах, бедных CaO .

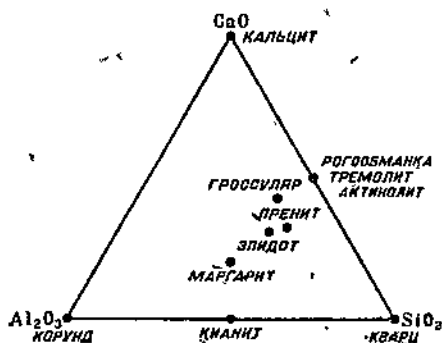


Рис. 287. Образование контактовых минералов при низкой температуре и давлении в породах, богатых CaO .

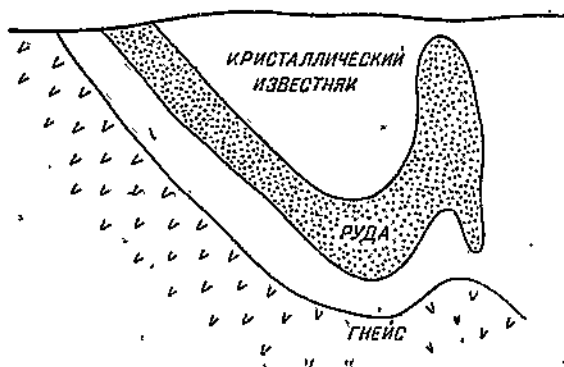


Рис. 288. Месторождение цинкита и франклинита. Нью-Джерси. Сев. Америка.

«Обе группировки элементов. Там здесь мы найдем минерал оливин, $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_4$. В середине треугольника будут находиться минералы, содержащие все три группировки элементов, стоящие на вершине треугольника,

причем точка, обозначающая минерал, будет находиться в положении, соответствующем количеству входящих в минерал элементов. Так гранат в соответствии с его составом $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ будет занимать свое точно ориентированное место внутри треугольника.

2. Второй пояс контактовых минералообразований лежит дальше от сферы непосредственного соприкосновения и часто настолько удален, что трудно установить исходную интрузию магмы, послужившую толчком к метаморфизму.

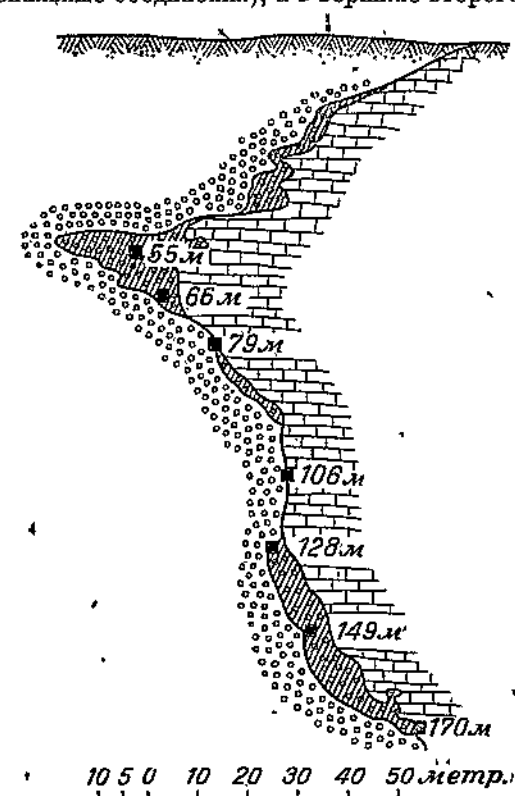
Месторождение корунда в Сев. Каролине (Сев. Америка), разрез которого дан на рис. 285, показывает весь ряд изменений и образование различных минералов под влиянием интрузии дунита.

Точно так же, как и в первом случае, здесь можно различить две группы минералов. Расположив основные химические группировки по треугольнику, причем в вершине первого будет стоять Fe (железосодержащие соединения), а в вершине второго CaO , получим рис. 286 и 287.

Минералы, содержащие железо, медь и другие полезные металлы, часто образуют рудные скопления в области контактов. Ярким примером может служить месторождение у Нью-Джерси (Америка) красной цинковой руды, ZnO , редко встречающейся в других местах, и франклинита, $(\text{Zn}, \text{Mn})\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, то же редкого минерала из группы шпинелей. Разрез на рис. 288 показывает превращение известняка в кристаллический под влиянием интрузии и для гранита и образование рудной массы на контакте с гнейсами.

Другой пример—Фроловское месторождение халькопирита, разведанное Е. Федоровым, где медный колчедан (халькопирит) залегает в контакте с авгитово-гранатовой породой (рис. 289).

По исследованиям Гольдшмидта в области рудных месторождений Южной-Норвегии контакты магмы, содержащей различные металлы, серу, галоиды и фосфор,



■ ВЫРАБОТАННЫЕ МЕДНЫЕ РУДЫ

••• АВГИТОВО-ГРАНАТ. ПОРОДЫ

▬ ИЗВЕСТНЯКИ

рис. 289. Разрез Фроловского месторождения Богословский горный район. Урал.

с известковыми породами дают следующие минералы:

Fe образует	{ андрадит, $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ гематит, Fe_2O_3 геденбергит, $\text{Ca}(\text{Mn, Fe})(\text{SiO}_3)_2$
Pb (иногда вместе с Ag)	образует галенит, PbS
Zn образует	сфалерит, ZnS
Cu	халькопирит, CuFeS_2
Bi	висмутин, Bi_2S_3
Mo	молибденит, Mo_2S_3
Co	кобальтин, CoS_2
As	арсенипирит, FeAsS
Sb	стибнит, Sb_2S_3
Be	гельвин, $(\text{Mn, Fe})_2(\text{Mn}_2\text{S}(\text{Be}_3(\text{SiO}_4)_2$
Ce	ортит — силикат урана
Ti	сфен, CaTiSiO_5
F	флюорит, CaF_2
Cl	скаполит — силикат Na и Ca
P	апатит, $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$
S	пирит, FeS_2 , и другие сернистые минералы

Контактовые месторождения рудных минералов играют большую роль в практической минералогии.

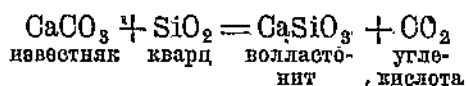
МИНЕРАЛЫ ОБЛАСТИ КОНТАКТОВ

Из вышеперечисленных остановимся только на некоторых.

Одним из распространеннейших минералов является известковый шпат. Известковые породы образуют при действии интрузии изверженных пород кристаллические известняки. Многие из них имеют практическую ценность как превосходные мраморы.

Вблизи самого контакта кальцит обычно очень крупнозернист и является часто в форме известкового шпата, несущего в себе различные минералы.

Типичным минералом контактов является волластонит. Реакция образования предполагает известковые горные породы как объект действия сильно кварцевых изверженных пород и протекает так:



Волластонит образуется главным образом от действия высокой температуры; при низких температурах образуются кальцит, кварц и углекислота. Это хорошо видно на диаграмме, показывающей процесс образования в зависимости от температуры и давления (рис. 290).

Окислы. Из окислов типичным контактовым минералом является шпинель. Шпинель чаще всего встречается в контактах с доломитизированными известняками или в сланцах с магнезиальными минера-

ламп, как хлоритовый сланец и т. п. Магнезиальные магмы также легко образуют $MgO \cdot Al_2O_3$ в области контакта. Чаще всего встречается плеонаст — черная железистая шпинель. Сравнительно редка цинковая шпинель, а также сложного состава франклинит $(Fe, Zn, Mn)O \cdot (Fe, Mn)_2O_3$.

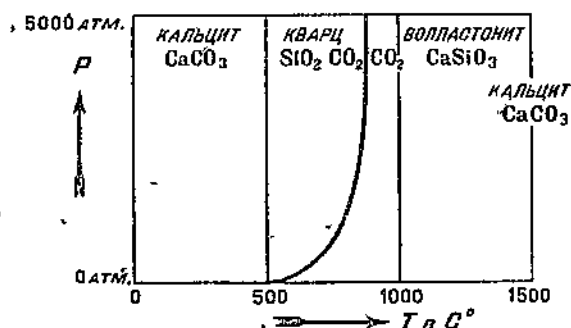


Рис. 290. Образование воластонита в зависимости от температуры и давления.

Силикаты. Из силикатов кроме описанного выше воластонита распространеннейшим минералом контактов является эпидот — железо-кальциевый алмосиликат. Его фисташково-зеленые моноклинные кристаллы часто в виде щеток и друз находятся во многих контактовых месторождениях вместе с везувианом. Везувиал — сложный алмосиликат кальция — обычно в виде тетрагональных призм с бипирамидой. Исключительно хорошие кристаллы известны с. р. Виллоя в Сибири.

Гранаты. Гроссуляр, $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$, алмадин, $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$, и др., особенно кальциевые гранаты, типичны для контактов железистых магм с кальцитом. Хромистый железняк дает в контактах уваровит, $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$, в прекрасных наросших зеленых кристаллах и хромистую слюду — фуксит — в виде зеленых ярких пластинок.

Диопсид, $CaMg(SiO_3)_2$, обычен в кальцитах контакта в виде призматических кристаллов и зерен. Хорошими кристаллами славятся Ахматовские копи близ Златоуста, Слодянка, о. Паргас. Иглы тремолита, $CaMg_5(SiO_3)_4$, и актинолита, $Ca(Ng, Fe)_3(SiO_3)_4$, также обычны в мраморах и кальцитах. Титановые магмы дают распространенный титаносиликат — сфен, $CaTiSiO_5$, — в виде клиновидных кристаллов. Сюда же относится редкий минерал перовскит, $CaTiO_3$, в виде черных кубов встречающийся в так называемой «чувапской степи» близ Златоуста. Кроме того встречаются хлорит — зеленый магнезиальный алмосиликат из группы гибких слюд, и из фосфорнокислых — апатит, $(CaF)Ca_4(PO)_3$.

