

Федеральное агентство по образованию

И.К. Коваль

Промышленные типы неметаллических полезных ископаемых

Учебное пособие для вузов

Воронеж

2006

Утверждено научно-методическим советом геологического факультета
ноября 2006 г., протокол №

Рецензент профессор, зав. кафедрой общей геологии и геодинамики
В.И. Сиротин

Учебное пособие подготовлено на кафедре полезных ископаемых и
недропользования геологического факультета Воронежского государ-
ственного университета.

Рекомендуется для студентов геологического факультета Воронеж-
ского государственного университета всех форм обучения.

Для специальности: 020301 (011100) – Геология

ВВЕДЕНИЕ

В существующей программе обучения студентов геологической специальности университета курс "Неметаллические полезные ископаемые" является завершающей, третьей частью более общей учебной дисциплины "Геология полезных ископаемых". Настоящее учебное пособие отражает содержание лекций, читаемых автором на геологическом факультете Воронежского государственного университета. Его построение находится в соответствии с классификацией неметаллических полезных ископаемых в общей систематике месторождений, предложенной академиком В.И. Смирновым, с выделением месторождений трех серий: магматогенных, экзогенных и метаморфогенных. В сериях выделяются группы, в группах - классы и подклассы.

К неметаллическим полезным ископаемым относится обширная группа минералов и горных пород, области применения которых чрезвычайно широки: по существу нет ни одной отрасли народного хозяйства, где бы в той или иной мере не использовалось это сырье. В настоящее время насчитывается свыше 150 видов неметаллических полезных ископаемых, используемых в естественном или переработанном виде. Как правило, рассматриваемые полезные ископаемые представляют собой сырье многоцелевого назначения. Из них получают различные химические элементы (серу, фосфор, хлор, фтор, калий, натрий и др.), и их соединения. Среди последних присутствуют и специфические виды топлива (соединения бора, фтора и др.). Помимо сырья, из которого извлекают в качестве полезных компонентов химические элементы и их соединения, к неметаллическим полезным ископаемым относятся промышленные минералы (в том числе монокристаллы и кристаллические агрегаты) и промышленные горные породы, обладающие ценными с практической точки зрения физическими (электропроводность, плотность и др.), химическими (растворимость, кислотостойкость, щелочестойкость и др.) и техническими (монолитность, декоративность, абразивность, огнестойкость и др.) свойствами. По своему химическому и минеральному составу неметаллические полезные ископаемые существенно отличаются от металлических. Руды металлов сложены сульфидами, сульфосолями, оксидами и самородными элементами, тогда как неметаллические полезные ископаемые – это преимущественно силикаты, фосфаты, карбонаты, сульфаты, соли кислородных кислот, галоиды.

Важная особенность неметаллического сырья – его взаимозаменяемость, в силу тождественности тех или иных свойств для одной и той же цели используются различные виды сырья. С другой стороны, один и тот же вид неметаллического сырья по сравнению с металлическим характеризуется значительно большим разнообразием своего использования.

С течением времени наблюдается все более возрастающий перечень неметаллических полезных ископаемых, области применения которых

неуклонно расширяются. В настоящее время в народнохозяйственную деятельность вовлекаются все новые и новые виды неметаллических полезных ископаемых. Неметаллические полезные ископаемые в экономике всех стран играют значительную роль, определяемую широкомасштабным многоцелевым использованием в производстве промышленной и сельскохозяйственной продукции, при создании наукоемких технологий и получении конструкционных материалов, композитов, специальной керамики. Их отдельные виды относятся к стратегическому сырью. По данным В.П. Петрова, начиная с 50 – х гг. минувшего столетия наблюдается резкое возрастание объемов добычи неметаллического сырья, причем темпы роста были значительно выше, чем металлического сырья. В последнее время, однако, обозначилась тенденция к некоторому ограничению добычи, связанная с защитой окружающей среды, более глубокой, комплексной переработкой природного сырья, утилизацией отходов промышленного производства (техногенное сырье). Особую значимость неметаллическим полезным ископаемым придают задачи, связанные с производством минеральных удобрений, бурным ростом строительства (стройматериалы), ускорением научно-технического прогресса (новые виды стройматериалов, новые марки цементов, новые виды керамики и стекол как конструкционные материалы и др.) и охраной окружающей среды (материалы для очистки вод и атмосферы от загрязнения, утилизация отходов горнорудных, металлургических и топливно-энергетических предприятий как новый источник неметаллического сырья, глубокая, комплексная переработка всех видов полезных ископаемых и внедрение безотходных технологий).

Общее распределение неметаллических полезных ископаемых, описанных в данном учебном пособии, по характеру использования в промышленности представляется следующим.

1. Месторождения индустриально-камнецветного (технического) сырья: алмазы, слюды, асбесты, графит, тальк и тальковый камень, магнезит, флюорит, барит и витерит, исландский шпат.

2. Месторождения химического и агрономического сырья: минеральные соли, фосфатное сырье (апатиты и фосфориты), серное сырье, борное сырье.

3. Месторождения строительных материалов и сырья для их производства: глины и каолины, песок и гравий, карбонатные породы (известняки, мел, доломиты, мергели и др.).

При написании учебного пособия были использованы материалы учебников Н.И. Еремина «Неметаллические полезные ископаемые», выдержавшим два издания (1991 и 2004г.) и учебника, составленного коллективом авторов (А.Е. Корякин, П.А. Строна, Б.Н. Шаронов и др.), «Промышленные типы неметаллических полезных ископаемых».

Описания конкретных месторождений приводятся в изданном ранее учебном пособии для лабораторных занятий по геологии полезных ископаемых.

РАЗДЕЛ 1. ИНДУСТРИАЛЬНО-КАМНЕЦВЕТНОЕ СЫРЬЕ (МЕСТОРОЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ, ИХ АГРЕГАТОВ И СКРЫТОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ)

АЛМАЗЫ

Основные свойства

Алмаз (С) – минерал кубической сингонии, наиболее часто встречается в форме кристаллов (октаэдров и ромбододекаэдров) и агрегатов кристаллов, характеризуется высокой твердостью (10 по шкале Мооса). Оптические свойства его – это алмазный блеск и исключительная игра цветов, возникающая при разложении белого цвета. Алмаз нерастворим ни в кислотах, ни в щелочах, его плотность $3,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления $3200\text{-}4000^{\circ} \text{C}$, температура сгорания на воздухе $850\text{-}1000^{\circ}$, при нагревании до $1200\text{-}1500^{\circ} \text{C}$ без доступа воздуха переходит в графит. Окраска алмазов разнообразна: различают бесцветные кристаллы («чистой воды»), бесцветные с голубым, желтым, зеленым, розовым и другими оттенками и окрашенные – синие, красные, зеленые, желтые. В кристаллах алмазов встречаются твердые включения, примеси воды, водорода, углеводородов, углекислого газа, азота.

В метеоритах известна гексагональная разновидность алмаза - лонсдейлит, близкая к нему по свойствам. Гексагональная разновидность алмаза встречается и в трубках ударного типа.

Области применения

По промышленному использованию алмазы бывают ювелирными и техническими. К ювелирным алмазам относят достаточно крупные кристаллы совершенной формы, окраски, исключительной прозрачности, без трещин, включений, дефектов. Минимальный размер ювелирных алмазов 0,05 карат; крупными считаются камни более 10 карат, если масса превышает 50 карат, ему присваивается название. Крупные алмазы подвергают обработке с получением бриллиантов, при этом теряется более 50 % их массы. Самый крупный алмаз Куллинан (масса 3106 карат) был обнаружен в 1905 году в трубке Премьер (ЮАР). Из него было получено два крупных бриллианта: Звезда Африки (510,2 карат) и Куллинан-2 (317,4 карат) и 103 мелких. Внедрение лазерной техники огранки алмазов делает процесс огранки более экономичным. В общей массе алмазного сырья свыше 90 % приходится на долю технических алмазов, среди которых различают борт, баллас, карбонадо и конго. Борт – мелкие, неправильные кристаллы, сростки кристаллов. Баллас – шарообразные мелкозернистые агрегаты. Карбонадо – тонкозернистые, пористые агрегаты черного, серого или зеленоватого цветов. Конго – наиболее низкосортные мелкие алмазы.

Дефицит природных алмазов привел в 50 –х гг. минувшего столетия к появлению их синтетических аналогов, широкомасштабное производство которых налажено в США, России, ЮАР, Ирландии, Японии, Швеции, Бе-

лоруссии и в Китае. Существуют технологии получения синтетических алмазов с полупроводниковыми свойствами, такие алмазы сохраняют эти свойства до температуры 550⁰ С. Их уникальные характеристики позволяют рассматривать такие синтетические алмазы как новый материал для электроники XXI века.

Технические алмазы широко применяются в машиностроении, электронной, авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности. Они используются для изготовления резцов, сверл, подшипников, армирования буровых колонок, шлифовальных кругов, дисковых пил и др.

Запасы и добыча

Подавляющая часть запасов алмазов России (около 82 %) и практически вся добыча (почти 99,8 %) сосредоточены в республике Саха (Якутия). Добычные работы производятся горно-обогатительными комбинатами акционерной компании «АЛРОСА». Общая доля АК «АЛРОСА» в мировой алмазодобыче оценивается в 22-23 %. С 2000 года ведутся поисковые работы на перспективных площадях Архангельской и Мурманской областей. В 2005 году компания «АЛРОСА» начала вести добычные работы на месторождении им. М.В. Ломоносова в Архангельской области. Более 40 лет назад установлена алмазоносность Воронежской антеклизы при изучении титан-циркониевых россыпей. Коренными источниками могли служить графитсодержащие гнейсы, кимберлиты, эклогиты ВКМ, а также вулканогенные образования юго-восточной части Воронежской антеклизы. Обнаружены алмазы в коре выветривания железистых кварцитов Лебединского месторождения КМА. Многолетние исследования не привели к выявлению кимберлитовых тел, но показали принципиальную возможность их прогноза.

По официальным данным Министерства Финансов РФ Россия занимает первое место в мире по объему производства алмазов в физическом выражении (33 млн. карат в 2004 году: это 6,6 тонн), а по их стоимости – второе после Ботсваны. Всего в мире за год добывается около 150 млн. карат или 30 тонн. Основная часть добычи приходится на Россию, Ботсвану, ЮАР и Канаду. Однако по стоимости добытой продукции ранжировка этих стран иная: Ботсвана, Россия, ЮАР, Австралия, Заир. В настоящее время на 5-е место по стоимости добытых алмазов вышла Канада, на территории которой выявлено свыше 500 кимберлитовых трубок и даек. Россия сохраняет лидирующее положение на начало 2006 года.

Промышленные типы месторождений

Эндогенные месторождения

Магматические (раннемагматические) – формация алмазоносных кимберлитов и лампроитов. Образование алмазов связано с продуктами платформенного магматизма – кимберлитами (в настоящее время их известно более 3000, из них 10 % алмазоносны и только 2,5 % промышленные) и лампроитами. Эти породы выполняют трубки – конусообразные, суживающиеся вниз тела в плане округлой, эллипсоидной, реже более сложной формы, прослеживаемые на глубину до 2 км и более. В разрезе

трубок различают кратерную, диатремовую и канальную части (рис.1.). Площади выхода наиболее крупных из них достигают десятков и первых сотен гектаров. Самая крупная кимберлитовая трубка Мвадуи в Танзании достигает размеров на поверхности 2525 x 1068 м. Возраст большинства южноафриканских трубок – меловой, трубки района Претория (трубка Премьер и др.) имеют докембрийский возраст. На Сибирской платформе кимберлитовый магматизм проявился от позднего протерозоя до юры, кимберлиты и лампроиты Западной Австралии имеют возрастной диапазон от протерозоя до миоцена.

Кимберлиты представляют собой серпентинизированную и карбонатизированную ультраосновную породу повышенной щелочности (К преобладает над Na), имеющую порфировую либо кластически порфировидную структуру с вкрапленниками оливина, талька, флогопита, магнетита, ильменита, апатита и других минералов. Характерной особенностью кимберлитов является присутствие в них обломков вмещающих терригенных, карбонатных и трапповых пород чехла, метаморфизованных образований

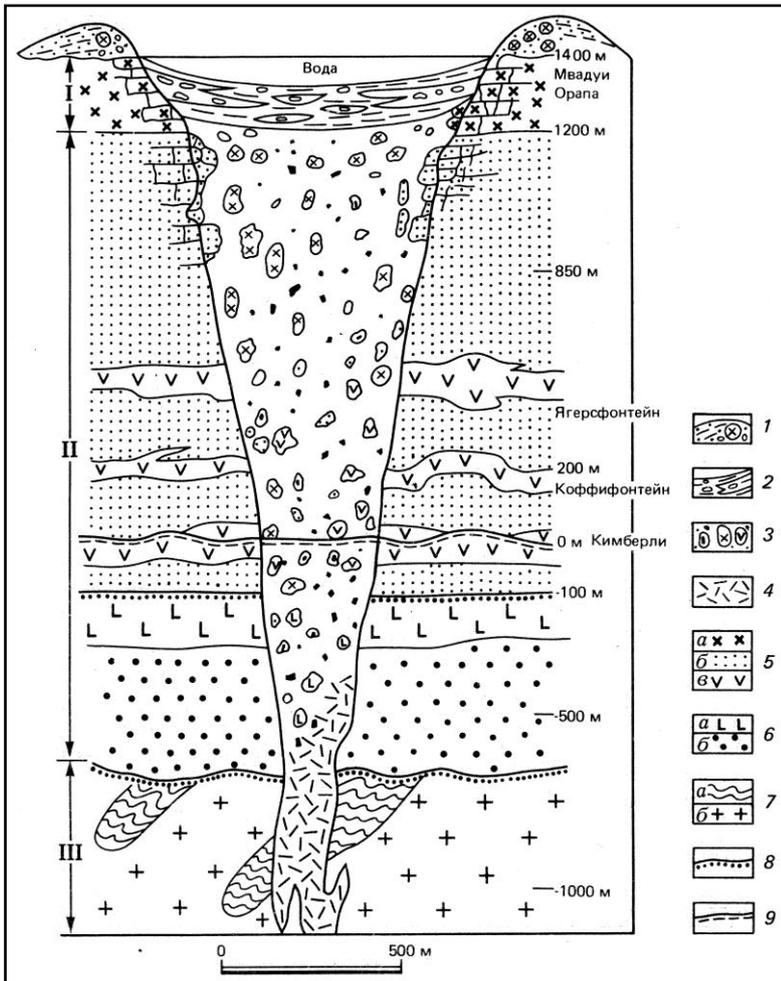


Рис. 1. Графическая модель южноафриканских кимберлитовых трубок (по Дж. Хаусону) с упрощением):

1 — туфы вулканического конуса; 2 — кратерные осадки; 3 — взрывные кимберлитовые брекчии (агломераты, туфы); 4 — интрузивные брекчии и кимберлиты; 5 — породы системы Карру (C₃—P—T): а — основные лавы, б — сланцы, песчаники, в — долериты; 6 — система Вентердорп (PR₁): а — андезитовые лавы, б — конгломераты, кварциты; 7 — Первичная система (AR): а — сланцы, б — гранитогнейсы; 8 — границы систем; 9 — современная поверхность трубок и силлов в поле Кимберли.