Метаморфизация глин. Глины представляют 82% конечных продуктов разрушения изверженных пород, они же образуются при разрушении осадочных пород — особенно известняков и сланцев. Глины со-

держат в себе многие минералы в виде зерен оставшихся, неразрушенных минералов магм. Это будут зерна кварца, полевшата, слюды и др.

Под влиянием действия сил метаморфизма глины превращаются в плотные массы глинистого сланца и шифера. Следующая диаграмма очень ярко иллюстрирует этот процесс превращения и изменения получающиеся при этом минералов (рис. 291). Мы видим, как эти минералы,

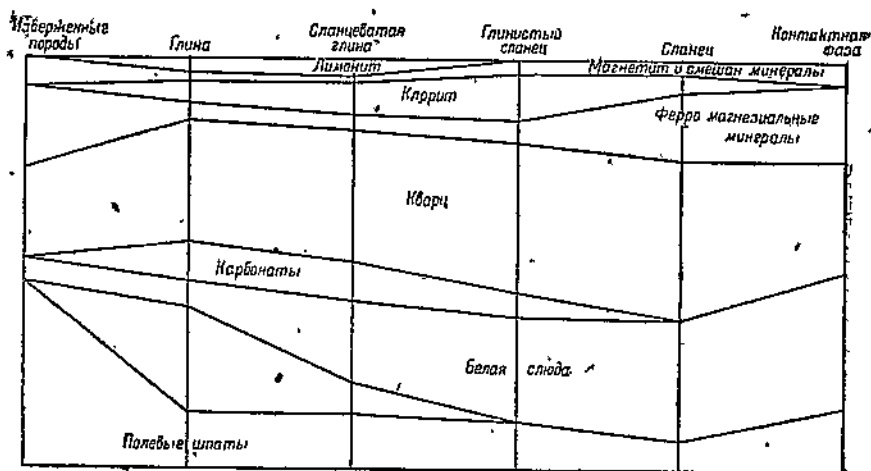


Рис. 291. Изменение в составе минералов при анаморфизме глины.

широко распространенный в глинах и глинистых сланцах, исчезает и переходит в магнетит и гематит на высших ступенях метаморфизма.

Хлорит — обычный минерал сланцев, сам составляющий горную породу — хлоритовый сланец, широко развивается в средней фазе, резко уменьшаясь в фазе контакта. Рогообманковые и авгитовые минералы, чрезвычайно мало распространенные в глинах, быстро регенерируются на высших ступенях метаморфизма, образуя рогообманковые и авгитовые сланцы, особенно в полосе контакта. Кварц во всех формах метаморфизма достаточно широко распространен.

Карбонаты, типичные минералы осадочных пород, исчезают, начиная со средней ступени метаморфизма, частью переходя в мрамор.

Слюды в сланцах значительно превосходят свое распространение в изверженных породах и в фазе контактов дают слюдяные сланцы, состоящие из мусковита.

Количество полевшатов резко падает по сравнению с изверженными породами и несколько повышается в контактовой полосе. Все перечисленные минералы сушь главнейшие, образующиеся при метаморфизации глины. Вообще же сланцы образуются следующими минералами:

Кварц	31,91
Каолин	10,00
Белая слюда	18,40
Хлорит	6,40
Лимонит	4,75
Доломит	7,90
Гипс	1,17
Ортоклаз	12,05
Альбит	5,55
Рутил	0,66
Апатит	0,40
Графит и уголь	0,81
	100,00

Графит. Графит — типичный минерал сланцев, хотя встречается также и в зоне магмы. Залежки графита в зоне анаморфизма связаны обычно с метаморфизацией каменных углей. Переход каменного угля в графит исследован С. В. Обручевым¹ в Туруханском районе на р. Курейке, где одна масса антиклинальной складки несет в себе каменный уголь, другая же, подвергшаяся действию изверженных пород, несет в себе графит.

Пески. Пески и песчаники составляют 12% всех осадочных пород. Минералы, содержащиеся в песках и песчаниках, подсчитанные по минералогическим и петрографическим анализам, в среднем следующие: на 100 ч. породы — кварца 69,76, каолина 7,98, хлорита 1,15, лимонита 0,80, доломита 8,44, кальцита 7,21, гипса 0,12 ортоклаза 8,41, магнетита 0,58, рутила 0,12, ильменита 0,25, апатита 0,18.

Пески, легко пропускающие воду, прежде всего подвергаются действию этих вод в поясе цементации. В зависимости от песущих растворов они цементируются в плотные пертяники. В зоне анаморфизма такими растворами являются кремнекислые растворы, цементирующие пески в одну сплошную массу кремнекислоты, известную под именем кварцита.

Пески могут быть сцементированы соединениями железа — обычно в поясе выветривания — или известью; в редких случаях цементом служат окисные соединения меди (медная зелень, медная синь), а иногда и самородная медь (цементная медь). Значительное распространение имеют фосфоритовые песчаники, сцементированные фосфатом кальция. Битуминозные вещества — асфальт, нефть, проникшая в пески, дают кир и асфальтовый песчаник.

В зоне анаморфизма, где господствует мощное давление, все виды песчаников превращаются в кварцитовые сланцы. Железистые песчаники дают кварциты с гематитом и магнетитом. Медистые песчаники дают кварциты с медным колчеданом. Полевчатые песчаники дают породу, похожую на гранит, с кристаллами полешиала и слюды. В прецеднах песчаника часто кристаллизуются лучистые кристаллы вавелита — водного фосфата гиннозема. Опал иногда в сверкающих формах благородного опала попадает среди песчаников. Вообще же пески, песчаники и кварциты не богаты минералами.

¹ С. В. Обручев. Графиты и угли Туруханского края, „Горн. журнал.“ №№ 3—5. 1922.

Известняки. Известняки составляют 60% осадочных горных пород. Известняки — неисчерпаемый источник углекислых растворов поверхностной зоны. Попадая в сферу влияния высокого давления и температуры они претерпевают существенное изменение, перекристаллизовываясь в известняковые сланцы и мраморы. Мраморы, образовавшиеся под влиянием высокой температуры расплавленной магмы, отличаются чрезвычайной крупнозернистостью. Мраморы, образовавшиеся главным образом от давления горообразующих сил, имеют неоднородный характер зерна и сильно преципитоваты. Так как основной элемент известняков — кальций, то при метаморфизме их образуются многие кальциевые минералы, как-то: тремолит, актинолит, гранат, вольфрамит и диопсид. Особенно многочисленны образования различных минералов в контактах изверженных пород с известняками. Наиболее красивые штUFFы минералогических коллекций происходят из контактовых месторождений. Более всего распространены в полосе контактов минералы группы граната, амфиболы и пироксены, кальциевая слюда, хлориты и др.

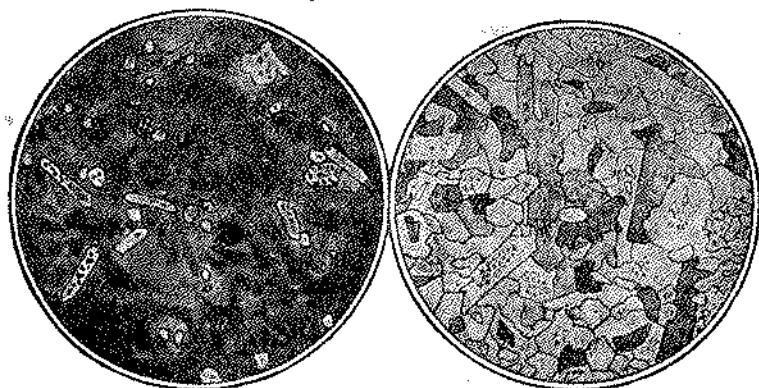


Рис. 292. Процесс окремнения известняка (белые пятна — образования кварца).

Доломитизированные известняки переходят в доломиты и магнезиты кристаллического сложения. Доломиты сопровождаются магнезальными минералами, из которых главные — тальк, серпентин; серпентин-асбест и рогеобманки.

Огромное значение для перекристаллизации известняков и образования вышеописанных минералов имеют циркулирующие в глубине водные растворы, несущие углекислый кальций и кремнекислоту, причем могут происходить мощные процессы метасоматизма. Так под влиянием SiO_2 иногда известняк нацело превращается в кварцит. Процесс такого перехода изображен на рис. 292, представляющем собой шлифы известняковой породы в двух стадиях ее перекристаллизации.

Если свести многочисленные анализы известняков в один средний анализ по минералам, то получим: кварц 3,71, таолит 1,03, доломит (включая небольшое количество сидерита) 36,25, кальцит 56,56, гипс 0,10, ортоклаз 2,20, рупил 0,06, апатит 0,09.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. I. Barreil, The Physic al Effects of contact Metamorfism, „Am. Sc.“, v. 13, 1902.
2. W. H. Weed, Ore Deposits near Igneous Contacts, „Am. I. Min. Eng“, v. 33, 1902.
3. Van Hise, Treatise of Metamorphism, 1904.
4. I. F. Kemp, Ore Deposits at the Contacts of intrusive rocks, „E. G.“, v. 2, 1907.
5. Goldschmidt, Die Kontaktmetamorphose in Christianiagebiet Chg, 1911.
6. D. Crubermann, Die Kristallinen Schleifer, Berlin 1910.
7. W. Lindgren, U. S. Geol. Surv v. 28, 915.
8. R. A. Daly, Igneous rocks and their origin, New York 1914.
9. Leith and Mead, Metamorphic Geology, New York 1915.
10. R. A. Daly, Metamorphism and its phases, „Bull. Geol. Com. of Am.“ 28, 1917.
11. П. П. Сущинский, Материалы по изучению контактов глубинных горных пород с известняками в юго-западной Финляндии, СПб, Тр. о-ва естествоиспытателей, т. 36, в. 5, 1912.

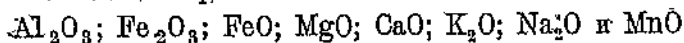
ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

Большинство теорий, особенно физико-химических наук, легко могут быть проверены на опыте. В минералогии постановка опытов чрезвычайно сложна. Большинство минералообразований происходит при высокой температуре расплавленных магм или при колоссальном давлении порообразующих процессов. Такие температуры и такие давления далеко выходят за пределы имеющихся в лаборатории средств. Да и в условиях образования минералов при низкой температуре и давлении главным фактором служит время, считаемое десятками или сотнями тысячелетий, так что в редких случаях можно проследить на протяжении столетий образование какого-либо минерала. Тем не менее опытная проверка минералогических проблем привлекает внимание каждого минералога, особенно в последние десятилетия. И, несмотря на ограниченность средств и сил, многое уже достигнуто.

Основная задача воспроизведения минералов — это объяснение способа образования их в природе.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МИНЕРАЛОВ МАГМЫ

Опыты воспроизведения минералов из расплавленных веществ указали прежде всего на две основных формы кристаллизации минералов магмы. Первая группа — минералы, образующиеся при эстывании минеральных смесей из кремнезема и оснований:



а именно: оливин, $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$, альбит и другие пироксены; моноклиниты: лабрадор и анортит; нефелин и лейцит; триклины: SiO_2 ; магнетит и некоторые другие шпинели; корунд образующийся из смесей, богатых глиноземом.

Эта группа минералов образуется непосредственно из сплавов, причем на минералообразование влияет температура и давление, а главным образом соотношение масс составных частей (Форт). Эти данные указывают на исключительное влияние растворимости одних соединений в других как на основную причину порядка кристаллизации минералов в магмах и на необходимость детального изучения этого вопроса в искусственных сплавах.

Вторая группа минералов не выделяется из силикатовых сплавов при отсутствии водяного пара или хлористых, фтористых и борнокислых соединений. Так ортоклаз расплавленный дает при застывании аморфное стекло. Точно так же многие породообразующие минералы, как кварц, микрочленин, альбит, калиевая слюда, образуются только в присутствии паров H_2O , фтористых и других выщелачивающих соединений, называемых агентами — минерализаторами (agents mineralisateurs).

Классическими опытами в этом направлении являются опыты Дольтера по воспроизведению слюд. Калийную слюду он получил плавлением андалузита, Al_2SiO_5 , с фтористым калием, фтористым кремнием и фтористым алюминием. При прибавлении одного лития образовывалась литиевая слюда (цицвальдит). Магнезиальная слюда получалась переплавлением глиноземистой роогомбани со фтористом магнием и фтористом натрием. Почти каждая слюда легко получалась, если любой минерал, подобный ей по составу, плавить со фтористым металлом при температуре не выше 800° . В шпатах доменных печей можно наблюдать образование магнезиальной слюды, если сплав содержал фтористый кальций. Из силикатов сплавлением различных комбинаций алюмокремневых соединений и щелочных металлов было получено многочисленными исследователями большинство известных минералов этой группы.

Оксиды. Корунд, Al_2O_3 . Синтез корунда производится пятью методами:

1. Из аморфного алюминия.
2. Кристаллизацией из сплавов в присутствии бора, двуххромистого калия, тяжелых оксидов, молибдата натрия и т. д.
3. Путем разложения других минералов (например мусковита).
4. Из искусственной магнезы.
5. Благодаря действию воды на $AlOCl_3$ и AlF_3 при высокой температуре (тип коктального корунда).

Первым методом его получал Ранкин (Rankin)¹, нагревая аморфный алюминий до 200° , и Фрейдель (Freidel), нагревая водный раствор его с содой до $450-530^\circ$. При 400° он получал диаспор; при $450-500^\circ$ — корунд и диаспор, при 530° — один корунд. Готфрейль и Перрей (Hautefeuille, Perrey) получали его из сплавов с лейцитом и с шфеелином. Опыт этот объясняет присутствие корунда в нефелиновых сланцах. Из искусственною нефелина корунд не выкристаллизовывался.

Морозевич² получал корунд, выкристаллизовывая его из искусственной магнезы, в которой отношение оксидов CaO , Na_2O , K_2O и Al_2O_3 больше, чем 1:1. Магнезу эту можно представить общей формулой $RO \cdot mAl_2O_3 \cdot nSiO_2$. Если нет ни Mg , ни Fe и n колеблется между 2 и 6, избыток алюминия выделяется в виде корунда; если n больше 6, — в виде симплиманита и корунда или одного симплиманита; если n меньше 6 и присутствуют Fe и Mg , образуется идионах или идинох и корунд, если n больше 6 — молиб или молибид.

¹ Morosewicz. Min. Mitt., XVIII, S. 22, 1898.

² Morosewicz. Zeitschr. f. pr. Min., XXIV, S. 281, 1895.

шпинелью. Опыты Морозевича крайне важны, так как объясняют ассоциацию корунда со шпинелью, кордитом и силлиманитом.

Метод 5—разложение водой фтористых соединений алюминия—наиболее важен. Так получал его Брунз (Bruhns), нагревая аморфный алюминий до 300° с водой, содержащей следы NH_4F , и Готфрейль, действуя на него влажной фтористой кислотой. Там довидному образуется и в природе контактный корунд.

Этим же методом пользуются и для приготовления искусственного корунда для практических целей.

Корунд дает лучшие цветные драгоценные камни: красный рубин и синий сапфир. Их давно пытались приготовить искусственным путем.

В 1882/83 г. на рынке неожиданно появились и там же внезапно исчезли искусственные рубины «rubis de Genève». Продавались они по 100 марок за карт. Происхождения их было неясно. Говорили, что их получал Визе, священник в маленькой деревушке, сплавляя мелкие кристаллики природного рубина. Такие же рубины—«rubis reconstitués»—появились затем в 1893 г. Метод их приготовления стал известен, и цена их быстро упала: со 100—150 франков за карт в 1893 г. до 0,3 франка в 1904. Они же вполне идентичны с природными рубинами и несколько стелювидны.

В 1886 г. появились яркокрасные искусственные рубины с темными пятнышками и на всемирной Парижской выставке в 1900 г. кармальнокрасные со включениями рубины Раскьера.

В 1891 г. опубликованы были работы Фреми и Вернейля (Fremy, Verneuil)¹. Сплавляя в течение восьми дней при 1500° в пористых тиглях, через которые проникал влажный воздух, глину с CaF_2 , хромовой кислотой, корундом и калием, они получали полубы и фиолетовые рубины, рубины искусственные. Рубины Фреми—«rubis scientifiques» или «rubis Fremy». Из них ювелиры Тауб приготовляли украшения. Интересно, что на величину кристаллов влияла степень пористости тигля и количество калия.

Современный синтез рубина основан на работах Вернейля. Порошок прокаленного глинозема, смешанного с хромом, медленно и постепенно высыпается на накалившую палочку из глины, к которой прибавлено немного K_2CO_3 , через узкую трубку. Реакция происходит в наименее богатой кислородом части трубки. Жидкий глинозем медленно застывает камнями за камнями, которые успевают ориентироваться параллельно друг другу. Митэ (Miethe) указывает на оригинальность этого метода, аналогичного типу образования известкового пласта.

Оптика корунда зависит от количества Cr_2O_3 . Максимальная примесь его—12,5%. Светлые разновидности дают розовый рубин и так называемый розовый берилл. С. Брауне (Smits Brauns) исследовал эти рубины. Удельный вес их равен 3,99 (удельный вес природного рубина 4,02), оптическая ось параллельна длинной оси камня. Коэффициенты преломления в темнокрасном искусственном рубине:

W 1,7680 в свете лития и 1,7709 в свете натрия

E 1,7598 „ „ „ „ 1,7629 „ „ „

¹ A. Fremy Verneuil, „C. R.“. T. III. S. 667. 1891.

Франк и Эттингер (Frank u Ettinger)¹ нашли кристаллики алмаза в застывшей стали.

Фридель (Friedel) получал их, растворя графит в оливине, Гасслингер (Hasslinger)² — растворя аморфный уголь в искусственной, богатой Mg магне.

Руссо (Rousseau)³ получил алмазы, разлагая ацетилен при действии электрического тока, при 3 000°.

Лемнер (Lemner)⁴ сплавлял уголь в вольтовой дуге при давлении в 0,5 ат. Он получал жидкий уголь и затем графит.

Новейшие исследования Парсонса (Parsons)⁵ указали на возможность образования алмаза при температуре около 690° из поглощенных газов, главным образом из CO. Охлаждение должно вестись быстро.

Руфф (Ruff)⁶ получал маленькие алмазы из паров C, через которые он пропускал электрический ток в 5 000 V и 1½ А.

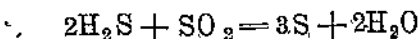
Графит образуется из металлов и их сульфидов, содержащих C в растворе. Даже при нагревании подобного металла с аморфным углем он сначала растворяет его и затем выделяет уже в виде графита. Он служит катализатором. На этом принципе построен ачесоновский метод приготовления искусственного графита.

Кроме того графит выделяется при действии горячего железа на CS₂ и CCl₄ при нагревании аморфного угля до 2200—2400°, возгонкой его в вольтовой дуге и при разложении карбидов парами воды.

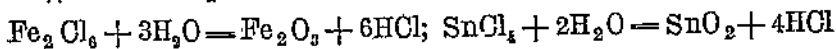
Структура алмаза была определена рентгенометрически Братом, графита — Дебай-Шерером (Debye-Scherrer) (рис. 10 и 11).