современная поверхность трубок и силлов в поле Кимберли. Части трубок: I — кратерная; II — диатремовая, III — канальная.

кристаллического фундамента, глубинных мантийных ксенолитов эклогитовой и перидотитовой магм. Типоморфными акцессорными минералами

кимберлитов являются пироп, хромшпинелиды, хромдиопсид, энстатит, пикроильменит и др. В лампроитах значительно повышается роль К и появляется лейцит.

Кимберлитовые и лампроитовые трубки обычно характеризуются гнездово-кластерным распределением, подчиненным зонам глубинных разломов и их пересечений. Очень богатые трубки содержат 3 – 4 карата алмазов на одну тонну породы. С глубиной содержание алмазов обычно снижается.

При выветривании в условиях теплого и влажного климата кимберлит разрушается, гидратируется, приобретает синевато-зеленую окраску («синяя земля»), первичная структура породы при этом сохраняется. Дальнейшее разрушение и окисление превращают его в землистую глиноподобную массу, окрашенную гидроокислами железа в желтый цвет («желтая земля»).

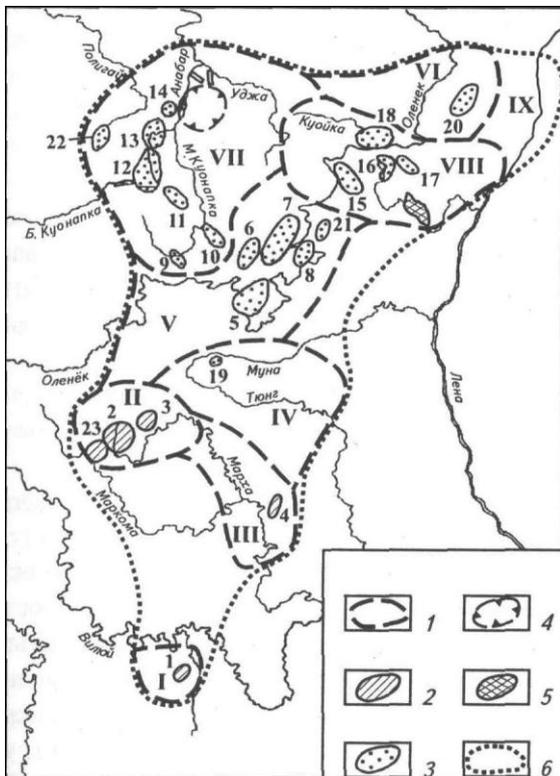


Рис. 2. Схема размещения алмазоносных районов, кимберлитовых полей и россыпей алмазов в Якутской алмазоносной субпровинции (по А.Д.Харькиву, Н.Н.Зинчуку, В.М.Зуеву):

1 - алмазоносные районы: **I** – Малоботуобинский, **II** – Далдыно-Алакитский, **III** – Среднемархинский, **IV** – Муно-Тюнгский, **V** – Среднеоленинский, **VI** – Нижнеоленинский, **VII** – Анабарский, **VIII** – Приленский; **2** – рудно-россыпные поля: **1** – Мирнинское, **2** – Алакитское, **3** – Далдынское, **4** – Накынское; **3** – кимберлитовые поля: **5** – Чомурдахское, **6** – Западно-Укукитское, **7** – Восточно-Укукитское, **8** – Огонер-Юряхское, **9** – Куранахское, **10** – Лучаканское, **11** – Дю-

кенское, **12** – Ары-Мастахское, **13** – Старореченское, **14** – Орто-Баргинское, **15** – Мерчимденское, **16** – Молодинское, **17** – Толуопское, **18** – Куойкское, **19** – Мунское; **20** – Хорбусуонское, **21** – Моторчунское, **22** – Анабарское; **23** – Моркокинское; **4** – россыпные поля (Эбеляхское); **5** – отдельные промышленные россыпи алмазов; **6** - границы Якутской алмазоносной субпровинции.

Проблема генезиса кимберлитов и лампроитов представляется следующим образом. Соответствующие магмы поступали из глубинных мантийных очагов, о чем свидетельствуют ксенолиты эклогитового и перидотитового слоев верхней мантии. Взрывной, многостадийный характер заполнения трубок магматическим материалом подчеркивается появлением в

них ксенолитов вмещающих пород кристаллического фундамента и других, морфологией и внутренним строением самих трубок и другими признаками.

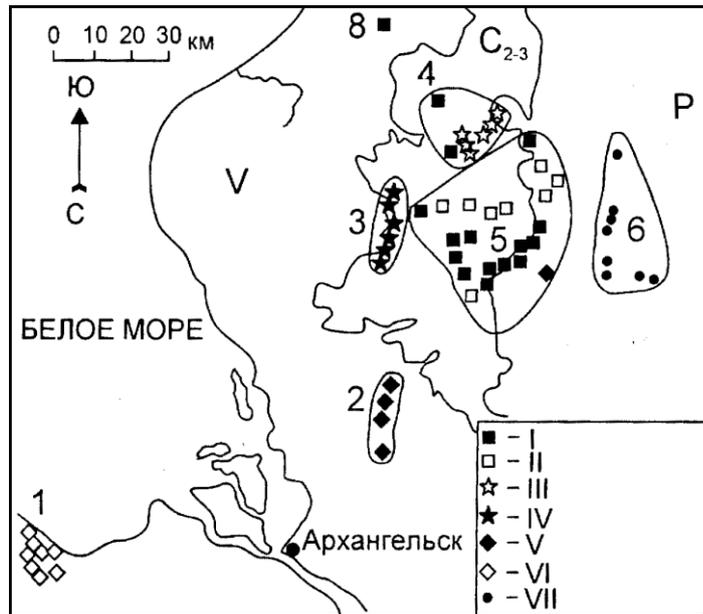


Рис. 3. Схема размещения основных видов и геохимических типов магматических пород Архангельской провинции (по О.А. Богатикову и др.). Поля магматизма: 1 – Нёнокское (Онежский п-ов); 2 – Ижмозерское; 3 – Золотицкое; 4 – Верхотинское; 5 – Кепинское; 6 – Турьинское; 7 – Полтинское; 8 – Пинежское. Типы пород: 1 – кимберлиты I группы; 2 – оливиновые мелилититы I группы; 3 – кимберлиты II группы; 4 – оливин-флогопитовые мелилититы II группы; 5 – оливиновые мелилититы II группы; 6 – оливин-пироксеновые мелилититы; 7 – толеитовые базальты.

флогопитовые мелилититы II группы; 5 – оливиновые мелилититы II группы; 6 – оливин-пироксеновые мелилититы; 7 – толеитовые базальты.

Вопрос об образовании самих алмазов в трубках решается неоднозначно. Большинство геологов связывают образование алмазов с мантийными условиями за счет углеводородов: $\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$. Ряд геологов считает, что кимберлиты формировались на глубине 3 – 5 км в промежуточных магматических камерах щелочно-ультраосновного вулканизма, а алмазы в них кристаллизовались за счет свободного углерода либо углекислоты.

Алмазоносные кимберлитовые трубки известны в Южной Африке (Премьер, Кимберли, Де-Бирс и другие в ЮАР, в Лесото, Ботсване, Танзании, Зимбабаве и др.), на Сибирской (Мир, Удачная, Зарница, Ботуобинская, Нюрбинская, Айхал и др. рис. 2.) и Восточно-Европейской (Архангельская, им.Ломоносова, Пионерская, Поморская, им.Карпинского, им.В. Гриба и др. рис. 3.) платформах. Они известны также в Анголе, Сьерра-Леоне, Бразилии, Индии и других странах. Лампроитовые трубки сравнительно недавно выявлены в Западной Австралии, ряд трубок (Аргайл и др.) разрабатывается.

Экзогенные месторождения

Россыпи. Высокая стойкость алмазов позволяет им накапливаться в россыпях различных генетических типов: элювиальных, делювиальных, аллювиальных и морских. Главнейшими являются современные аллювиальные и морские россыпи. В аллювиальных россыпях алмазы концентрируются в гравелитах и галечниках речного русла, поймы и террас, максимальные их концентрации фиксируются в приконтактной части залежей. Содержание алмазов снижается по мере удаления от коренных источников. Протяженность таких россыпей может достигать десятков километров,

ширина – десятков – первых сотен метров, мощность – несколько метров, средние содержания алмазов в них местами могут достигать десяти каратов и более.

Классическими районами современных аллювиальных россыпей являются россыпи Заира и Анголы, Зап. Африки (в Сьерра-Леоне, Гане, Гвинее, Мали, Либерии и др.), Бразилии (штат Минас-Жераис), россыпи Зап.Австралии, Ботубинская и Эбеляхская россыпи на Сибирской платформе (рис.4.).

Наиболее выдающимися в мире представителями морских россыпей являются россыпи Атлантического побережья Южной Африки (ЮАР и Намибия).

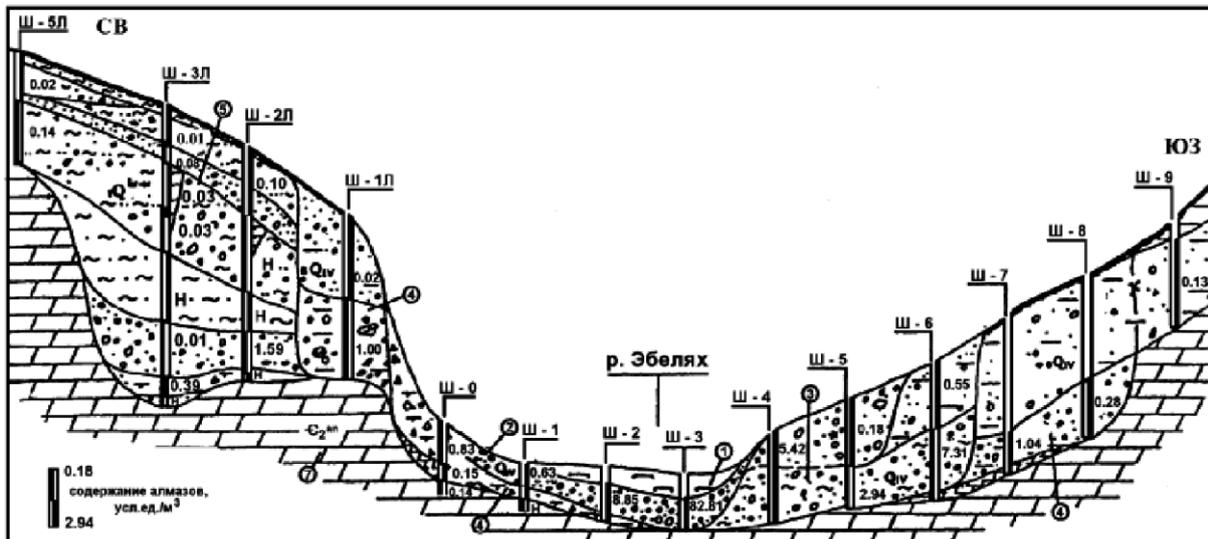


Рис. 4. Геологический разрез россыпи р.Эбелях по линии 252 (по С.А. Граханову). 1 – лед; 2 – русловой аллювий; 3 – аллювий низкой поймы; 4 – аллювий высокой поймы; 5 – аллювий первой надпойменной террасы; 6 – кора выветривания; 7 – доломиты.

Ископаемые россыпи самостоятельного значения обычно не имеют. Алмазы извлекаются при попутной добыче (золотоносные конгломераты Витватерсранд в ЮАР), однако ископаемые россыпи могут являться источниками алмазов для формирования современных россыпей.

КВАРЦ SiO_2 Общие сведения

Кварц является одним из самых распространенных и хорошо изученных минералов в земной коре.

Практическое использование жильного кварца связано с возможностью изготовления из него специальных стекол, характеризующихся прозрачностью, химической и термической стойкостью. В качестве пьезокварца применяется горный хрусталь и его окрашенные разновидности – лимонно-желтый цитрин, дымчатый кварц (раухтопаз), смоляно-черный мо-

рион. Масса большинства кристаллов 250 – 500г, встречаются кристаллы, масса которых достигает сотен килограммов, а иногда нескольких тонн. Промышленное значение имеет кварц, кристаллизующийся в тригональной сингонии. Различают правые и левые формы кристаллов кварца, которые обусловлены отсутствием плоскости и центра симметрии, вследствие чего у кристаллов образуются пьезоэлектрические свойства.

Области применения

Для производства прозрачного кварцевого стекла в настоящее время применяются следующие разновидности кварцевого сырья: кристаллы и обломки кристаллов горного хрусталя, прозрачный жильный кварц и метаморфизованный гранулированный кварц. Кварцевое стекло применяется в светотехнической, оптико-механической и других отраслях промышленности. Особо чистое стекло идет на изготовление высокотемпературных реакторов, оптических телескопов, тиглей для выращивания полупроводниковых монокристаллов; оно используется в радарных установках, быстродействующих ЭВМ и др. В оптике из кварца делают линзы, концентрирующие ультрафиолетовые лучи, призмы для спектрографов.

Прозрачные крупные кристаллы кварца встречаются редко. Те, из которых могут быть получены бездефектные монокристаллы определенных размеров, называются пьезооптическим кварцем. Если для оптических целей пригодны лишь прозрачные кристаллы (горный хрусталь), то для пьезотехнических целей возможно использование окрашенных разновидностей. Пьезооптический кварц применяется главным образом в радиотехнике, ультразвуковой технике и оптике. В радиотехнике пьезооптические пластины служат деталями стабилизаторов и частотных фильтров. В ультразвуковой технике пьезоэлементы применяются для изготовления различных приборов: эхолотов и пьезодатчиков.

В связи с тем, что потребность в пьезокварце не обеспечивается природным сырьем, во многих странах, в том числе и России, налажено производство синтетического кварца.

Требования к качеству сырья

В соответствии с требованиями промышленности можно выделить следующие виды кристаллического сырья: пьезокварц и оптический кварц. Наиболее высокие требования предъявляются к пьезооптическому сырью. Для пьезоизделий пригодны кристаллы, гальки, куски и обломки кварца, имеющие бездефектную поверхность – монокристалл, в котором отсутствуют включения минералов, пород, газа и жидкости. Кристаллы должны иметь совершенную решетку, лишённую двойников, включений, деформационных нарушений.

Основным качеством, которым должно обладать сырьё для получения оптического стекла, является его исключительная химическая чистота: содержание SiO_2 более 99,9 %, Al и Fe – менее тысячных долей процента, Mg и Ti – не более десятитысячных долей процента. Вредными являются все виды примесей.

Обзор ресурсов

Свыше 95 % добычи кристаллов пьезооптического кварца приходится на долю Бразилии, в последние десятилетия добыча составляет 7 – 4 т/год. Менее дефицитный жильный кварц добывается во многих странах. В 1971 году получено 1300 т. кварцевого стекла, в том числе в США – 650 т. США являются не только производителем кварцевого стекла, но и наиболее крупным его импортером. Импорт из Англии, Франции, Германии и Японии достигает 350 т. в год. Высококачественный кварц добывается во Франции, Австралии, Японии, Швейцарии и других странах. Разработка месторождений осуществляется в России, Китае, Германии. Масса кристаллов, полученных искусственным путем, значительно превышает продукцию природных источников. В США в 1981г было синтезировано около 300 т. кристаллов.

Промышленные типы месторождений

Среди промышленных типов пьезооптического кварца и кварца для плавки можно выделить следующие типы месторождений: пегматитовые, гидротермально-метаморфические, метаморфизованные и россыпные.

Эндогенные месторождения

Пегматиты. Пегматиты с полостями-занорышами, содержащими кристаллы дымчатого кварца или мориона, встречаются довольно часто, но часто оказываются непромышленными из-за низкого качества кристаллов или небольших масштабов минерализации. Известные крупные месторождения тесно связаны с гранитными интрузиями и расположены часто в зоне их внутреннего контакта.

Пегматитовые тела с кристаллами кварца и флюорита характеризуются изометричной формой, наличием хорошо развитого кварцевого ядра. Наиболее дифференцированные пегматитовые тела обычно являются самыми продуктивными.

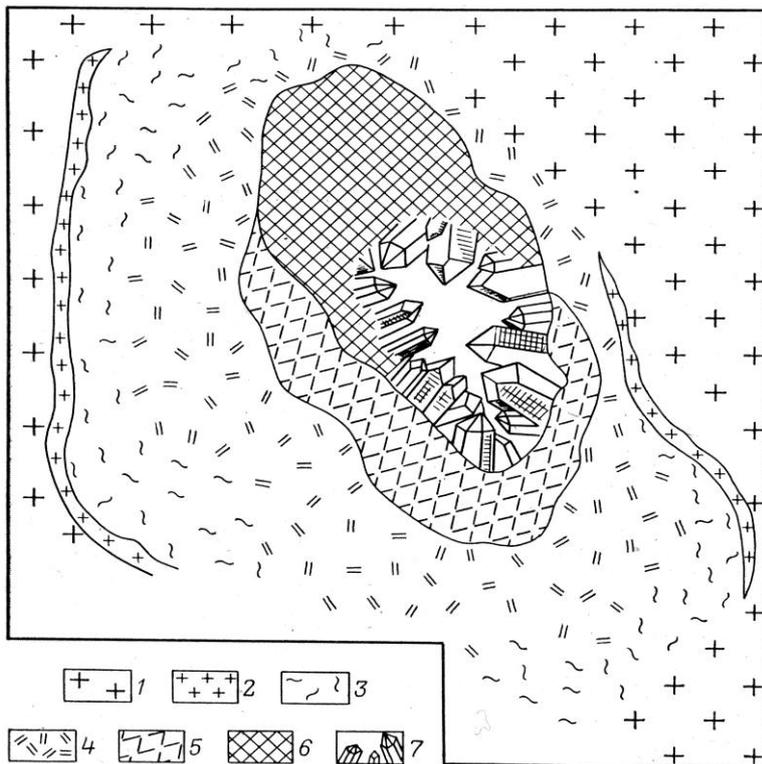


Рис. 5. Схематический разрез камерного пегматита. По Е. Я. Киевленко: 1 — гранит; 2 — аплитовая оторочка; 3 — графический пегматит; 4 — пегматоидная зона; 5 — микроклиновое кварцевое ядро; 6 — кварцевое ядро; 7 — полость с кристаллами мориона.

Скопления пьезооптических минералов приурочены к полостям. Полости содержат хорошо ограненные кристаллы кварца, флюорита, топаза и заполнены слюдисто-глинистыми образованиями (рис. 5.). Размеры полостей варьируют от мелких занорышей объемом в десятые и сотые доли кубического метра до крупных погребов или камер длиной 10 – 20 метров.

Главными минералами хрусталеносных пегматитов являются микроклин и кварц, в меньшей степени распространены альбит, олигоклаз и биотит. Из других минералов встречаются топаз, берилл, ортит, литиевые слюды и флюорит. Хрусталеносные пегматиты могут служить источником получения драгоценных камней.

Пьезокварц в пегматитах обычно представлен морионом. Масса отдельных кристаллов иногда достигает нескольких десятков тонн, а масса кондиционных кристаллов может быть до 1000 кг.

Месторождения хрусталеносных пегматитов известны в России (Карелия, Кольский полуостров, Урал, Мамско-Чуйский район в Сибири), на Украине, в Казахстане, а также в Бразилии, Индии, США и других странах.

Гидротермально-метаморфические. Этот тип является основным источником получения пьезокварца. Месторождения во многом отличаются от рудных месторождений. Особенностью их образования является взаимодействие гидротермальных растворов с боковыми породами, что объясняет их приуроченность к горным породам, богатым кремнеземом – кварцитам, кварцево – слюдистым сланцам, гранитоидам и др.

Месторождения представлены двумя морфогенетическими типами рудных тел: хрусталеносные кварцевые жилы и минерализованные трещины.

Хрусталеносные кварцевые жилы обычно пространственно связаны с массивами гранитоидов и располагаются в зоне их эндо- и экзоконтакта. Как правило, они группируются в жильные поля и жильные зоны, положение которых контролируется разрывными тектоническими нарушениями. Форма жил разнообразна. Наряду с простыми жилами нередко встречаются сложные ветвящиеся и пересекающиеся кварцевые жилы и прожилки (рис. 6.). Первоначальная форма значительно осложнена в результате перекристаллизации как кварцевого тела, так и вмещающих пород. Размеры могут быть значительными: длина по простиранию до 500 м при мощности от 15 до 30 м, но большинство кварцевых жил имеет небольшие размеры. Характерная особенность кварцевых жил – наличие в них значительного числа полостей, содержащих кристаллы кварца иногда очень больших размеров. Крупные полости объемом более 1м³ принято называть хрустальными погребками. Полости чаще всего расположены в зальбандах и на выклинивании кварцевых жил, а также в местах пересечения трещин и ответвления апофиз.

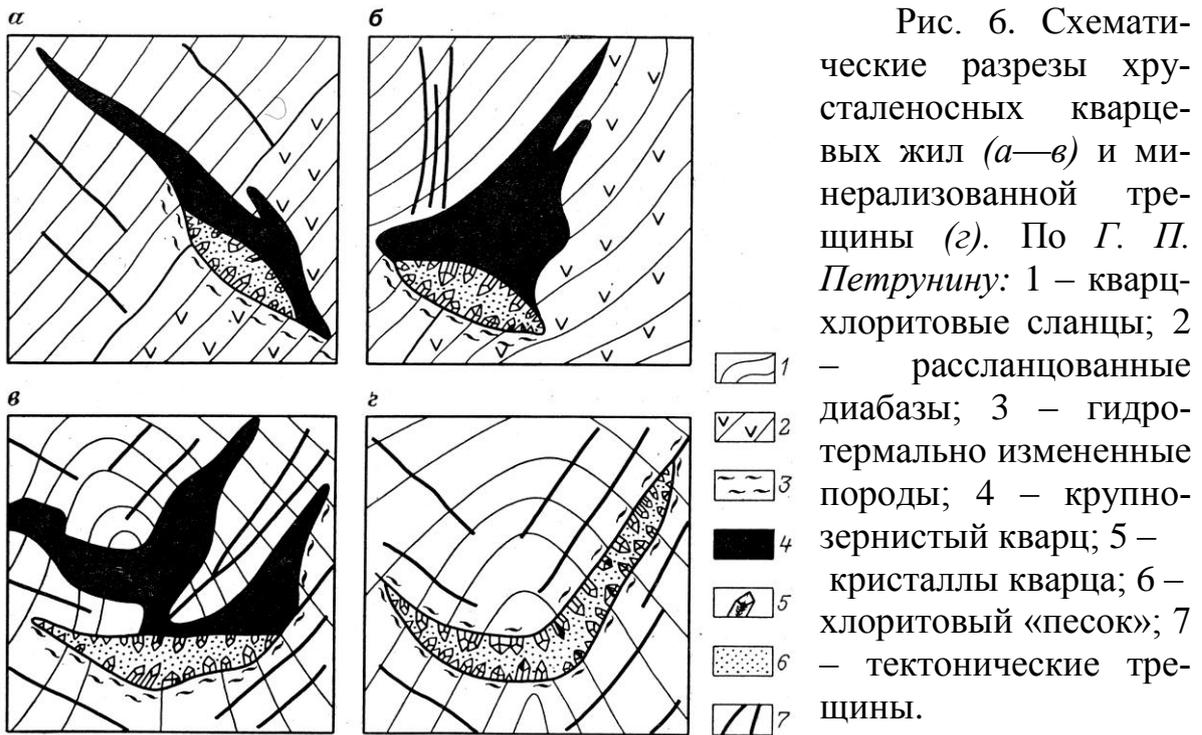


Рис. 6. Схематические разрезы хрусталеносных кварцевых жил (а—в) и минерализованной трещины (г). По Г. П. Петрунину: 1 – кварц-хлоритовые сланцы; 2 – рассланцованные диабазы; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – крупнозернистый кварц; 5 – кристаллы кварца; 6 – хлоритовый «песок»; 7 – тектонические трещины.

Кварцевые жилы имеют очень простой минеральный состав. В основном они бывают почти мономинеральными кварцевыми, иногда помимо кристаллов кварца в жилах встречаются альбит, карбонаты, рутил, брукит, анатаз, турмалин и другие минералы. Жильные кварц имеет средне- и крупнозернистую, шестоватую, иногда друзовую структуру.

Гидротермальные изменения боковых пород заключаются в их серицитизации и хлоритизации, реже в эпидотизации, альбитизации и карбонатизации.

Пьезокварц на месторождениях данного типа представлен горным хрусталем и дымчатым кварцем. Размеры кристаллов самые различные; масса наиболее крупных достигает десятков и даже сотен килограммов.

Хрусталеносные минерализованные трещины представляют собой разновидность хрустальных гнезд, залегающих обособленно от кварцевых жил, непосредственно во вмещающих породах. Они часто приурочены к зальбандам даек кварцевых порфиров, гранит-порфиров, диабазов.

Минерализованные трещины содержат хорошо сформированные кристаллы и друзы горного хрусталя, дымчатого кварца, мориона, цитрина и аметиста. Кристаллы кварца являются главными, они сопровождаются турмалином, рутилом, кальцитом, флюоритом, альбитом, адуляром, цеолитами и др. Характерная особенность минерализованных трещин – формирование как отдельных кристаллов, так и друз горного хрусталя на стенках открытой полости (рис. 6.).

Месторождения горного хрусталя известны в России (Полярный и Южный Урал, Алдан), в Таджикистане, Казахстане, а также в Монголии,

Китае и других странах. Классическими и крупнейшими являются месторождения Бразилии. Генезис этих месторождений связывают с тектонометаморфической активизацией.

Метаморфизованные месторождения образуются при метаморфизме первичных кварцевых жил. Наиболее высокие концентрации жил гранулированного кварца связаны с глубоко метаморфизованными комплексами пород в протерозойских складчатых областях – с так называемым гнейсо-мигматитовым комплексом. Большинство месторождений гранулированного кварца расположено в довольно узкой приконтактной зоне гнейсового ядра и сланцевого обрамления. Под влиянием регионального метаморфизма происходила грануляция жильного кварца и очищение его от примесей. Тела гранулированного кварца формируют крупные жильные поля или линейные зоны, согласные с общим простиранием вмещающих горных пород, но нередко секущих их по падению. Размеры рудных тел изменяются в широких пределах: по простиранию от 5 до 20 метров, а мощностью от нескольких сантиметров до 3 метров. Форма тел обычно простая: линзы и плитообразные жилы.

Гранулированный кварц отличается повышенной химической чистотой и максимальным светопропусканием. В настоящее время – это основной источник получения плавленного кварцевого стекла. Примером являются месторождения Урала (Кыштымское, Маукское, Ларинское, Кузнецихинское и др.).

Экзогенные месторождения

Россыпные месторождения кристаллов кварца и их обломков распространены довольно широко. Они расположены вблизи от коренного источника и представлены элювиальными и делювиальными типами, в большинстве случаев связанными постепенными переходами. При формировании россыпей происходит их естественное обогащение высококачественными кристаллами, так как они меньше поддаются разрушению.

Промышленные хрусталеносные россыпи широко развиты на восточном склоне Южного Урала, на Украине. Примером зарубежных месторождений являются россыпи Бразилии.

ИСЛАНДСКИЙ ШПАТ $\text{Ca}[\text{CO}_3]$

Свойства и области применения

Исландский шпат – прозрачная разновидность кальцита тригональной сингонии, встречается в виде кристаллов или сростков кристаллов, которые в зависимости от примесей окрашены в желтый, розовый, бурый и другие цвета. Исландский шпат, кристаллы которого лишены трещин, включений и являются оптически однородными, относится к оптическому. Использование его в оптической промышленности основано на оптической однородности, очень высоком дупреломлении, прозрачности и проницаемости для ультрафиолетовых и видимых лучей света. Исландский шпат применяется в оптической физике, геологии, химии, биологии, медицине, электронно-вычислительной технике, космонавтике, технике связи. Сотни оптических приборов нуждаются в кристаллах оптического исландского

шпата - поляризационные микроскопы, полярометры, спектрофотометры, сахариметры и др.

Требования к качеству сырья

На качество кристаллов исландского шпата влияют различные дефекты, возникающие как в процессе роста кристаллов, так и после его завершения. Серьезным дефектом являются свили в кристаллах — это неоднородности, обусловленные различием показателей преломления смежных зон или пирамид роста граней, ребер и вершин. Влияют на выход оптического сырья включения, чаще других отмечаются цеолиты, халцедон, хлориты, сульфиды, включения минералообразующих растворов, наличие двойников. К вторичным включениям относятся часто наблюдаемые залеченные трещины. На сортность кристаллов существенное влияние оказывают их размеры.

Стандартным сырьем исландского шпата являются пластины, блоки и спайные ромбоэдры. Минимальная доля бездефектного оптически пригодного материала в пластинах и блоках должна превышать 20 %, а в ромбоэдрах — 50 %. Размер бездефектной области должен быть 10x10x10 мм, минимальные размеры ромбоэдров 29x29x9 и 18x18x14 мм.

Промышленные типы месторождений

Эндогенные месторождения

Гидротермальные (вулканогенные) низкотемпературные месторождения. Месторождения находятся на древних платформах и связаны с породами трапповых формаций. Они могут быть приурочены к базальтовым покровам, к пластам и линзам туфогенных пород, к рвущим телам долеритов. Исландский шпат ассоциирует с цеолитами, анальцимом, халцедоном и монтмориллонитом.