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ВУЛКАНОВ

Воспроизведения минералов при действии свободных газов и паров вполне аналогично естественным вулканическим возгонкам (рис. 223). Нашатырь легко получается из аммиака и паров соляной кислоты. Серы⁷ образуется при действии сероводорода и сернистого газа:



Также из летучих веществ получают нелетучие соединения при взаимодействии хлористых соединений металлов и парами воды:



При действии паров и газов на твердые вещества получен ряд минералов. При пропускании паров серы над раскаленным силикатом образуется вальенит. Если пропускать через чугунную трубку смесь водяного пара и сероводорода, то внутренность ее преобразуется

¹ Frank u Ettinger. «Chem. Centralblatt», S. 573. 1896.

² Hasslinger. «Monatsheft Chemie», B. 23. S. 817. 1902.

³ Rousseau. «C. R.», V. 117. S. 164. 1893.

⁴ Lemner. «Die Woche», Heft 2. S. 46. 1914.

⁵ Parsons. «Engineering», V. 105. S. 485. 1918.

⁶ Ruff. «Z. an. Ch.», S. 73. 1917.

⁷ Becker. «Mon. U. S. Geol. Surv.», V. 13, S. 254.

Habermann. «Z. f. an. Ch.» B. 38, S. 101.

Clarke. The Data of Geochemistry, P. 578.

в серный колчедан. Таким же способом Дольтер воспроизвел медный колчедан, действуя сероводородом на смесь $2\text{CuO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, слабо нагреваемую в стеклянной трубе. Дольтер воспроизвел гематит, рутил, шпидель, андрадит, оливин и многие силикаты. С. К. Девилье воспроизвел цинкит и ряд кремнистых минералов.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЗОНЫ МАГМЫ

Для опытов над получением минералов зоны магмы применяется высокая температура, превосходящая температуру кипения воды, одновременно с высоким давлением. Обычно употребляются запаянные стеклянные трубки, ружейные стволы, полые цилиндры из ковкого железа и для самых высоких температур — трубки из сплава платины и иридия.

Обычно в рудных жилах, петлеобразно связанных с магмой, чаще всего встречаются сернистые соединения металлов. Опыты Сенармона показали, что минералы, встречающиеся в рудных жилах, образуются из водных растворов. Он брал реактивы, которые встречаются также и в природе. Ему удалось получить из углекислых и сернистых щелочей, углекислоты и сероводорода (следовательно из обыкновеннейших составных частей теплых минеральных источников) при температуре 100—350° и соответствующем давлении 29 минералов, в том числе кроме названных уже металлов и многих сернистых соединений также карбонаты, сульфаты, окиси и фториды, т. е. наиболее частые в рудных жилах соединения.

Сенармон получил кристаллы реалл-гара, нагревая осажденный сернистый мышьяк (AsS или As_2S_3) с двууглекислым натрием в запаянной стеклянной трубке до 150°; вследствие этого вещество растворялось и кристаллизовалось при охлаждении в форме реаллгара. Таким же путем он получал из осажденной сернистой сурьмы кристаллы сурьмяного блеска, из сернистого висмута с сернистым калием — висмутовый блеск. Аморфный сернистый цинк при нагревании в запаянной трубке с раствором сероводорода, насыщенным под давлением, кристаллизовался в форме цинковой обманки; также кристаллизовался мышьякитовый колчедан при действии избытка двууглекислого натрия на осажденное серномышьяковое железо при 300—350°; таким же образом из серномышьякового серебра были получены красные прозрачные кристаллы светлорасной серебристой руды и из серносурьмяного серебра — ясные скаленодрические кристаллы темнокрасной серебристой руды. Кроме того из соответствующих закисных солей и сернистого калия были получены соединения марганцевой обманки MnS , гауерита MnS_2 , никелевого колчедана, медного блеска, серного и медного колчеданов.

Беккерель получил таблочки серебристого блеска, заставляя действовать друг на друга нитрат серебра и сернистые щелочи при 100—150°. Сенармон получал кварц нагреванием до 200—300° раствора студенистого кремнезема, содержащего углекислоту. По Брунесу, кварц очень легко образуется в присутствии фтора; достаточно десятичасового действия воды с небольшим количеством фтористого калия на порошок стекла при 300°, чтобы получить ясные кристаллы кварца.

Специя (G. Spezia) получил прекрасные кристаллы кварца, длиной более 1 см. Они так похожи на естественные, выросшие в трещинах и друзах, что их нельзя было бы отличить от натуральных, если бы серебряная нить, на которой они выращены, не доказывала их искусственное происхождение (рис. 293).

Специя при своих ранее упомянутых опытах с растворами получал маленькие кристаллы кварца; теперь он изучил, какие условия наиболее благоприятны для образования кварца. Он нашел, что ни усиление давления, ни повышение температуры не ускоряют растворения и новообразования кварца. Разбавленный раствор Na_2SiO_3 (2% Na_2SiO_3) растворяет кварц при температурах от 164 до 338° и опять выделяет его. Образование кварца происходит отнюдь не при охлаждении, которое протекает очень быстро (в час термометр падает от 338 до 97°), но при высшей температуре. Далее наблюдался характер роста кристаллов кварца, причем обнаружилось, что на развитие кристалла большое влияние имеет скорость роста.

При быстрой кристаллизации образуется только один ромбоэдр, и кристалл развивается более по главной оси. Более длительное отложение способствует образованию двух ромбоэдров (100) и (221), откуда можно заключить, что естественные кристаллы кварца с равномерным развитием обоих ромбоэдров образовались медленно; кристаллы же, более развитые по направлению главной оси, возникли в результате быстрой кристаллизации¹.

В позднейших опытах эти работы продолжались. Применялся раствор, содержащий на 100 частей — 12,7 частей NaCl и 1,9 частей Na_2SiO_3 .

Опыт продолжался 5 месяцев; температура раствора была 168—180°, а осадка 327—340°.

Первый кристалл с двумя призмами, малой и большой, вырос вполне законченным на обоих концах, другой же получил псевдобазальные грани.

Влияние примеси NaCl состояло в развитии выемок и большой прозрачности.

Аналогичными методами, по различным способам, были получены минералы всех классов, начиная с элементов и кончая силикатами.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ИЗ ХОЛОДНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЗОНЫ КАТАМОРФИЗМА

Основной растворитель в природе в зоне катаморфизма — вода, насыщенная углекислотой или углекислыми солями. Этим растворите-

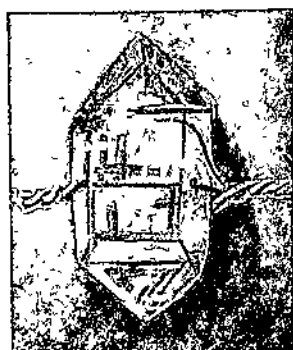
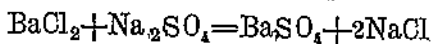


Рис. 293. Искусственный кварц, полученный D. Spezia из раствора Na_2SiO_3 при температуре свыше 164°. Кристаллизация требует нескольких месяцев времени.

¹ Вопрос о зависимости кристаллографических форм кварца от его генезиса составляет предмет специальной работы, предпринятой автором для выяснения генетического значения кристаллов кварца.

лем пользуются для воспроизведения минералов. Так Розе получал кальцит при стоянии на воздухе раствора CaCO_3 в углекислой воде. Если же раствор подогревать, то образуется арагонит. Арагонит же образуется, если действовать крепким раствором двууглекислой соды на гипс, что хорошо объясняет нахождение арагонита в природе в гипсовых пластах (Испания, Сицилия). Нерастворимые или трудно растворимые соединения легко образуются при взаимодействии слабых растворов. Так раствор хлористого бария при действии сернокислого натрия дает осадок практически нерастворимого сернокислого бария:



Особенно легко происходят выделения минеральных тел при колебаниях температуры. При колебаниях температуры в пределах от 0 до 100° выпадают из соответственных искусственных растворов — свинцовый блеск, сульфидный блеск, цинковый обманка, шприт и др.

Кальцит. Карбонат кальция составляет горную породу, занимающую громадные пространства земной коры. Изучение его и вопросы синтеза представляют поэтому особый интерес. CaCO_3 известен в нескольких модификациях, и вопрос о его полиморфизме был боевым в начале XIX в., когда Митчерлих подтвердил найденный в 1788 г. Клапротом (Klaproth) факт существования арагонита, совершенно одинакового с кальцитом по химическому составу и отличного по кристаллической форме и физическим свойствам.

Наиболее полное исследование карбонатов кальция было произведено Джоустоном, Мервином и Виллиамсоном (Johnston, Merwin & Williamson) в геофизической лаборатории Института Карнеджи¹. Они отличают α - β - и γ -кальцит и арагонит. При обычном давлении и температуре наиболее стоек и наименее растворим кальцит. Остальные формы быстро переходят в него при 400°. При нагревании он распадается на CaO и CO_2 , но при постоянном давлении CO_2 остается неизменным и при 970° он переходит в α -кальцит, незначительно отличающийся от него кристаллографически.

При температурах от 0° и выше и обычном давлении арагонит нестойк. Точных данных о высоком давлении и температурах ниже 0° нет. При 400° он быстро переходит в β -кальцит, при более низких температурах переход замедляется.

Доломит. Вопрос о происхождении доломита, двойной соли $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$, слагающего громадные массы в земной коре, является одной из главных проблем синтетической минералогии. Лейтмейер (Leitmeier)² указывает, что результаты, полученные старыми авторами, очень неточны, так как вероятно, что в своих опытах они получали не доломит, а смесь магнезита с кальцитом, не $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$, а CaCO_3 и MgCO_3 .