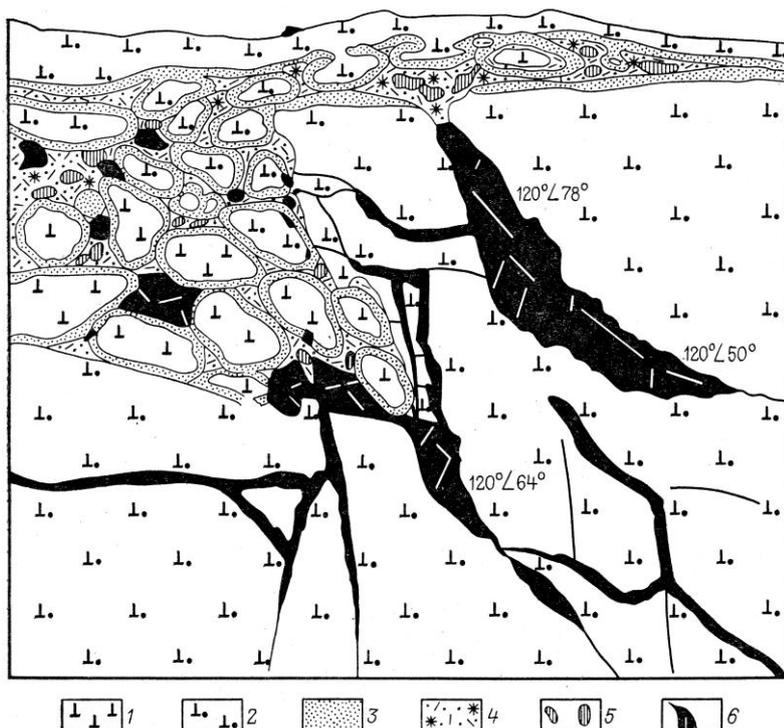


Рис. 7. Скопления исландского шпата в клиновидных трещинах миндалекаменных базальтов и в перекрывающих их шаровых лавах. По М. С. Васильевой:

1—2 — базальт: 1 — плотный, 2 — миндалекаменный; 3 — мандельштейн; 4 — дресва шаровых лав с морденитом, халцедоном, кальцитом; 5 — выделения халцедона; 6 — блоковый кальцит и кристаллы исландского шпата.

Выделяют три главных геолого-промышленных типа месторождений. Главный тип представлен шпатоносными телами в базальтовых покровах. Они локализуются в структурах коробления миндалекаменных базальтов (трещинный тип) или в горизонтах и линзах шаровых лав. Исландский шпат образует гнезда в межшаровых пустотах, а также выполняет клиновидные и неправильные трещины в мандельштейнах и миндалекаменных базальтах (рис. 7.). Залежи имеют протяженность до 1 км при мощности в первые метры. Исландский шпат – высокого и среднего качества. Масса уникальных кристаллов достигает 300 кг.

Второй геолого-промышленный тип - шпатоносные тела в туфогенных породах, они связаны с зонами дробления, достигают протяженности 400 – 500 м при мощности 2 – 10 м. Качество кристаллов невысокое обычно из-за присутствия в них включений.

Третий геолого-промышленный тип представлен шпатоносными телами, связанными с рвуцами интрузиями долеритов, они контролируются зонами разломов. Тела имеют протяженность до 300 м при мощности до 10 м. Качество кристаллов низкое. Иногда в трещиноватых и брекчированных апикальных частях долеритовых тел могут появляться богатые шпатоносные тела с высококачественными кристаллами.

Классическим примером вулканогенно-гидротермальных месторождений исландского шпата являются многочисленные месторождения Сибирской платформы, известны на Тимане, за рубежом в ЮАР, (среди траппов Карру) в Индии.

Гидротермальные (телетермальные) месторождения имеют резко подчиненное значение, они представлены сериями мелких кальцитовых жил в разломах и карстовых полостях среди карбонатных пород. Кристаллы часто замутненные и белые, размеры могут достигать десятков сантиметров.

СЛЮДЫ

Общие сведения

Слюды представлены многочисленными минералами группы алюмосиликатов, из которых практическое значение имеют мусковит и флогопит, редко в небольших количествах биотит. В промышленности используются листовая слюда (наиболее ценная) и мелкочешуйчатая слюда (ее получают как отходы при переработке листовой слюды или редко при разработке некоторых месторождений).

Свойства и области применения

Слюды характеризуются высоким удельным сопротивлением, способностью расщепляться на тончайшие листки, механической прочностью, химической стойкостью и способностью сохранять эти свойства при высоких температурах (до 800⁰ С). Качество слюды помимо этого определяется также размерами кристаллов, отсутствием в них дефектов. Свойства слюды снижаются при наличии природных дефектов ее кристаллов: волнистости и морщинистости, зажимистости, трещиноватости, пятнистости, присутствия газово-жидких включений.

Помимо собственно слюд большое промышленное значение имеет гидрослюда – вермикулит. Главным промышленным свойством вермикулита является его способность интенсивно вспучиваться при нагревании свыше 200°C с увеличением объема в 8 – 12 раз (предельно в 30 раз). Этот процесс заканчивается при температуре $800\text{-}1000^{\circ}\text{C}$.

Кристаллы слюды, отделенные от горной массы, с размерами пластин не менее 4 см^2 называются забойным сырцом. После очистки забойного сырца от поверхностных загрязнений получают промышленный сырец – кристаллы любой толщины, имеющие полезную площадь не менее 3 см^2 . Выход промышленного сырца от забойного обычно составляет 30 – 50 %. Слюда, которую перед употреблением раскалывают на пластины или подвергают щипке, принято называть листовой. Мелкая слюда как отходы производства листовой слюды называется скрапом.

Главные области применения слюд – электротехника, радиотехника, электроника, телетехника (85 – 90 %). В меньшем количестве (около 10 %) слюда используется в качестве вставок в окна плавильных печей, бытовых приборов, в очках. Отходы производства – слюдяной скрап и мелкочешуйчатая слюда используются при изготовлении кровельных материалов, обоев, особых сортов бумаги.

Вспученный вермикулит является прекрасным тепло- и звукоизолятором, неплохим огнеупором, химически стоек и обладает малой плотностью. Он широко используется в строительстве как наполнитель звуко- и теплоизоляционных штукатурок и легких бетонов, очистки промышленных вод и улавливания газов, наполнителя картона и бумаги, пластмасс, резины, красок и лаков, удобрений и ядохимикатов. Он добавляется в почву для улучшения ее структуры и аэрационных свойств.

Требования к качеству руд

Кондиции по содержанию отличаются для разных типов месторождений, но в среднем для мусковита составляют первые десятки, а для флогопита – десятки и сотни $\text{кг}/\text{м}^3$.

Обзор ресурсов

Максимум мирового производства слюдяной продукции (363 тыс.т.) пришелся на 1990 год. Основная причина спада производства – развал СССР, являвшегося мировым лидером по производству слюды. Около 90 % мирового производства слюды приходится на мусковит и около 10 % на флогопит. Высококачественная слюда производится главным образом в Индии, а также в Бразилии, Аргентине, Малагасийской республике (мусковит), листовой флогопит в Канаде и Малагасийской республике. Крупнейшим производителем скрапа является США (125 тыс. т/год). В России добыча листовой слюды и скрапа производится в Мамско-Чуйском, Гута-Бирюсинском и Карело-Кольском районах (мусковит), Ковдорском и Алданском месторождениях (флогопит).

Мировая добыча вермикулита находится на уровне 500 тыс.т. Основные производители – США и ЮАР, на которые приходится более 80 %

мировой добычи. Остальная часть приходится на долю Бразилии, Аргентины, Индии, Кении, Египта и других стран.

Дефицит природной листовой слюды привел к промышленному синтезу ее в отдельных странах, в том числе в России.

Мусковит $KAL_2(OH,F)_2[ALSi_3O_{10}]$

Промышленные типы месторождений

Эндогенные месторождения

Пегматитовые месторождения (формация мусковитоносных гранитных пегматитов) – единственный промышленный источник листового мусковита. Промышленные месторождения известны в районах развития докембрийских метаморфических толщ, располагаются вне гранитоидных интрузий. Это наиболее глубинные месторождения (образуются на глубине 6 – 8 км в условиях амфиболитовой фации метаморфизма). Гранитные пегматиты по составу плагиоклазовые и плагиоклаз-микроклиновые, обычно зональные. Пегматитовые тела образуют пегматитовые поля, которые объединяются в провинции, протяженность может достигать первых сотен километров при ширине 10 – 20 км. Морфология пегматитовых тел разнообразна: жилы, линзы, штоки, неправильные ветвящиеся тела согласные и секущие (рис. 8.). Размеры жил достигают сотен метров в длину при мощности от метров до первых десятков метров.

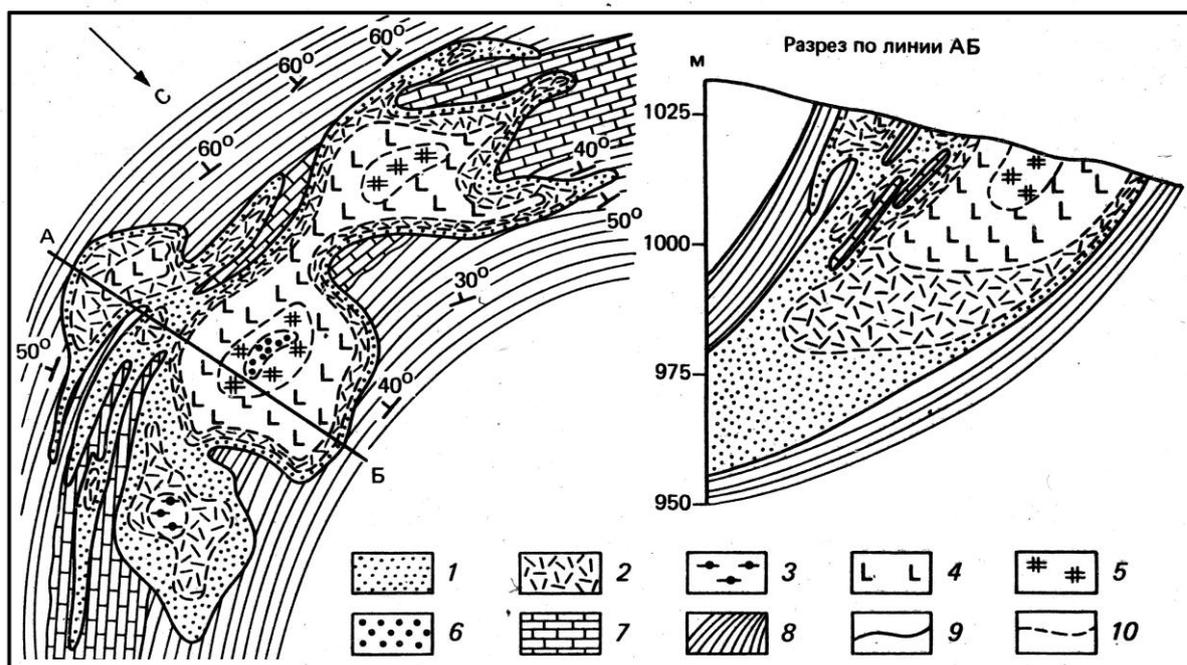


Рис. 8. Схема геологического строения пегматитовой жилы месторождения Луговка (по А. Г. Бушуеву и О. В. Казадаевой):

1 — пегматит мелкозернистый гранитовидный; 2 — пегматит крупнозернистый; 3 — блоковый плагиоклаз; 4 — пегматит графической структуры; 5 — блоковый микроклин; 6 — кварцевое ядро; 7 — известково-силикатные кристаллические породы (скарноиды); 8 — биотитовые гнейсы; 9 — контакты пегматитового тела; 10 — границы минеральных зон.

Мусковит может быть равномерно рассеян в пегматитах, а может концентрироваться в отдельных зонах. Состав пегматитов относительно прост: преобладают плагиоклазы, кварц, микроклин, мусковит, биотит. В некоторых районах наряду с мусковитом встречаются редкометальные минералы, в таком случае качество мусковита обычно ухудшается. Мусковитоносность и качество слюды в значительной степени зависит от состава вмещающих пород: наиболее благоприятными являются высокоглиноземистые метаморфические породы (дистеновые, дистен-гранатовые кристаллические сланцы и гнейсы).

Пегматитовые месторождения часто являются комплексными, попутно добываются керамическое сырье (полевой шпат), графический пегматит и кварц (месторождения Мамско-Чуйской и Карело-Кольской провинции в России, Бихар в Индии, где извлекается небольшое количество урана, Бразилии, Зимбабве и других стран). Мусковит-редкометальные месторождения являются объектом комплексной обработки, но качество и запасы мусковита в них низкое.

Флогопит $\text{KMg}_3(\text{OH},\text{F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

Промышленные типы месторождений

Эндогенные месторождения

Карбонатитовые месторождения – основной источник флогопита: месторождения характеризуются большими запасами, высокими содержаниями, но качество слюд более низкое по сравнению со скарновыми месторождениями.

Карбонатитоносные щелочно-ультраосновные комплексы приурочены к положительным структурным элементам платформ. Их положение контролируется глубинными разломами и узлами их пересечений. Возраст их – от протерозойского до кайнозойского. Внутреннее строение карбонатитоносных комплексов характеризуется отчетливой концентрической зональностью. Карбонатиты слагают штокообразные тела, дайки, сложные метасоматические тела, размещение которых также подчиняется общим концентрическим или радиальным структурным планам.

Флогопит возникает при воздействии щелочных растворов на магниево-силикатные породы, которое может происходить на разных стадиях формирования щелочно-ультраосновных комплексов, в связи с этим выделяется ряд генераций флогопита (рис. 9.).

1. Флогопит-нефелин-пироксеновые породы. Флогопитоносные тела мелкие, но с очень высоким содержанием флогопита и крупными кристаллами.

2. Флогопит-пироксеновые породы. Рудные тела представлены крупными жилами и гнездами с магнетитом, апатитом, перовскитом.

3. Флогопит-диопсид-мелилитовые породы. Крупнейшие тела с большими запасами и высокими содержаниями флогопита, но при низком его качестве.

4. Форстерит-диопсид-флогопитовые породы с магнетитом и апатитом.

5. Пироксен-гранатовые жильные тела с флогопитом.

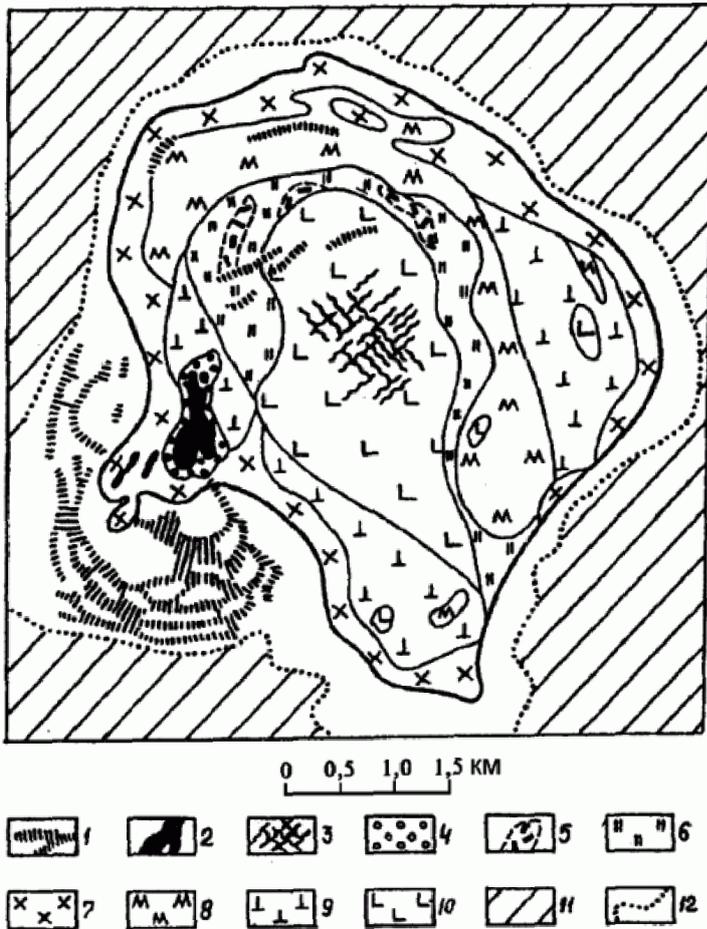


Рис. 9. Геологическая схема Ковдорского массива (по В.И. Терновому, Б.В. Афанасьеву, Б.И. Сулимову и др.):

1 – кальцитовые карбонатиты; 2 – апатитовые и апатит-магнетитовые руды; 3 – форстерит-магнетитовые руды; 4 – апатит-форстеритовые руды; 5 – флогопитовые метасоматиты; 6 – флогопит-диопсид-форстеритовые породы; 7 – ийолиты, мельтейгиты; 8 – турьяиты, мелилититы; 9 – якупирангиты, пироксениты; 10 – оливиниты; 11 – гнейсы и гнейсо-граниты; 12 – ореол фенитизации.

Наиболее важные по масштабам и качеству сырья скопления флогопита возникают до начала собственно карбонатитовых стадий процесса, после формирования щелочных пород, за счет метасоматического замещения флогопитом гигантозернистых разновидностей гипербазитов.

Размещение флогопитоносных тел определяется двумя факторами: структурным (зоны повышенной проницаемости) и литологическим (сочетание магнезиальных и алюмосиликатных пород). Так, основное рудное тело приурочено к зоне трещиноватости на контакте гипербазитов и щелочных пород (рис. 10.). Выход забойного сырца 400-500 кг/м³, иногда 1000 кг/м³, а промышленного сырца 25-30 % по отношению к забойному сырцу.

Карбонатитовые месторождения являются комплексными: они характеризуются сочетанием металлических компонентов (Fe, Ti, Nb, Zr, TR) и неметаллических (флогопит, апатит, вермикулит, флюорит, карбонатные породы), но эти компоненты формируются на разных стадиях процесса. Однако чем больше стадий и чем они разнообразнее, тем хуже качество флогопита, так как сказывается влияние наложенных факторов.

В России изучено два района флогопитоносных карбонатитов: на севере Сибирской платформы (Гулинское месторождение, Одихинча и др.) и Карело-Кольский (Ковдор и др.). На Ковдорском месторождении помимо флогопита добывают вермикулит, магнетит, апатит и бадделейт.

Вермикулит образуется в результате гипергенной гидратации флогопита и биотита при формировании коры выветривания.

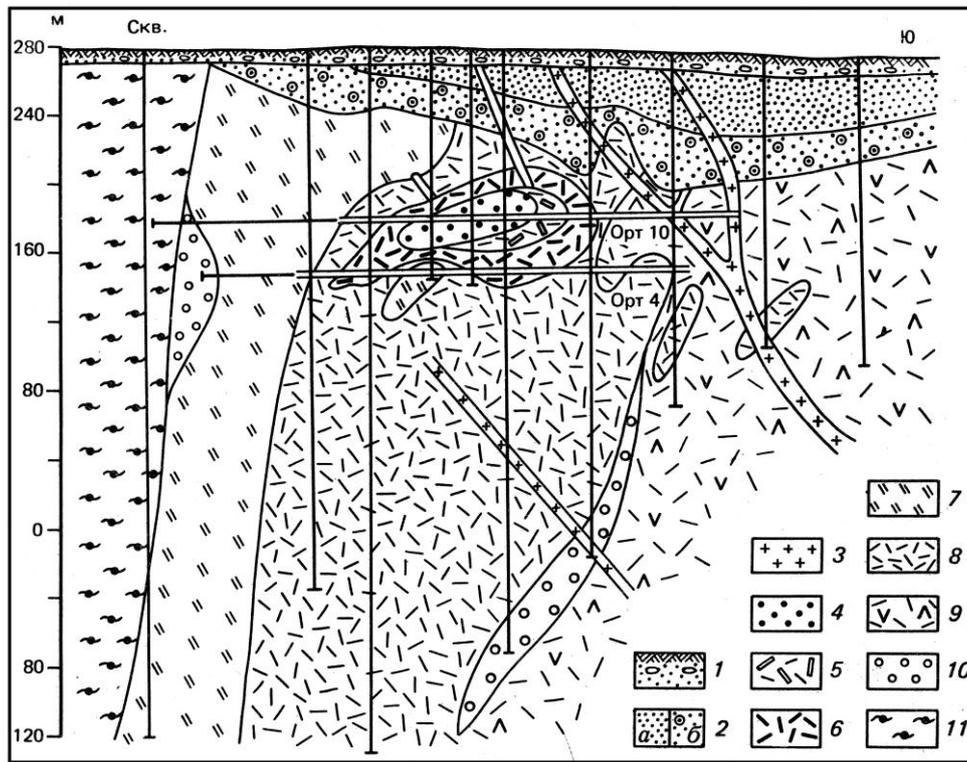


Рис. 10. Геологический разрез через Главную флогопитовую залежь Ковдорского месторождения (по Б.В. Афанасьеву и Б.И. Сулимову):

1 — четвертичные отложения; 2 — кора выветривания слюдоносных пород (*a* — вермикулитовая, *б* — гидрофлогопитовая зоны); 3 — дайки полевошпатовых ийолитов; 4 — оливиновые породы с флогопитом, гигантозернистые; 5 — флогопит-оливиновые породы, гигантозернистые; 6 — флогопит-диопсидовые породы, гигантозернистые с оливином; 7 — флогопит-диопсид-оливиновые породы мелко-и среднезернистые; 8 — флогопит-диопсид-оливиновые породы крупнозернистые; 9 — флогопитизированные и диопсидизированные оливиниты; 10 — мелилитовые породы; 11 — гранатые скарны.

Метаморфогенные месторождения

Метаморфогенные месторождения флогопита в скарнах и скарноподобных породах известны только в докембрийских образованиях. Месторождения приурочены к метаморфическим магнезиальным породам (диопсидовые кристаллические сланцы, кальцифиры, мраморизованные доломиты и др.), переслаивающимся с гнейсами и прорванными гранитоидными интрузиями. Породы метаморфизованы в условиях гранулитовой фации метаморфизма. Флогопитоносные тела образуются позднее, в условиях регрессивной амфиболитовой фации метаморфизма. Протяженность залежей десятки — первые сотни метров, мощность метры — десятки метров (месторождения Алданской — Куранах и др. и Памирской слюдоносных провинций). Подобные месторождения отличаются от карбонатитовых значи-

тельно меньшими запасами и сравнительно низкими содержаниями, но отчасти это компенсируется более высоким качеством флогопита.

Источниками мелкочешуйчатой слюды служат месторождения всех перечисленных типов, где она добывается попутно. Кроме того, мелкочешуйчатые слюды, широко распространенные как породообразующие минералы, могут быть получены и из других источников, в частности из слюдистых сланцев (месторождение Сирус Пайн, США).

Вермикулит образует пластовые, линзовидные, гнездо- и штокообразные залежи. Они залегают в коре выветривания массивов ультраосновных (пироксенитов) и ультраосновных-щелочных пород и развиваются за счет промышленной флогопитовой минерализации (месторождение Ковдор в России, Либби в США, в ЮАР и др.).

АСБЕСТ

Общие сведения

Термин «асбест» объединяет различные по составу и свойствам минералы, обладающие способностью разделяться на тонкие волокна, которые отличаются высокой прочностью, эластичностью и прядильными свойствами, термостойкостью, кислото- и щелочностойкостью. Наиболее широко распространенный в природе и наиболее важный в промышленном отношении хризотил-асбест является моноклинной волокнистой разновидностью серпентина. В природе хризотил-асбест встречается в агрегатах трех типов: поперечно и косоволокнистых, продольноволокнистых и спутанно-волокнистых. Наиболее распространены волокна длиной 2 – 5 мм, более крупные 20 – 30 мм встречаются редко и исключительно редко волокна имеют размеры более 100 мм.

Свойства и области применения

Важным свойством хризотил-асбеста, определяющим его промышленную ценность, является высокая механическая прочность, низкая электропроводность, высокая термостойкость, хорошие сорбционные свойства. Помимо этих свойств промышленная ценность хризотил-асбеста определяется длиной волокна. Основное количество асбеста (около 60 %) идет на производство всевозможных асбоцементных изделий (трубы, кровельная плитка, шифер) как заполнитель при производстве асфальта и бетона. Хризотил, не содержащий железа, является электроизолятором и используется в промышленности. Лучшие сорта применяются в текстильной промышленности. Наиболее качественное волокно идет на изготовление фильтров. Низкосортный коротковолокнистый асбест используется в черной металлургии как связующий материал при производстве окатышей.

Обзор ресурсов

Более 70 % асбестового волокна получают в России и Канаде, на территории которых находятся главнейшие месторождения. Максимальное производство асбеста в мире пришлось на 1977 год (почти 5,5 млн.т. волокна), в том числе в СССР более 2,5 млн.т. и в Канаде – свыше 1,5 млн.т. С начала 80 – х гг. минувшего столетия вследствие экологических причин производство асбеста стало падать (в 1998 году оно составило всего 2

млн.т.). Ведущими продуцентами асбеста являются Россия, Канада, КНР, Бразилия, Зимбабве, Казахстан, ЮАР. Запасы асбеста около 80 млн.т., доля хризотил-асбеста превышает 95 %.

Промышленные типы месторождений

Гидротермально-метаморфические месторождения хризотил-асбеста пространственно связаны с серпентинитами и метаморфизованными магнезиальными карбонатными породами. Наиболее крупные промышленные образования принадлежат к типу апоультрамафитовому, в составе которого по строению жил и их взаимному расположению выделяются три подтипа: баженовский, лабинский и карачаевский.

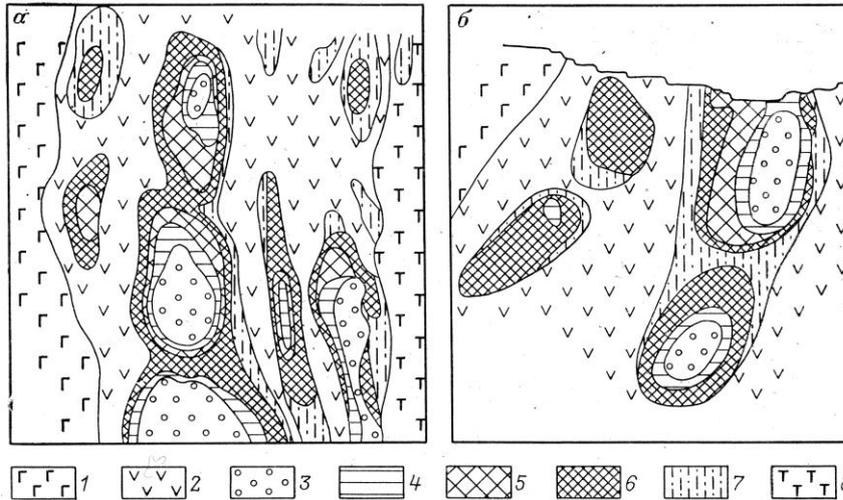


Рис. 11. Схематическая геологическая карта (а) и поперечный разрез (б) одного из участков Баженовского месторождения хризотил-асбеста. По В. Ф. Дыбкову и М. М. Трапезниковой:

1 — габбро; 2 — серпентиниты; 3 — перидотиты; 4 — перидотиты с отороченными жилами хризотил-асбеста; 5 — перидотиты и серпентиниты с асбестоносностью типа крупной сетки; 6 — серпентиниты с асбестоносностью типа мелкой сетки и «мелкопрожила»; 7 — серпентиниты с просечками асбеста; 8 — оталькованные серпентиниты.

Асбестоносные залежи месторождений баженовского подтипа представляют собой крупные (до 600 м) крутопадающие тела, вытянутые на значительные (до 4500 м) расстояния; они характеризуются концентрически-зональным строением, обусловленным различными типами асбестоносных просечек, мелких прожилков, простых и сложных отороченных жил (рис. 12.).

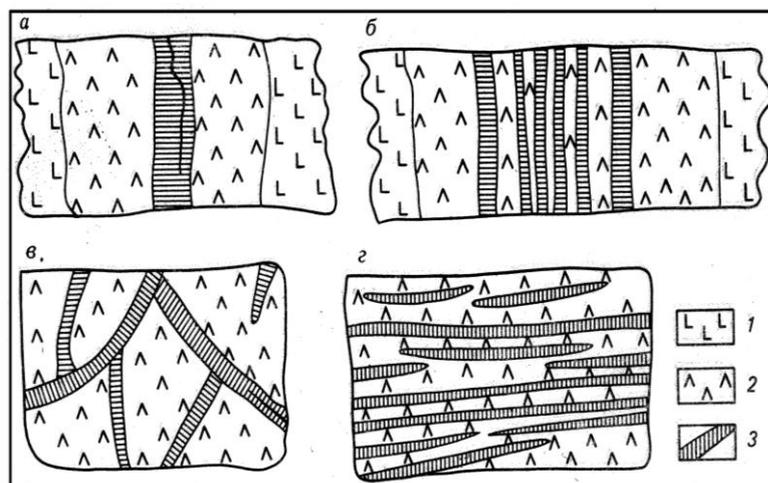


Рис. 12. Типы жилкования хризотил-асбеста (текстуры): а — простая отороченная жила, в центре жилы видна просечка; б — сложная отороченная жила; в — руда типа мелкой сетки; г — руда мелкопрожилковая. 1 — гарцбургит, 2 — серпентинит, 3 — жилки хризотил-асбеста.

Простые отороченные жилы сложены чистым поперечно волокнистым асбестом. По обеим сторонам жил располагаются полосы (оторочки) массивного серпентинита, затем полосы серпентинизированного ультрамафита и, наконец, они сменяются слабо серпентинизированным перидотитом или дунитом. Простые жилы содержат асбестовое волокно наибольшей длины (до 60 мм). Сложные отороченные жилы представлены сериями параллельных жилок асбеста, разделенных промежутками массивного серпентинита. Длина волокна здесь меньше, но общее содержание асбеста достигает 10 %. Зоны развития жил так называемой «крупной сетки» состоят из серии коротких, беспорядочно ориентированных жилок асбеста, в междужильных блоках сохранились небольшие участки гипербазитов. Далее к периферии залежей наблюдается «мелкая сетка» в нацело серпентинизированных участках основной породы. Среди серпентинитов кроме этого встречается асбестоносность типа «мелкопрожил», промышленного значения она не имеет.

Степень асбестоносности гипербазитов зависит от их петрографических особенностей, а также характера дорудной серпентинизации. Установлено, что максимально асбестоносны гарцбургиты, тогда как аподунитовые серпентиниты, как правило, не несут промышленного оруденения.

Образование хризотил-асбеста в серпентинизированных массивах ультрамафитов связано с гидротермальными растворами, природа которых является дискуссионной. По мнению одних исследователей, процессы серпентинизации и асбестообразования обусловлены воздействием гидротермальных растворов собственно ультраосновной магмы, т.е. автотермоморфическими. Другие полагают, что серпентинизация и сопровождающая ее хризотил-асбестовая минерализация являются продуктами более молодых гидротерм, источником которых являются гранитоидные интрузии, наложившиеся на уже частично серпентинизированные тела ультрамафитов.