¹ Johnston Merwin, Williamson, «Am. Journ. of. Sc.» V. 41 p. 473.

² Leitmeier. «Tscherm. Min. und Petr. Mitt.» B. 33 S. 352. 1915.

Morlot. «Haidingers naturw.», Abh. S. 305, 1847.

Linck. «Monatsberichte der D. Geol. Ges.» S. 230. 1909.

Klement. «Tscherm. Min. u. Petr. Mitt.» B. 14. S. 526. 1895.

Первые опыты синтеза доломита относятся к середине XIX в., когда Морло (Morlot) получил его из $MgSO_4$ и $CaCO_3$ при температуре 220° и давлении 15 ат. Многие последователи занимались этим вопросом, пока Линк (Linck) не разрешил его: из хлористого и сернистого магнезия, хлористого кальция и соли карбоната аммония он получил сферолиты, анализ которых дал цифры, аналогичные анализу доломита. Мейген (Meigen) повторил его опыты, но неудачно. Вопрос синтеза доломита до сих пор не решен, так как результаты лабораторных опытов Клемента (Klement), в которых доломит получался при 90° из порошка арагонита, $NaCl$, $MgCl_2$ и $MgSO_4$, не соответствуют условиям его образования в природе, и в условиях, соответствующих морской воде, доломит не был получен.

Кристаллизация из водного раствора электролизом несомненно имеет место в природе. Так различные сернистые металлы при действии на них жидкостей электризуются и осаждают металлы из растворов. Серный колчедан и свинцовый блеск в виде катода и анода осаждают медь из сернокислых растворов.

Наконец осаждение солей морской воды в лагунах и заливах, а также отложения озер можно наблюдать в природе, и эти группы минералов хорошо освещены. Примером такого освещения генезиса на основании эксперимента служат работы Вальт-Гоффа, объясняющие Страсбургское месторождение.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ЗОНЫ АНАМОРФИЗМА

(При высоком давлении.)

Давление может вызывать химические реакции, если образующееся соединение имеет меньший молекулярный объем, чем объемы реагирующих веществ. Медные опилки и порошок серы при давлении 5 000 ат дают кристаллический медный блеск Cu_2S . Из серебра и серы получается сернистое серебро Ag_2S ; из свинца и серы — PbS .

Интенсивность образования соединений зависит от величины поверхности и от продолжительности соприкосновения. В этом направлении поучительны опыты Спринга, выяснившие между прочим и закон действия массы, т. е., что реакция идет в зависимости от массы веществ, вступающих в нее. Этот закон имеет приложение ко всем зонам земной коры.

Смесь одной части углекислого бария, $BaCO_3$, и трех частей сульфата, Na_2SO_4 , вступает в реакцию при сотрясении без давления и дает 50% $BaSO_4$; после шестикратного сдавливания количество $BaSO_4$ возрастает до 78%. Из смеси одной части $BaSO_4$ и трех частей Na_2CO_3 при давлении 6 000 ат получается $BaCO_3$ от 1 до 9%. Преобразование вещества, так видно из этих опытов, имеет обратимый характер.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СИНТЕЗА МИНЕРАЛОВ.

Практическое значение может иметь воспроизведение ценных минералов, составные части которых легко могут быть получены из других соединений. Так синяя ляпис-лазурь, ценная художниками, была

заменена искусственным ультрамарином. Киноварь приготовляют из ртути и серы для краски. Сода давно уже производится искусственно.

Искусственные драгоценные камни в последнее время широко распространились. Делают прекрасные рубины, сапфиры и пр.

Алмаз пока получается в слишком ничтожных количествах, но выработка экономически удачного способа его получения будет иметь громадное значение для горной промышленности.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. A. Daubrée, *Études syntétiques de Géologie Expérimentale*, Paris 1879.
2. П. Чирвинский, Искусственное получение минералов в XIX в., Киев 1903—1905.
3. Р. Браунс, *Химическая минералогия*, пер. Белякина, Спб. 1904.
4. C. Doelter, *Handbuch der Mineralchemie*, 1912—1919, B. I, Kohlenstoff; Carbonate, Silikate, B. II, 1—2 T., Siliciumverbindungen; Silicatverbindungen; B. III, Elemente und Verbindungen von Ti, Zr, Sn, Th, Nb, Ta, N, P, As, Sb, Bi, V und H; 2 Teil: Li, Na, K, Cu, Rb, Ag.
5. R. E. Liesegang, *Die Achate*, 1915.
6. E. Dittler, *Mineralsynthetisches Practicum*, Dresden 1915.
7. H. Michel, *Die künstlichen Edelsteine*, Leipzig 1914.
8. A. N. Winchell, *The optic and microscopic characters of artificial minerals*. University of Wisconsin, U. S. A. 1927.

ГЛАВНЕЙШИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ, В КОТОРЫХ ПОМЕЩАЮТСЯ СТАТЬИ ПО ГЕНЕЗИСУ МИНЕРАЛОВ И ОПИСАНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

I. Русские издания

1. „Минеральное сырье“, Москва (изд. с 1926 г.).
2. „Горный журнал“, Москва.
3. „Труды Геологического комитета“, Ленинград.
4. „Известия Геологического комитета“, Ленинград.
5. „Отчеты о деятельности комиссии по изучению естественных производительных сил СССР при Академии наук СССР“ и другие труды Ака. наук.
6. „Труды Геологического музея при Академии наук“, Ленинград.
7. „Записки Минералогического общества“, Ленинград.
8. „Труды Института прикладной минералогии“, Москва.
9. „Вопросы Союзгеоразведки“ и быв. Гл. Геол.-Разв. Упр. (ГПРУ) и др. их издания.

II. Иностранные издания

1. „Bulletin de la société française de minéralogie“, Paris.
2. „The Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society“, London.
3. „Economic Geology“, Lancaster, U. S.
4. „American Journal of Science“, New-Haven, U. S.
5. „Chemie der Erde“.
6. „Zeitschrift für praktische Geologie“, Berlin.
7. „Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie“, Stuttgart.
8. „Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie“, Stuttgart.
9. „Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie“, Jena.
10. „Beiträge z. Kristallographie und Mineralogie“, Heidelberg.
11. „Tschermak's Mineralogische und Petrographische Mitteilungen“, Wien.
12. „International Catalogue of scientific literature“.

13. Kali. „Zeitschrift f. Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung der Kalisalze“, Halle.
14. „Rivista di mineralogia e cristallographia italiana“, Padova.
15. „Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse“, Wien.
16. „Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften“, Berlin.
17. „Zeitschrift für anorganische Chemie“, Leipzig.
18. „Bulletin of the United States geological Survey“, Washington.
19. „Professional Papers“, Department of the Interior, U. S. Geological Survey, Washington, D. C.
20. „Department of Mines“, Ottawa.
21. „Bulletin of the geological Institution of the University of Upsala“.
22. „Transactions of the American Institute of Mining Engineer“, N. Y.
23. „Metall und Erze“, Halle a. S.
24. „Mineral Resources of the United States“, Washington.
25. „Geological Magazine“, London.
26. „Geologische Rundschau“, Leipzig.
27. „Geologisches Archiv“, Königsberg.
28. „Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical ociety“, Slondon.
29. „Mineralogische und petrographische Mitteilungen“, Wien.

Добыча некоторых полезных минералов и металлических руд и выплавка металлов в различных странах

Нижеприведенные диаграммы и таблицы укажут читателю масштаб горного дела в разных странах и их богатства полезными минералами. Сравнение же с СССР укажет пути исследования и познания минералогии СССР как основной дисциплины, необходимой для развития горного дела нашей страны. Цифры частью даны для сравнения из двух периодов: первого-договорного, где наиболее типичным годом надо считать 1913 г., и послевоенного, где даны сведения в зависимости от полноты их по данным годам.

Диаграммы и статистические таблицы составлены специально для настоящего издания.

Международная горная статистика представляет огромные трудности для пользования. Так, в лучшем сборнике, как *"The Mineral Industry"* (N.Y.) в пределах одной и той же статьи применяются короткие (американские) и метрические тонны, англ. фунты и даже центнеры, а в следующих статьях — большие тонны, счет на 1 000 фунтов и на унции.

Особенно неудовлетворительна статистика неметаллических ископаемых — в ней обычны неполнота или даже полное отсутствие учета.

В подсчетах мировой продукции, приведенных Геологическим комитетом в его двух сборниках *"Годовые обзоры минеральных ресурсов"* за 1925/26 и 1926/27 гг., имеются значительные расхождения с первоисточниками (см. бокситы, магнезит и др.).

Таблицы в международной статистике очень часто не дают исчерывающего описания стран-производительниц: соответствующие цифры нередко или недостоверны или отсутствуют, а приводимые внизу страниц итоги мировой добычи далеко не всегда представляют собой арифметические итоги помещенных в таблицу слагаемых. Итоги эти — ориентировочный материал мировых бирж (главным образом Нью-Йоркской) и сами по себе представляют интерес, давая то меньшие, то несколько больше итоги, чем арифметический подсчет публикуемых по странам.

Более подробные сведения имеются в следующих изданиях:

Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1925/26 г. II. изд. Геолкома. То же за 1926/27 г.

I. E. Spry: *Political and commercial Geology and the world's mineral Resources*. New York 1920.

The mineral industry. Ed. by A. Ronsch. New York 1931.

"Engineering and Mining Journal" 1932.

"Chemical and metallurgical Engineering".

"The Coal Age".

"Economic Geology".

"Mining Journal", London.

"L'Echo des Mines et de la Metallurgie". Annales des Mines. France.

Yearbook of the American Bureau of Metal Statistics.

Publications of the U. S. Geological Survey, U. S. Bureau of Mines U. S. Bureau of Foreign and Domestic.

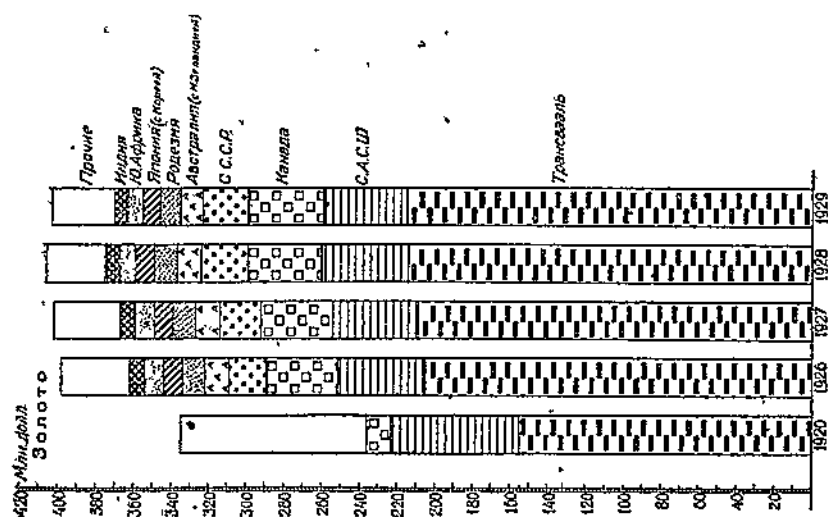


Рис. 294. Мировая добыча золота и распределение по странам, за десятилетие, предшествовавшее мировому кризису.

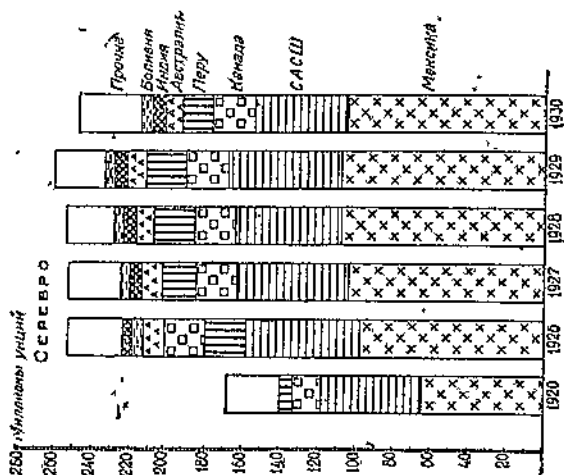


Рис. 295. Мировая добыча серебра и распределение по странам за 1920—1930 гг.

2200 - Тис. мировые тонн

Медь

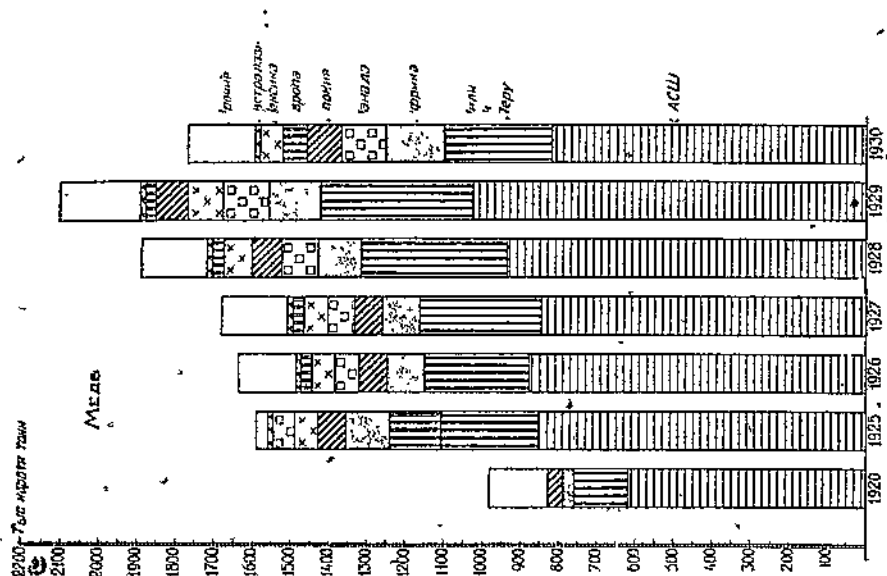


Рис. 297. Мировая вылавка меди, с распределением по странам, за 1920—1930 гг.

Тис. мировых тонн
Железо

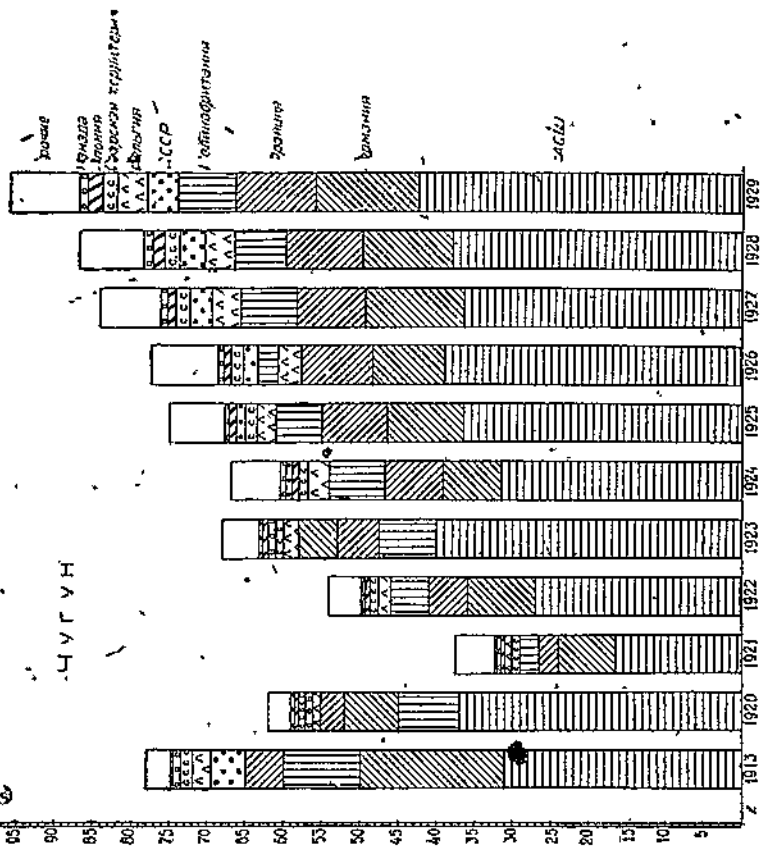


Рис. 298. Мировая вылавка чугуна (как показатель добычи железных руд), с распределением по странам за 1913—1929 гг.

СВИНЕЦ

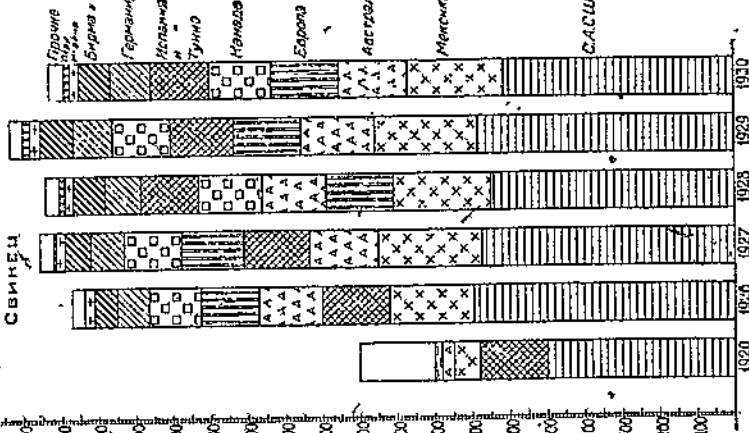


Рис. 298. Мировая выплавка свинца, с распределением по странам, за 1920—1930 гг.

1700 Тис. коротн тонн

ЦИНК

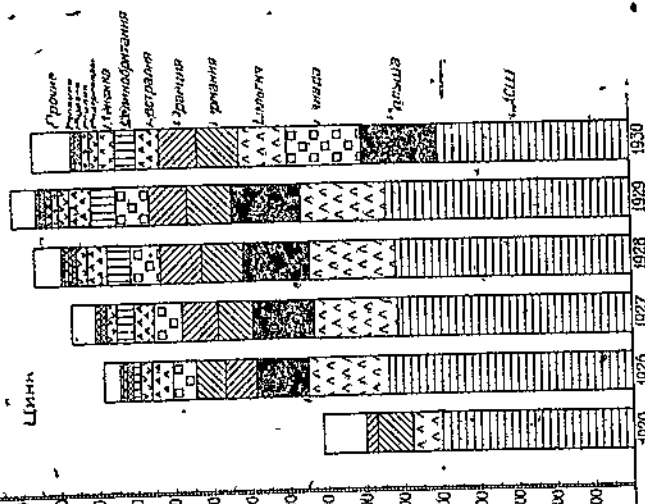


Рис. 299. Мировая выплавка цинка, с распределением по странам, за 1920—1930 гг.

200 Тис. больш. тонн

ОЛОВО

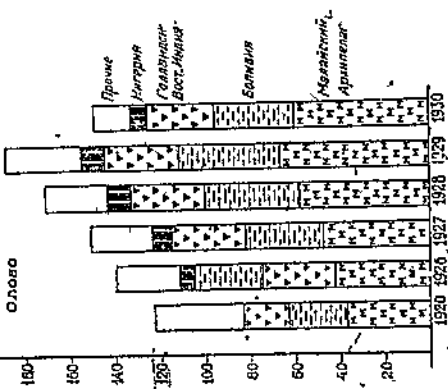


Рис. 300. Мировая выплавка олова, с распределением по странам, за 1920—1930 гг.