К рассматриваемому подтипу относятся все крупные месторождения Урала (Баженовское, Киембаевское), известны в Казахстане (Джетыгаринское), многие месторождения Сибири (Молодежное, Саянское и др.), а также месторождения Канады (Джеффри, Клинтон-Крик и др.), Зимбабве (Шабани) и других стран.

Рудные тела лабинского подтипа представлены простыми или сложными жилами поперечно волокнистого асбеста, прослеживающимися на десятки и сотни метров по простиранию, мощностью от нескольких сантиметров до 3 – 4 метров. Волокно относится к высококачественным разновидностям, однако ввиду малой мощности на их долю приходится лишь около 1 % мировых запасов и 2 % мирового производства. Примером является Лабинское месторождение на Северном Кавказе.

Особенностью месторождений карачаевского подтипа является продольно волокнистое жилкование по плоскостям трещин скольжения в серпентинитах. Качество асбеста непостоянное, при этом преобладают низкие

содержания. Представителем этого подтипа является Карачаевское месторождение (Северный Кавказ).

Скарновые месторождения. Контактново-метасоматические месторождения связаны с зонами серпентинизации в доломитовых известняках и доломитах. Они встречаются редко и по запасам невелики. Для них характерны единичные жилы (Аспогашское месторождение в России, есть в США и Китае). Все месторождения локализованы в магнезиальных карбонатных породах близ контактов с основными или кислыми изверженными породами. Карбонатные породы близ контакта перекристаллизованы и содержат типичные минералы скарнов: форстерит, диопсид, тремолит, гранат и др. Асбест обычно поперечно-волокнистый, его достоинством является исключительно низкая железистость, что предопределяет его использование в электротехнической промышленности.

ГРАФИТ

Общие сведения

Углерод в самородном виде образует две полиморфные разновидности – графит и алмаз, идентичные по своему составу, но резко отличающиеся по структуре и физическим свойствам.

В природе графит встречается в виде чешуек или их листоватых агрегатов (кристаллический чешуйчатый графит), плотных зернистых агрегатов (кристаллический кусковой графит), либо тонкодисперсных скрытокристаллических масс (аморфный графит). Среди чешуйчатых графитов выделяют крупночешуйчатый (размеры кристаллов 0,1 – 5,0 мм и более) и мелкочешуйчатый (0,001 – 0,1 мм). В кусковом графите размер кристаллов тот же, но они не ориентированы, что затрудняет расщепление агрегата. Величина зерен в аморфном графите менее 0,001 мм. В промышленности все шире используется искусственный (коксовый, доменный, ретортный) графит, получаемый из антрацита, нефтяного кокса, из отходов доменного производства. Искусственный графит по качеству приблизительно соответствует чешуйчатому и плотнокристаллическому, отличаясь большей чистотой и меньшей кристаллическостью. Природные разновидности графита не бывают совершенно чистыми; они содержат примеси минералов-спутников, газов, а также непревращенный в графит углерод.

Свойства и области применения

Применение графита обусловлено рядом уникальных свойств этого минерала: высокой огнеупорностью (температура плавления 3800 – 3900⁰ С), электротеплопроводностью, антифрикционными свойствами, мягкостью, химической инертностью (растворяется лишь в расплавленных силикатах или металлах, образуя карбиды), непрозрачностью, черным цветом и способностью покрывать тонким слоем металлические поверхности (укрывистость). Главными потребителями графита являются электротехника (скользящие электроконтакты и электроды), металлургия (графитовые и графиткерамические тигли для плавки металлов, противопопригарные краски и пасты), машиностроение (подшипники, втулки и др.), ядерная

техника и атомные электростанции (детали ядерных реакторов и ракетных двигателей, графитовые замедлители нейтронов), лакокрасочная промышленность и оргтехника (краски, туши, карандаши, копировальная бумага).

Графит является основным сырьем для синтеза технических алмазов, находит широкое применение в порошковой металлургии и в производстве полупроводников.

Требования к качеству сырья

Различные отрасли промышленности предъявляют разные требования к качеству сырья. Общими лимитирующими показателями являются зольность, влажность, содержание летучих, иногда Fe, S, Cu, P и других элементов, а также величина рН водной вытяжки. Чешуйчатые графиты содержат от 2 до 15 % минерала, они легко обогащаются флотацией, в концентрате содержание достигает 60 % и более. В плотнокристаллических рудах доля графита составляет 35-40 % и более; без обогащения используется руда, в которой эта величина поднимается до 60-80 %. Аморфный графит – труднообогащаемая руда, без обогащения используется руда с содержанием углерода около 70 %.

Обзор ресурсов

Максимальное производство графита зафиксировано в 1989-1990 годах (около 950 тыс.т.). Наиболее крупными производителями являются КНР (около 40-45 % всего производимого в мире графитового концентрата), далее следуют Республика Корея, Индия, КНДР, Бразилия, Мексика, Канада, Чехия. В странах СНГ наибольшая добыча приходится на Украину и Россию. Преобладающая часть запасов кристаллического графита сосредоточена в КНР, на Мадагаскаре, в Зимбабве, Бразилии и странах СНГ. Свыше 90 % запасов скрытокристаллического графита приходится на Мексику, КНР, Россию и Республику Корея. Мировое производство синтетического графита превышает 1,5 млн.т. и осуществляется в ряде промышленно развитых стран: в США, Канаде, Японии, странах Западной Европы.

Промышленные типы месторождений

Эндогенные месторождения

Магматические месторождения связаны с интрузивными и эффузивными породами – от кислых до щелочных и ультраосновных. Месторождения сформировались в результате магматической кристаллизации. Плотнокристаллический графит образует неравномерные скопления в штоках, гнездах, жилах, содержание его достигает 85 %. Реже – это скопления чешуйчатого графита. Известны небольшие месторождения, приуроченные к гранитам (Черемшанское и Миасское на Урале), габбро, базальтам (Германия).

Пегматитовые месторождения представлены неправильными жильными телами кварц-графитового состава в графитоносных вмещающих породах. Крупночешуйчатый графит развит в зальбандах жил. Содержание графита невысокое (3 – 5 %), руды вкрапленные. Промышленное значение незначительное. Месторождения известны в России, Бразилии, Индии и др.

Скарновые месторождения приурочены к зонам контактов глубинных изверженных пород с известняками. Графит ассоциирует с гранатами, диопсидом, волластонитом, скаполитом. Многочисленные (около 30) промышленные залежи массивного плотнокристаллического графита локализованы в северной части массива нефелиновых сиенитов, иногда приурочены к контакту с ксенолитами известняков. Руды массивные, иногда встречаются сфероидальные, радиально-лучистые, почковидные и древовидные агрегаты. Форма – неправильные гнезда, жилообразные тела протяженностью в сотни метров при мощности в десятки метров. Содержание графита от 10 до 20 %, в отдельных телах до 50 %. Примером является Ботогольское месторождение (Бурятия). Месторождение разрабатывается более 100 лет. Его богатые массивные руды полностью отработаны, оставшиеся бедные руды легко обогатимы и могут добываться открытым способом.

Гидротермальные месторождения формируются путем кристаллизации графита в тектонических трещинах из циркулировавших по ним высокотемпературных растворов, содержащих оксиды углерода. На месторождениях отмечаются линейные штокверковые зоны, образованные сериями секущих и согласных неправильных жил с раздувами и пережимами, часто ветвящихся. Мощность от нескольких сантиметров до метров, протяженность достигает сотен метров. Жилы часто зональные: у зальбандов сложены крупночешуйчатым, а в центре – плотнокристаллическим графитом. Вмещающие породы представлены гнейсами и кристаллическими сланцами. Месторождения известны в Индии, Канаде, США, Великобритании, Южной Корее.

М е т а м о р ф о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Метаморфические месторождения являются основным промышленным типом месторождений графита. Они образовались за счет рассеянного или концентрированного (угли, горючие сланцы) углеродного вещества, подвергнувшегося региональному или контактово-термальному метаморфизму. Месторождения подразделяются на две формации: графитоносных гнейсов (чешуйчатый графит) и графитизированных углей (скрытокристаллический графит).

Метаморфические месторождения графитоносных гнейсов заключают основную часть высококачественных чешуйчатых графитовых руд. Они приурочены к докембрийским метаморфическим толщам: гнейсам, кварцитам и кристаллическим сланцам. Залежи графита представляют собой неправильные пласты и линзы вкрапленных руд с содержанием графита 2 – 30 %, редко до 60 %. Руды легкообогатимые. Месторождения характеризуются высоким качеством руд, концентрированностью запасов, возможностью открытой добычи. Типичным примером является Завальевское месторождение (рис. 13.).

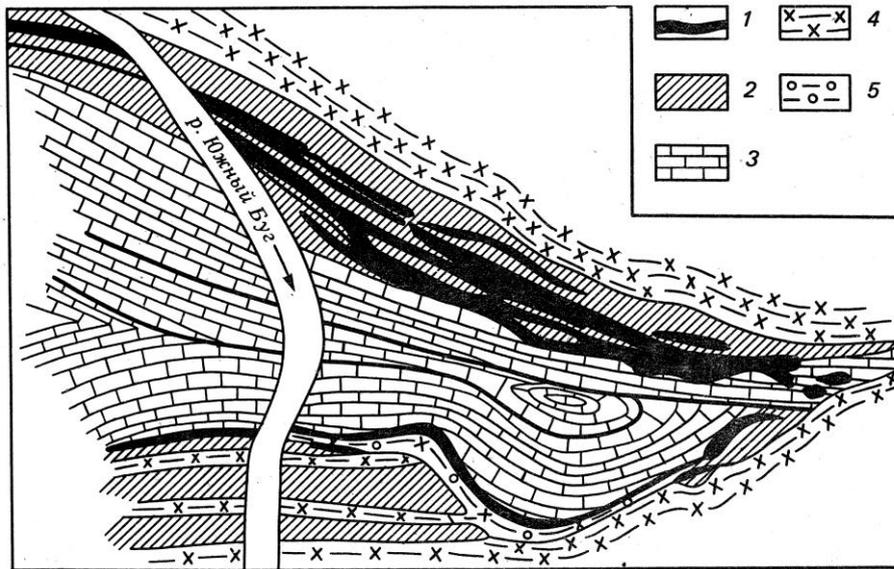


Рис. 13.
Геологическая карта Завальевского месторождения (по А.Е. Иванищеву):

1 — графитовые гнейсы; 2 — гнейсы безрудные; 3 — кристаллические известняки; 4 —

граниты; 5 — мигматиты.

Метаморфические апокаменноугольные месторождения служат главным источником скрытокристаллического графита. Они связаны с угленосными отложениями, прорванными телами магматических пород, вблизи которых пласты углей подвергаются контактово-термальному метаморфизму, вызывающему графитизацию углей. Графитовые руды сохраняют внешний вид углей, содержат включения неграфитенных угольных компонентов, отпечатков растений. Примером таких месторождений является крупнейшая в мире Тунгусская графитоносная провинция в России (месторождения Ногинское, Курейское и другие) (рис. 14.).

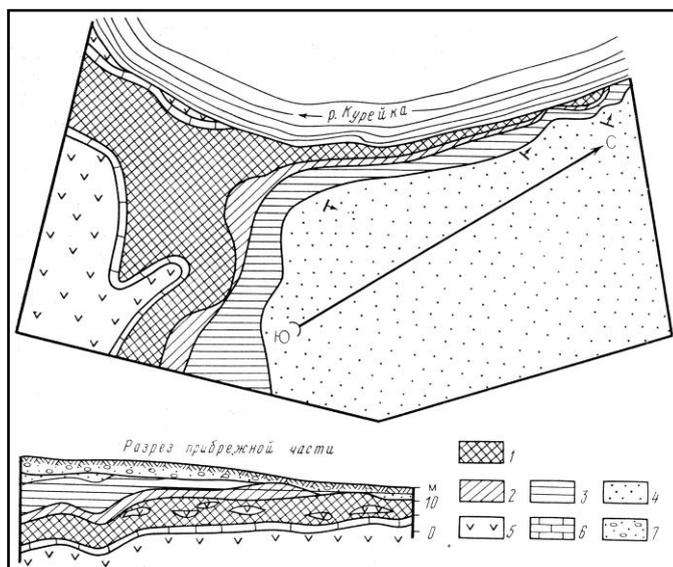


Рис. 14. Геологическая карта Курейского месторождения графита (по материалам С. В. Обручева, В. П. Солоненко и др.):

1 — графит; 2 — графитовые сланцы; 3 — кварцитовидные песчаники и сланцы; 4 — серые песчаники; 5 — траппы; 6 — мраморовидный кальцит; 7 — террасовые отложения

МАГНЕЗИТ $Mg[CO_3]$

Общие сведения

Известны две разновидности магнезита – кристаллическая и аморфная. Кристаллический магнезит образует мраморовидные агрегаты мелко-, средне- и крупнозернистой структуры и полосчатой, радиально-лучистой и звездчатой текстуры. Магнезит обычно содержит примеси, поэтому окраска его бывает желтой, серой и черной. Аморфный или скрытокристаллический магнезит образует фарфоровидные однородные агрегаты белого цвета с характерным раковистым изломом и почковидной поверхностью.

Брусит – $Mg(OH)_2$ образует почти мономинеральные листоватые, волокнистые и зернистые агрегаты, в природе они менее распространены, но представляют собой более качественные руды.

Свойства и области применения

Практическая значимость магнезита и брусита определяется широким использованием в промышленности огнеупоров (около 90 % добываемого сырья), в сельском хозяйстве, медицине, получаемого из них оксида магния MgO (жженой магнезии). В настоящее время приблизительно 2/3 мирового производства оксида магния приходится на обжиг природного магнезита и брусита и около 1/3 – на экстракцию из морской воды, подземных и поверхностных рассолов.

Главные продукты термической обработки этих руд – каустический магнезит и искусственный периклаз. Каустический магнезит (его производство потребляет 10 % добываемых магнезитовых руд) является основной частью магнезиального цемента, обладающего исключительно высокими пластическими, вяжущими и гидравлическими свойствами. Используется для производства строительных, отделочных, термо- и звукоизоляционных материалов, а также изготовления абразивных изделий. Каустический магнезит применяется также для производства огнестойких красок, вискозы, в керамике. Из каустического магнезита получают металлический магний и различные химические соединения.

Искусственный периклаз (MgO) имеет температуру плавления 2800^0 С, является ценным огнеупором («магнезиальный порошок»), применяется в металлургических печах, изготовления огнеупорных кирпичей, а также в качестве термоизоляционных покрытий электрокабелей, электротехнических сталей, для получения бората магния (удобрение) и металлического магния. На изготовление магнезиального порошка идет 90 % добываемого магнезита и весь брусит.

Потребителями сырого магнезита являются радиотехническая и целлюлознобумажная отрасли промышленности.

Обзор ресурсов

Общий объем добычи природного магнезита составил в 1996 году 15,7 млн.т., из которых на долю кристаллического магнезита приходится 80 % и аморфного – 20 %. Ведущими добывающими странами являются

Китай (5 млн.т.), Россия (3,6 млн.т.), КНДР (1,8 млн.т.) и Турция (1 млн.т.), производящими почти $\frac{3}{4}$ мировой добычи.