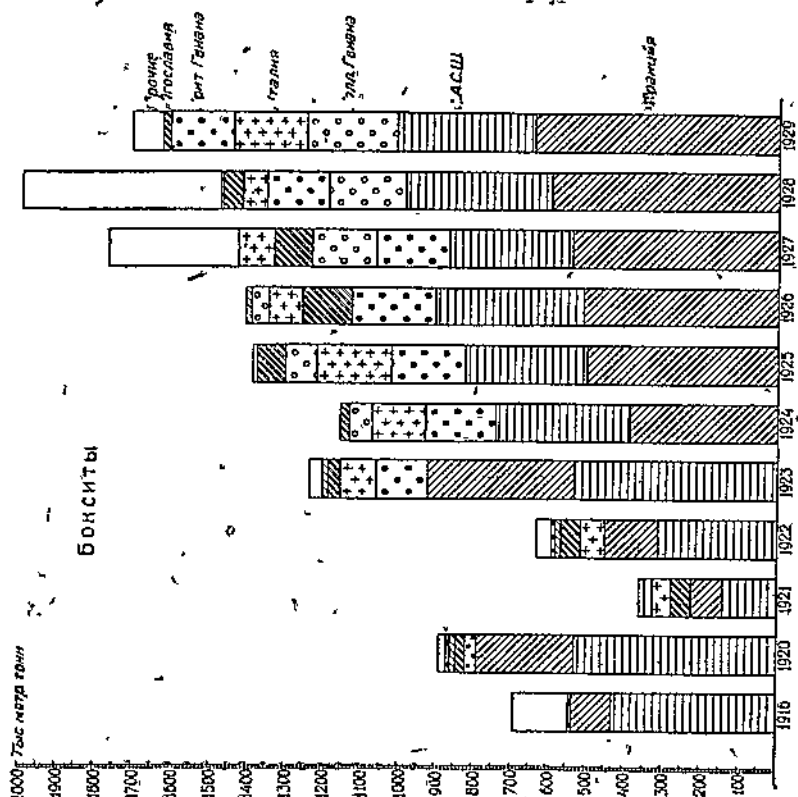


Рис. 301. Мировая добыча бокситов, с распределением по странам, за 1916—1929 гг.

Примечание. Бокситы служат рудой на алюминий и металлургическим сырьем для производства огнеупоров, искусственных абразивных изделий и красок (окрашивающие бокситы).

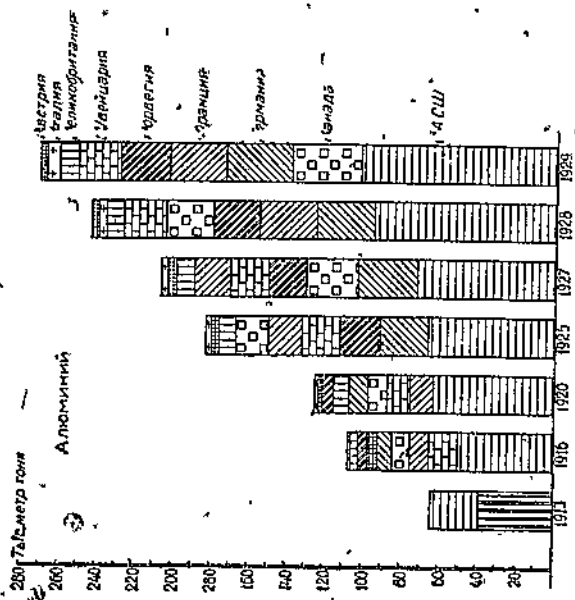


Рис. 302. Мировая выплавка алюминия, с распределением по странам, за 1913—1929 гг.

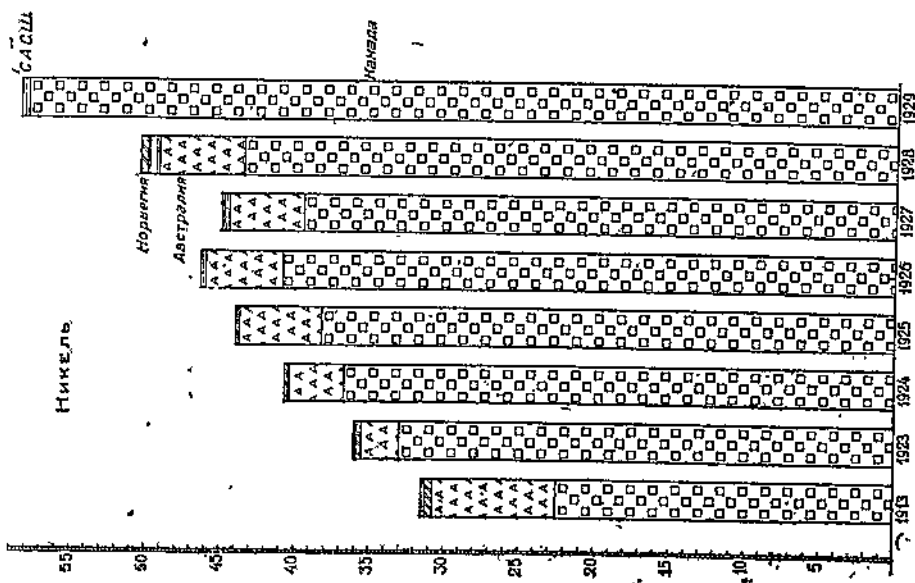


Рис. 303. Мировая выработка никеля, с распределением по странам за 1913—1929 гг.

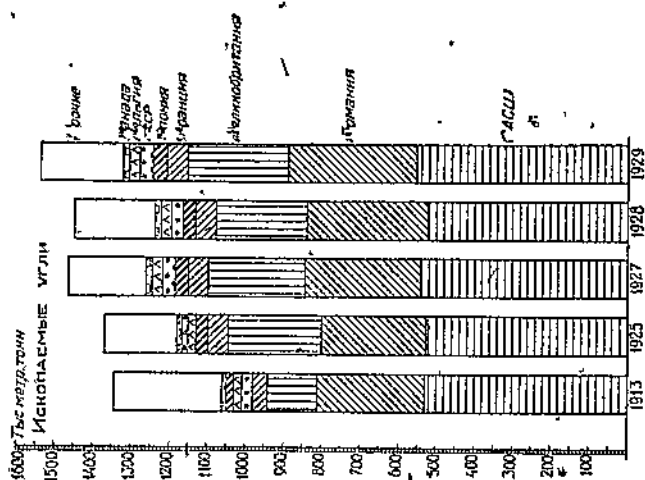


Рис. 304. Мировая добыча ископаемых углей, с распределением по странам, за 1913—1929 гг.

Мировая добыча платины

в перерасчете на чистую платину в унциях (31,1 г)

Страны	Годы	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930
СССР.	53 000	98 474	43 181	39 425	11 323	5 500	27 200	38 000	66 800	94 800	92 700	100 000	около 1	100 000	100 000	1
Колумбия	25 592	26 421	84 266	82 236	33 500	34 000	43 574	40 676	46 533	45 000	44 600	45 800	45 800	52 800	47 756	40 000
Южная Африка	—	—	—	—	—	—	—	—	—	600	8 400	18 800	18 800	20 200	25 400	46 600
Канада	1 040	1 036	705	690	4 345	5 412	4 802	6 810	9 186	8 698	9 521	11 217	10 532	4 631	12 519	34 024
США	2 780	6 280	9 740	10 460	11 500	2 899	1 993	2 114	3 523	4 325	4 923	4 449	4 449	1 459	5 620	5 348
Япония	—	—	—	1 575	4 830	8 014	7 196	4 865	6 950	4 519	5 873	6 169	6 169	1 459	—	—
Австралия	62	197	461	162	640	189	61	415	460	405	280	160	160	250	96	—
Абиссиния	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	640	1 200	1 200	2 400	4 400	—
Поступление на мировой рынок.	82 474	132 400	80 200	77 300	69 800	55 200	81 800	96 000	130 100	160 000	177 800	186 000	186 000	192 000	196 000	—

Примечания. 1. По данным „The Mineral Industry“. N. G. 1931.

2. В России за период 1901—1914 г. было добыто 76 109,88 кг платины, т. е. в среднем 5 436,42 кг (ок. 174 787 унций).

Колебания цен на платину

Средние годовые цены на платину (в перерасчете на рафинированную) на Нью-йоркской бирже за унцию (31,103 г)

годы	долл.	годы	долл.
1914.	45,14	1925.	119,09
1919.	114,61	1926.	113,27
1920.	110,90	1927.	84,64
1922.	97,82	1928.	78,58
1923.	116,54	1929.	67,66
1924.	118,82	1930.	45,36

В октябре, ноябре и декабре 1930 г. цены упали до 36,00 долл. вследствие снижения спроса и усиливающейся добычи платины в СССР.

Мировая добыча алмазов
(в каратах равных 0,2 г)

Годы	А ф р и к а						П р о ч н е с т р а н ы							
	Южно-Африканский союз		Юго-Зап. Африка	Конго	Ангола	Золотой Берег	Южная Родезия	Танганьика	Бразилия	Бразилия Гвиана	Борнео	Бразилия Индия	Новый Южный Уэльс (Австралия)	Посуды на мировом рынке
	Рудники	Россыи												
1914	2 727 588	147 742	2 875 300	—	23 877	—	1 005	—	—	13 716	—	55	1 580	2 916 000
1915	5 839	100 269	106 128	250 000	48 935	—	—	—	11 803	3 678	—	36	839	422 000
1916	2 236 490	172 065	2 408 555	144 920	53 940	1 300	1 021	—	84 004	16 409	—	20	1 901	2 712 000
1917	2 791 544	187 845	2 979 389	364 961	99 907	4 130	619	—	—	17 908	—	29	2 991	3 500 000
1926	2 409 367	808 329	3 217 967	683 801	1 114 384	154 370	299 835	105	6 695	43 198	164 156	69	64	5 685 000
1927	2 389 631	2 318 407	4 708 038	723 877	1 041 544	200 809	460 959	126	18 768	34 018	173 797	113	199	7 363 000
1928	2 254 649	2 114 675	4 372 856	503 142	1 647 700	237 511	698 826	54	24 681	41 895	214 474	824	28	7 742 000
1929	2 291 142	1 367 691	3 661 212	547 189	1 903 551	311 903	660 536	232	23 300	50 000	125 799	1 628	119	7 335 000
1930	2 242 460	918 706	3 163 591	415 047	2 235 000	329 824	659 000	58	14 000	—	105 000	—	—	6 973 000

Ископаемые угли добытые в главных странах мира

(в метрич. тоннах)

		1926	1929	1930
Сев. Америка	Уголь . . .	11 687 032	12 272 806	11 366 407
Канада	Лигнит . . .	3 261 599	3 599 720	3 123 739
С. А. С. Ш.	Антрацит . .	76 599 968	66 975 462	63 323 000
	Битумы и лигнит. . . }	520 147 061	485 330 952	413 782 000
Центральная Америка . .	—	1 310 638	1 037 798	—
Южная Америка	—	2 072 416	2 010 124	—
Европа				
Бельгия	—	25 259 600	26 931 460	27 405 560
Чехословакия	Уголь . . .	14 176 998	16 521 457	14 572 332
	Лигнит . . .	18 515 666	22 580 796	19 316 246
Франция	Уголь . . .	51 421 772	53 736 497	53 884 035
	Лигнит . . .	1 056 200	1 187 406	1 142 733
Германия	Уголь . . .	145 295 724	163 437 056	142 697 760
	Лигнит . . .	139 150 557	175 177 932	145 913 818
Саарский округ	—	13 680 874	13 579 348	13 390 500
Венгрия	Уголь . . . }	6 649 205	826 270	6 019 000
	Лигнит . . . }	8 842 687	6 993 940	—
Нидерланды	Уголь . . .	211 194	11 581 202	12 210 634
	Лигнит . . .	—	156 568	—
Польша	Уголь . . . }	35 323 374	46 236 037	37 499 548
	Лигнит . . . }	—	74 321	75 000
СССР	Уголь . . . }	22 220 044	38 423 000	39 912 000
	Лигнит . . . }	—	—	—
Испания	Уголь . . .	6 536 087	7 058 316	7 183 000
	Лигнит . . .	399 830	438 951	376 000
Англия	Уголь . . . }	128 305 291	262 046 206	247 662 000
	Лигнит . . . }	—	327	—
Прочие страны Европы . .	—	13 795 958	16 098 830	—
Азия				
Китай	—	22 400 000	—	—
Британ. Индия	—	21 336 204	12 495 347	20 980 000
Япония	Уголь . . .	—	36 000 000	36 000 000
	Лигнит . . .	33 658 013	139 031	—
Прочие страны Азии . . .	—	6 836 493	11 985 675	—
Африка				
Южн. Родезия	—	874 140	1 036 816	941 458
Южно-африк. союз	—	12 949 950	13 018 328	12 222 500
Прочие страны Африки . .	—	372 675	480 140	—
Австралия				
Ново-Южн. Уэльс	—	—	7 740 000	—
Пр. штаты	—	14 461 377	4 560 803	—
Нов. Зеланд	Уголь . . . }	2 275 951	1 389 107	—
	Лигнит . . . }	—	1 187 458	—
Проч. страны Океании . . .	—	1 558 939	17 000	—
Мировые поступ. на рынок .	—	1 365 000 000	1 559 000	1 410 000 000
% САСШ	—	43,7	35,4	34,2

Примечание. 1 341 000 000 метр. т САСШ 38,5%.

Мировая добыча естественного графита

(в метр. тонн.)

	1913	1927	1928	1929
Австрия	49 456	18 058	24 226	25 296
Канада	1 961	1 659	994	1 325
Цейлон	28 996	13 091	14 576	12 942
Корея	14 543	20 331	23 095	24 645
Чехословакия	—	41 113	33 332	—
Германия	12 057	17 773	17 484	—
Франция	—	900	—	—
Индокитай	1 194	410	—	—
Италия	11 145	8 395	7 030	6 050
Япония	667	633	442	—
Мадагаскар	7 997	14 329	13 897	16 049
Мексика	4 435	6 818	5 257	5 721
Норвегия	300	—	—	—
Испания	—	352	—	—
Швеция	88	39	100	53
Союз Ю.-Африк.	35	58	51	53
Соед. Штаты	4 332	4 724	5 090	5 859
Прочие страны	8	6 867	—	—
Поступление на рынок . . .	137 214	151 100	153 000	155 000

Марганцовые руды

(в метрич. тоннах)

	1913	1928	1929	1930
СССР	1 254 658	1 155 000	1 256 800	1 561 000
Бразилия	122 300	359 651	316 172	—
Золотой берег	—	329 692	414 760	504 432
Индия Брит.	828 088	1 147 479	994 153	1 010 237
Египет	—	152 845	137 502	191 477
Чехословакия	4 697	95 231	108 441	—
Румыния	—	1 650	31 267	35 038
Испания	21 594	36 870	13 704	17 872
Швеция	4 001	16 823	15 790	14 609
САСШ	4 113	45 459	47 612	61 348
Китай	—	43 332	42 468	—
Япония	18 039	17 729	18 446	—
Поступление на мировой рынок	2 321 000	3 553 000	3 251 000	3 517 000

В небольших количествах марганец добывается также в Австралии, (237 т) на о. Кубе (972 т), во Франции (4 000 т в 1930 г.), в Германии (475 т), в Греции (1 080 т), в Италии (9 917 т), в Марокко (240 т), в Тунисе и Алжире (635 т), в Англии (239 т) — по последним имеющимся (по каждой стране) данным — за 1929 и 1930 г.

КНИГИ И БРОШЮРЫ ПРОФ. Н. М. ФЕДОРОВСКОГО

1. Граниты в природе и в технике. М. 1914. (20 стр.).
2. Генетическая минералогия. Л.: 1920. (152 стр.).
3. Генезис минералов. М. 1923. (200 стр.).
4. Описание минералов. М. 1923. (175 стр.).
5. Определение минералов. М. 1923. (174 стр.).
6. Определитель минералов при посредстве паяльной трубки и простых химических реакций. 1921. (47 стр.).
7. Опыт прикладной минералогии. Л. 1924. (178 стр.).
8. Главнейшие минералы, употребляемые в химической промышленности Л. 1925. (24 стр.).
9. Минеральные богатства СССР и перспективы их использования. Л. 1925. (36 стр.).
10. Недрa СССР и пути их использования. Изд. „Гудок“. М.-Л. 1927.
11. На Урале. Л. 1926. (167 стр.).
 - а) Охотник за камнями. Л. 1925. (87 стр.).
 - б) В поисках радия. Л. 1926. (80 стр.).
12. Минералы в промышленности и сельском хозяйств. Изд. 2-е. Л. 1927. (396 стр.).
13. Курс минералогии. Изд. 4-е. М.-Л. 1932.
14. Anleitung zur Bestimmung von Mineralien. Uebersetzung der letzten (zweiten) russischen Auflage. Berlin. Verlag v. Julius Springer. 1,26.
15. Борьба за недра. (Работы Института приклад. минерал.). М. 1931. (144 стр.).
16. Графит. М. 1931. (24 стр.).
17. Каолин, или белая глина. М. 1931. (15 стр.).
18. Полевой шпат. М. 1931. (8 стр.).
19. Промышленность неметаллических ископаемых на третий год пятилетки. М. 1931. (52 стр.).
20. Импорт минерального сырья. М. 1931. (32 стр.). (Совместно с Е. И. Озолиным).
21. Путь камня к промышленности. М. 1931. (96 стр.).
22. Минеральные богатства Южной Африки. М. 1930. (42 стр.).
23. Краткий определитель минерал. и гор. пород. (Изд. 2-е, доп. М. 1932. (72 стр.).
24. Реконструкция минералогии как науки. М. 1932. (26 стр.).
25. В поисках за ценными минералами и рудами. М. 1932. (64 стр.).
26. Минеральное сырье в промышленности ч. I. Абразивные материалы. М. 1932.
27. Минеральное сырье в промышленности ч. II. Рудоминеральное сырье в черной металлургии. М. 1932. (Печатается).

СТАТЬИ Н. М. ФЕДОРОВСКОГО В „ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ“ (М. 1928—1932)

1. Алундул	(т. I)	17. Криолит	(т. XI)
2. Барит	(т. II)	18. Магнезит	(т. XII)
3. Боракс	(т. II)	19. Медные руды	(т. XII)
4. Бурый железняк	(т. III)	20. Мел	(т. XIII)
5. Вольфрамовые руды	(т. IV)	21. Молибденовые руды	(т. XIII)
6. Глаукогонит	(т. V)	22. Минералогия	(т. XIII)
7. Днаспор	(т. VI)	23. Монацит	(т. XIII)
8. Доломит	(т. VI)	24. Мрамор	(т. XIII)
9. Железные руды	(т. VII)	25. Мышьяковые руды	(т. XIV)
10. Золотые руды	(т. VII)	26. Никелевые руды	(т. XIV)
11. Калийные соли	(т. IV)	27. Озокерит	(т. XIV)
12. Кварц	(т. X)	28. Оловянные руды	(т. XV)
13. Колчеданы	(т. X)	29. Охра	(т. XV)
14. Кордиерит	(т. XI)	30. Пирит	(т. XVI)
15. Корунд	(т. XI)	31. Поваренная соль	(т. XVI)
16. Кремень	(т. XI)	32. Платиновые руды	(т. XVI)