В связи с ограниченными ресурсами магнезиального сырья в ряде стран (Англия, Япония) налажено получение оксида магния из морской воды.

Промышленные типы месторождений

Эндогенные месторождения

Промышленные месторождения магнезита пространственно и генетически тесно связаны с магнезиальными карбонатными и ультраосновными породами.

Гидротермальные (плутоногенные) среднетемпературные – это месторождения кристаллического магнезита, образуются на умеренных глубинах. Месторождения приурочены к мощным толщам карбонатных пород, содержащих пачки и пласты доломитов, известняков и глинистых сланцев (рис. 15.).

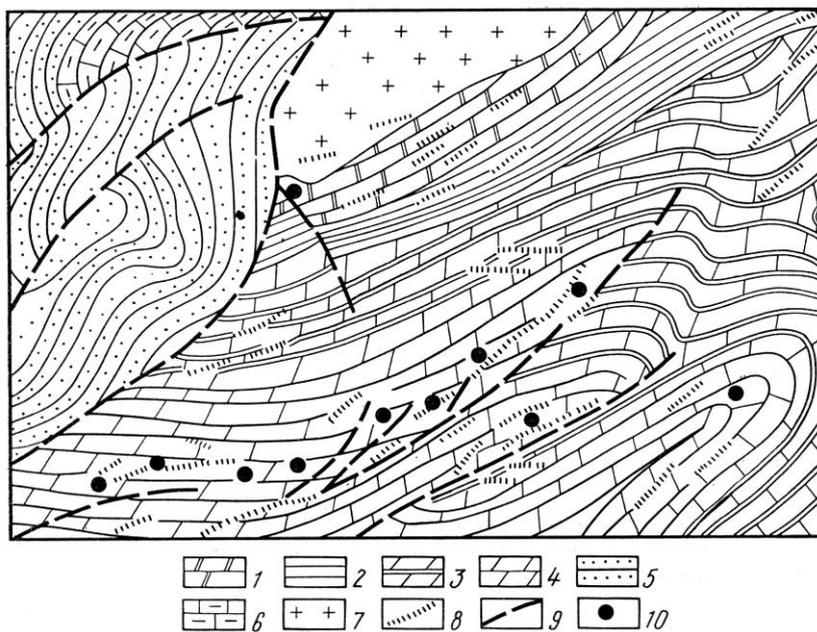


Рис. 15. Схема геологического строения рудного поля Саткинской группы месторождений магнезита (по материалам Бакальской ГРП):

1 — доломиты, доломитизированные известняки, глинистые сланцы верхнекусинской подсвиты; 2 — глинистые сланцы половинкинской подсвиты; 3 — доломиты глинистые, доломитовые мергели нижнесаткинской подсвиты; 4 — доломиты, известняки верхнесаткинской подсвиты; 5 — терригенные отложения зильмердакской свиты; 6 — известняки, мергели катавской свиты; 7 — граниты рапакиви; 8 — дайки диабазов; 9 — разрывные нарушения; 10 — месторождения магнезита.

Породы слабо метаморфизованы. Месторождения вытягиваются цепочками на десятки километров, контролируются зонами тектонических нарушений. Многочисленные промышленные (преимущественно пластовые) залежи варьируют по своим размерам: длина по простиранию от 45 до 170 метров, средняя мощность от 13 до 30 метров. Рудные тела имеют линзовидную, гнездовую и пластообразную форму. Они залегают согласно с вмещающими доломитами, иногда содержат останцы доломитов. Рудные тела сложены (на 94 – 98 %) кристаллическим магнезитом белого, серого или голубовато-серого цвета. Текстуры руд разнообразны – грубо- и тон-

Породы слабо метаморфизованы. Месторождения вытягиваются цепочками на десятки километров, контролируются зонами тектонических нарушений. Многочисленные промышленные (преимущественно пластовые) залежи варьируют по своим размерам: длина по простиранию от 45 до 170 метров, средняя мощность от 13 до 30 метров. Рудные тела имеют линзовидную, гнездовую и пластообразную форму. Они залегают согласно с вмещающими доломитами, иногда содержат останцы доломитов. Рудные тела сложены (на 94 – 98 %) кристаллическим магнезитом белого, серого или голубовато-серого цвета. Текстуры руд разнообразны – грубо- и тон-

кополосчатые, радиально-лучистые, звездчатые. Кроме магнезита в рудах присутствуют доломит, кальцит, арагонит, кварц, опал.

Руды высокого качества: содержание оксида магния до 46,6 % при небольшом количестве вредных примесей. Генезис этих месторождений спорный. Существует представление об осадочном генезисе. Большинство исследователей рассматривает образование магнезитовых залежей в результате метасоматического замещения доломитов магнезией при воздействии гидротермальных растворов, проникавших в толщу доломитов по разрывным нарушениям и привносивших магний из глубинного источника, а источниками растворов являлись гранитоидные интрузии.

Месторождения рассматриваемого типа имеют большое промышленное значение. Наиболее известны месторождения на Южном Урале (Саткинская группа), Енисейском кряже (Удережская группа), Ляонин в Китае и др.

Гидротермально-метаморфические месторождения. Известны месторождения, также приуроченные к толщам карбонатных магнезиальных пород, но более метаморфизованных, представленных доломитовыми мраморами, залегающими среди гнейсов, кристаллических сланцев и амфиболитов. Они характеризуются более сложной тектонической структурой, тесной связью с гранитоидными интрузиями, обилием даек. Строение рудных тел сложное, часто зональное. Центральная часть рудных тел сложена высококачественным магнезитом, в составе рудных тел тальк, хлорит, серпентин, хризотил-асбест. Количество этих минералов увеличивается при содержании пропластков силикатных пород.

Большинство геологов месторождения тальк-магнезитового типа относят к гидротермально-метаморфическим. Примеры месторождений: Савинское на Восточном Саяне, месторождения Кореи, Индии.

Экзогенные месторождения

Месторождения коры выветривания (инфильтрационные) связаны с корами выветривания на массивах ультрамафитов (серпентинитов). При химическом выветривании серпентинитов под действием углекислых вод при разложении силикатов образуется бикарбонат магния, который перемещается в нижние горизонты коры, где отлагается в трещинах, полостях в форме аморфного магнезита в парагенезисе с опалом, халцедоном и кварцем.

Подобные месторождения известны на восточном склоне Урала (Халилово).

Помимо площадных кор есть линейные жильные, приуроченные к крутопадающим тектоническим трещинам в ультрамафитах. С глубиной жилы выклиниваются в неизмененных ультрамафитах. В России подобных месторождений нет. Они эксплуатируются в Греции и Югославии. На долю этих месторождений приходится 15 % мировых запасов.

Осадочные месторождения имеют небольшие масштабы, встречаются редко, относятся к континентально-озерным образованиям. Однако в последнее десятилетие за рубежом в терригенных породах были выявлены

крупные скопления аморфного магнезита на Кубе и в Австралии; в перспективе роль месторождений этого типа будет возрастать.

ФЛЮОРИТ CaF

Флюорит или плавиковый шпат – минерал кубической сингонии, нередко содержит примеси редких земель, битумов, иногда урана, а также свободного фтора. В природе встречается в виде хорошо сформированных кристаллов, шестоватых агрегатов, мелкокристаллических или землистых масс, иногда в виде плотных каолинит-флюоритовых агрегатов («фарфоровидный флюорит»). Флюорит может быть бесцветным или окрашенным в различные цвета – от желтоватого или голубоватого до зеленого или густо-фиолетового.

Области применения

Основная масса флюоритового сырья используется химической промышленностью, металлургией, атомной энергетикой, сварочным, стекольным, эмалевым и другими производствами. В соответствии с главными областями использования минерала выделяется пять основных промышленных сортов: химический (кислотный), керамический (эмалевый), цементный, металлургический (флюсовый) и оптический.

Химический флюорит используется для получения плавиковой кислоты. Плавиковая кислота является исходным сырьем в химической промышленности для получения различных органических и неорганических фторсодержащих химических соединений (фторуглеродов, фторполимеров и др.), элементарного фтора, синтетического криолита, которые, в свою очередь, широко используются для изготовления высокооктанового топлива, всевозможных растворителей, аэрозольных препаратов, хладореагентов, полимерных материалов, в ядерной технике. Синтетический криолит является расплавленным электролитом, используемым для растворения глинозема с последующим извлечением металлического алюминия.

Керамический флюорит используется при варке белых или окрашенных стекол, в производстве стеклянного волокна, для получения эмалей, армирования сварочных стержней и других целей.

Цементный флюорит добавляется в цементную шихту для производства чугуна и стали, его присутствие снижает температуру плавления и разжижает шлаки.

Из оптического флюорита изготавливают различные линзы, призмы, окна в микроскопах, спектрографах и других оптико-спектральных приборах; он используется в акустических устройствах для переработки радиосигналов.

Требования к качеству сырья

Разные отрасли применения предъявляют и различные требования к исходному сырью. Минимальные промышленные содержания CaF_2 в разрабатываемых месторождениях не менее 30 %, средними по качеству считаются руды с содержанием 35 – 50 %, богатыми – более 50 %. В металлургических рудах лимитируется содержание S и P, в керамических – SiO_2 ,

кальцита, оксидов Fe. Оптический флюорит должен быть представлен бесцветными и бездефектными кристаллами размером не менее 6х6х5 мм. Большая часть добываемых руд подвергается обогащению.

Обзор ресурсов

Широкое использование флюорита в сталелитейной, алюминиевой, химической и других областях промышленности ставит его в число важнейших видов минерального сырья. Ежегодно в мире получают около 4,5 млн. т. плавикового шпата. Ведущая страна по его производству Китай (2,5 млн.т.). Следом идут Мексика и Монголия, а также Италия, Испания, Россия, ЮАР, Франция, Бразилия. Их суммарная добыча составляет более 92 % от мирового производства.

В нашей стране добыча флюорита началась в первой половине XVIII века в Забайкалье. Позднее были освоены новые флюоритоносные районы Западного Забайкалья, Дальнего Востока.

Запасы флюорита в мире оцениваются примерно в 360 млн. т.

Промышленные типы месторождений

Условия образования месторождений флюорита разнообразны. Флюорит встречается в магматических породах, некоторых разновидностях пегматитов и карбонатитов, широко распространен в качестве жильного минерала в различных гидротермальных месторождениях, известен в осадочных образованиях. Это является причиной сложности классификации месторождений и генетической и формационной. Подавляющее большинство промышленных месторождений относится к гидротермальным.

Э н д о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Пегматитовые месторождения имеют исключительное значение в добыче только оптического флюорита, являются редким типом и характеризуются небольшими запасами. Они формируются на относительно небольших глубинах 2 – 3 км, связаны с двуслюдяными или мусковитовыми гранитами. Вмещающие породы – граниты или метаморфизованные осадочные породы. По форме – это неправильные, изометричные и трубообразные тела. Характерно наличие миароловых пустот, которые содержат кристаллы флюорита, мориона, раухтопаза, возможно их попутное получение. Месторождения известны в Казахстане.

Карбонатитовые (флюорит-редкоземельные) месторождения только начинают осваиваться, хотя перспективы их весьма велики. Размещаются они, как и все карбонатитовые месторождения, на щитах, древних платформах и в областях завершённой складчатости. Рудные тела представлены трубообразными и линзообразными залежами. Флюорит не является типоморфным минералом в карбонатитах, но иногда образует крупные скопления. Основная масса флюорита образуется на поздних стадиях метасоматических процессов и поэтому приурочена к доломит-анкеритовым карбонатитам, несущим редкоземельную минерализацию. Руды комплексные, в которых основными компонентами являются редкие земли, флюорит же является побочным продуктом и часто содержит примеси радиоактивных элементов.

Грейзеновые и скарново-грейзеновые редкометально-флюоритовые месторождения тесно и генетически и пространственно связаны с многофазными интрузиями гранитоидов, иногда повышенной щелочности. Образование месторождений происходит в обстановке высоких температур и умеренных глубин в непосредственной близости от куполовидных выступов гранитных интрузий. Руды комплексные: олова, вольфрама, бериллия. Практически интересные скопления флюорита возникают при наличии в окружающих породах карбонатных толщ. Содержание флюорита достигает 80 %. Примером является Вознесенское месторождение в Приморье (рис. 16.).

Последними исследованиями доказывается, что формирование редкометально-флюоритовых месторождений Вознесенского рудного поля было многоэтапным и многостадийным с преобладанием метасоматических процессов. Отложение флюорита происходило на всех этапах (альбититовом, грейзеновом и гидротермальном).

Гидротермальные месторождения в настоящее время имеют основное промышленное значение, они чрезвычайно разнообразны. Среди плутоногенно-гидротермальных выделяется несколько типов.

Флюоритовые месторождения связаны с редкометальными гранитоидами, размещаются в осадочных породах: в карбонатных породах могут возникать метасоматические залежи, в инертных породах – жильные тела. Запасы руд значительные, но встречаются редко. Состав руд простой: флюоритовые, карбонатно-флюоритовые. Месторождения известны в Забайкалье.

Флюорит-полиметаллические месторождения связаны с малыми интрузиями или вулканогенно-интрузивными комплексами, образуются при средних температурах и умеренных глубинах. Рудные тела чаще всего жильные или жиллообразные. Околорудные изменения – березитизация, серицитизация, окремнение. Основные минералы – флюорит, барит, сульфиды в переменных количествах. Месторождения известны в Средней Азии, Казахстане, Германии, США.

Флюорит-берtrandитовые и флюорит-редкоземельные месторождения связаны с интрузиями сиенитов и монзонитов. Комплексные руды этих месторождений образуют сложные метасоматические залежи в карбонатных породах. Флюорит является второстепенным компонентом, хотя содержание его высокое (до 60 %). Кроме флюорита и берtrandита в рудах присутствуют в небольших количествах кальцит, кварц, сульфиды. В редкоземельных месторождениях наблюдается ассоциация флюорита и фторкарбонатов редких земель. Месторождения известны в России и США, но значение их невелико.

Вулканогенно-гидротермальные низкотемпературные месторождения образуются на малых глубинах в районах развития наземного вулканизма. Они типичны для областей проявления тектоно-магматической активизации в областях завершённой складчатости, а также на платформах, щитах. Месторождения представлены сериями жил или минерализованных зон

дробления. Формирование флюоритовых месторождений продолжается после затухания активной вулканической деятельности, оно связано с длительно существующими глубинными магматическими очагами.

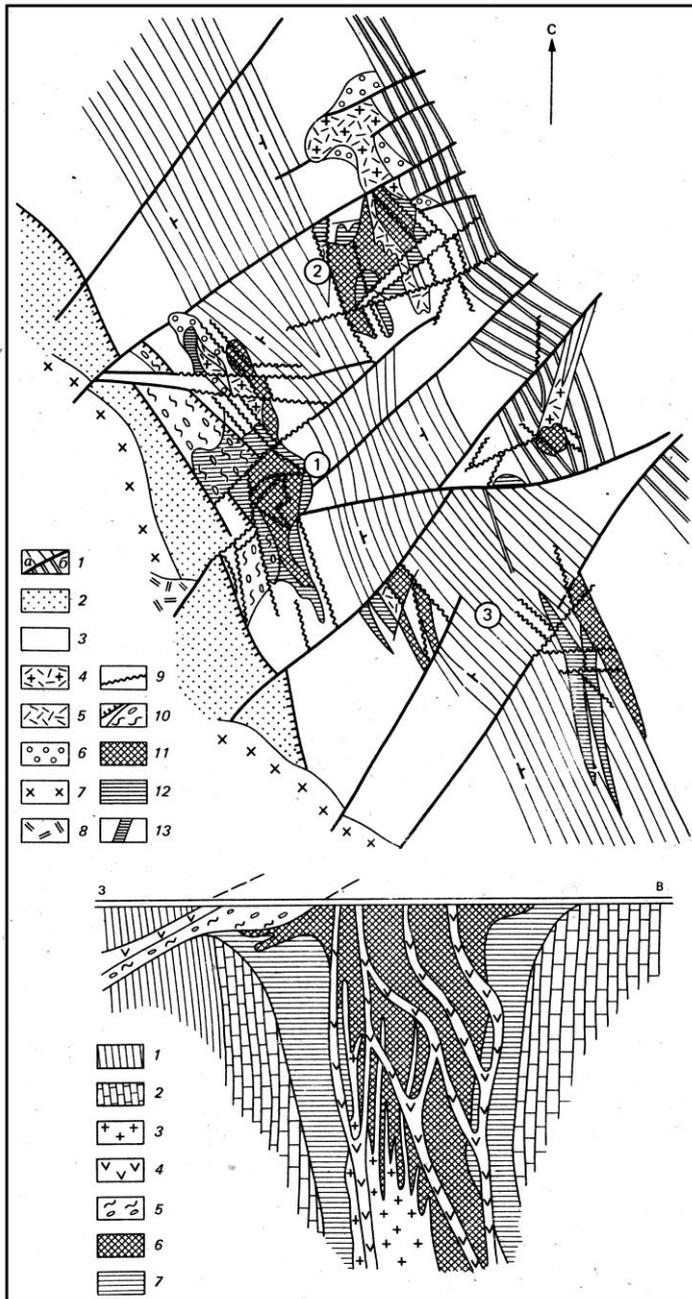


Рис. 16. Вверху: Вознесенское рудное поле в плане (схематическое строение) (по М.Д. Рязанцевой):

1 — сланцы; а — филлитовидные, б — графитистые; 2 — алевролиты; 3 — известняки; 4 — грейзенизированные граниты; 5 — грейзены; 6 — скарны; 7 — диориты; 8 — кварцевые порфиры; 9 — порфириты; 10 — тектонические нарушения; 11 — флюоритовые руды; 12 — флюоритизированные известняки; 13 — цинковые руды. Цифры в кружках — месторождения: 1 — Вознесенское, 2 — Пограничное, 3 — Лагерное.

Внизу: поперечный разрез Главного рудного тела Вознесенского месторождения (по Э.И. Шкурко):

1 — сланцы; 2 — известняки; 3 — граниты; 4 — порфириты; 5 — зоны дробления и милонитизации; 6 — флюоритовые руды; 7 — флюоритизированные известняки.

Вертикальный размах оруденения не превышает первых сотен метров. Для флюоритовых руд характерны полосчатые, крустификационные, зональные текстуры. Месторождения этого типа парагенетически связаны с проявлениями базальтового или липарит-базальтового вулканизма. В этих породах устанавливаются повышенные содержания фтора.

Состав руд простой: флюорит резко преобладает, слагая почти мономинеральные руды; в ряде случаев он сопровождается кварцем и кальцием, иногда присутствуют барит, марказит, пирит. Вмещающие породы

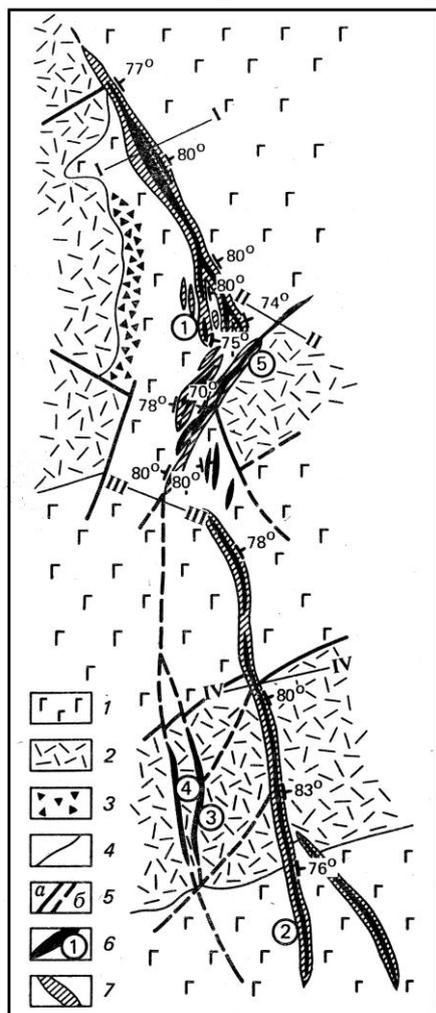


Рис. 17. Геологическая карта месторождения флюорита Дзун-Цаган-Дель (по Д.И. Фрих-Хар и др.):

1—3 верхнеюрско-нижнемеловые вулканиды: 1 — базальты, 2 — риолиты, 3 — зона лавобрекчий кислого состава; 4 — линии контактов; 5 — разломы: установленные (а) и предполагаемые (б); 6 — рудные (кварц-флюоритовые) тела; 7 — зоны окварцевания.

подвергаются аргиллизации. Рудные тела имеют протяженность от сотен метров до первых километров и мощность до нескольких метров.

В России месторождения этого типа распространены в Западном и Восточном Забайкалье (Калангуйское и др.), за рубежом в Мексике, США.

Крупнейшие месторождения этого типа известны в Монголии (Восточно-Монгольский флюоритовый пояс, месторождение Дзун-Цаган-Дель — рис. 17. и др.). Месторождения находятся среди пород дифференцированной базальт-андезит-липаритовой формации.

Чрезвычайно характерно широкое развитие локальных вулканотектонических структур: вулканических аппаратов центрального типа, кальдер, кольцевых и радиальных трещин и др. Рудные тела представлены жилами, реже метасоматическими залежами в карбонатных породах. По составу — это кварц-флюоритовые образования, в которых кроме кварца и флюорита присутствуют адуляр, карбонаты, барит, пирит. Текстуры чаще всего массивные, полосчатые и брекчиевые, иногда кокардовые, друзовые и др. В массивных рудах содержание флюорита превышает 65 %. Отчетливо проявлены окорудные изменения — окварцевание, аргиллизация, каолинизация. Как установлено монгольскими и российскими геологами, флюоритовая минерализация в Восточной Монголии связана с породами дифференцированной вулканоплутонической ассоциации щелочно-базальтовой магмы, обогащенной фтором. Отложение кварц-флюоритовых руд происходило на глубине 600 — 800 м от поверхности из гидротермальных растворов, температура которых не превышала 180° С.

Стратиформные гидротермальные месторождения имеют пластовую, линзовидную или седловидную форму, залегают согласно с вмещающими стратифицированными толщами пород. Связь этих месторождений с магматизмом гипотетична. Флюорит ассоциирует с опалом, халцедоном,

каолинитом, пиритом и марказитом, появляются сульфиды ртути и сурьмы, иногда в минеральном составе возрастает роль барита. Для месторождений свойственно наличие перекрывающих залежей литологических экранов. Месторождения известны в Казахстане, Средней Азии, в России – Степное в Забайкалье, Таборник в Прибайкалье, за рубежом – многочисленные месторождения Мексики, США, Франции и других стран.

ТАЛЬК $Mg_3(OH)_2[SiO_4]$ И ТАЛЬКОВЫЙ КАМЕНЬ

Общие сведения

Тальк является гидросиликатом магния. Он образует листоватые или чешуйчатые агрегаты белого, серого, зеленого, реже темно-серого или черного цвета. В зоне выветривания тальк приобретает желтовато-бурый цвет. Химически чистому тальку свойственна высокая белизна. Руды с содержанием талька более 75 % называются талькитами, массивные породы, содержащие 35 – 75 % талька, – тальковыми камнями. Различают тальк-магнезитовые, тальк-доломитовые и тальк-хлоритовые камни. Скрытокристаллический плотный тальк называется стеатитом.

Свойства и области применения

Тальк жирен на ощупь, очень мягок, скользок, гидрофобен, легко размалывается до тонкой пудры, обладает высокими электроизоляционными свойствами, сорбционным и субстратным действием, химически стоек и инертен (характеризуется высокой кислото- и щелочнупорностью), температура плавления $1490-1510^{\circ}C$.

Из тальковых камней путем распиливания получают огнеупорные кирпичи, применяемые для футуровки цементных, металлургических, стекольных и других печей. Отходы размалываются с получением талькового концентрата или молотого тальк-магнезитового порошка.

Основная масса талька используется в молотом виде. Благодаря белизне тальк употребляется как наполнитель при выделке бумаги. В лакокрасочном производстве применяется для получения устойчивых к коррозии лаков и красок. Кроме этого тальк используется при производстве резины, в парфюмерной и фармацевтической промышленности. Тальк применяется для получения сухих ядохимикатов, кровельных материалов, в литейном деле, в керамической промышленности.

Кусковой тальк (стеатит) используется в производстве газовых горелок для маяков, запальных свечей для двигателей внутреннего сгорания, плавильных тиглей в металлургии, для изготовления различных радиодеталей.

В России большая часть добываемого талька используется в кровельной промышленности (30 – 35 %) и для производства ядохимикатов (25 – 40 %), по 7-7,5 % расходуется в керамическом и красочном производстве, по 5 % в резиново-шинной, кабельной и бумажной промышленности, а также в литейном деле.

Требования к качеству руд

Обилие и разнообразие потребляющих отраслей промышленности обуславливает и большое разнообразие требований к качеству сырья.

Керамическая промышленность использует руды с низким содержанием оксидов Са и Fe, бумажная, лакокрасочная – ограничивают нижний предел белизны, кондитерская и фармацевтическая промышленности лимитируют содержание As, кабельная – Cu и Mn. Для пиленых тальк-магнезитовых изделий учитывают огнеупорность, термическую стойкость, усадку, пористость.

Обзор ресурсов

Современный мировой уровень добычи талька (без талькового камня) составляет более 7,5 млн.т. Крупнейшими его продуцентами являются КНР и США, на долю которых приходится около половины мирового производства. К традиционно ведущим производителям талька относятся также Финляндия и Франция. В последние десятилетия резко возросла его добыча в Австралии, Индии, Бразилии.

Производство талька достигло 6 млн.т. Крупнейшими производителями талька являются Япония и США. Кроме этого тальк добывают в Южной Корее, Франции, Бразилии, Италии.

Россия до 90 –х годов занимала 3-е место после КНР и США по добыче талькового сырья. В настоящее время она замыкает десятку стран-продуцентов и отличается выпуском преимущественно талькового камня. Россия располагает крупными запасами талькового сырья. Большая часть российских запасов (около 72 %) сосредоточено в четырех крупных месторождениях Сибири – Алгуйское, Киргитейское, Светлый Ключ и Онотское. Из месторождений талькового камня следует отметить Шабровское и Сыростанское месторождения на Урале.

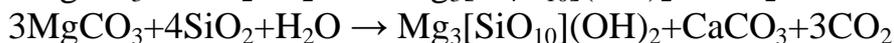
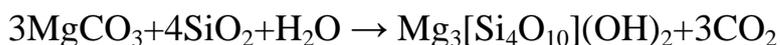
Промышленные типы месторождений

Одним из важнейших условий образования месторождений талька является наличие магнезиальных пород, поэтому месторождения талька и талькового камня пространственно и генетически связаны с ультрамафитами и продуктами их метаморфизма, а также с магнезиальными карбонатными породами.

Гидротермально-метасоматические месторождения талька и талькового камня. Среди многочисленных месторождений этого типа выделяются месторождения, связанные с ультрамафитами (апоультрамафитовые) и карбонатными магнезиальными породами (апокарбонатные). К первому типу относятся месторождения талькового камня и талька, ко второму – большинство месторождений талька.

Апокарбонатные месторождения (Онотское, Киргитейское, Светлый Ключ, Алгуйское и другие в России, месторождения США, Канады, Франции, Италии, Бразилии и Индии) приурочены к магнезитам, доломитам и другим магнезиальным карбонатным породам протерозоя и палеозоя. Образование талька за счет магнезита при привносе постмагматическими рас-

творами кремнезема происходит по следующей схеме, по представлению И.Ф.Романовича:



Апоультрамафитовые месторождения (Сысертское, Сыростанское, Шабровское и другие месторождения Миасской провинции на Урале, месторождения Карелии, Южной Осетии, Финляндии, США и др.) связаны с переработкой серпентинизированных ультрамафитов углекислыми либо кремнекислыми растворами (И.Ф.Романович).

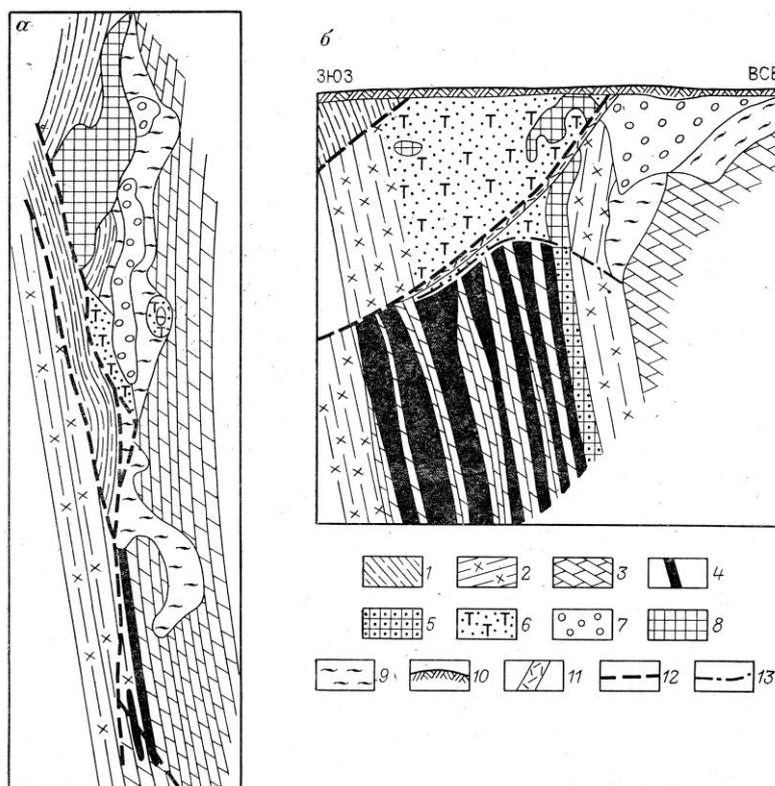


Рис. 18. Схематическая геологическая карта (а) и вертикальный разрез (б) Киргитейского месторождения. По А. В. Кириченко:

1 — глинистые сланцы; 2 — хлоритовые сланцы; 3 — доломиты; 4 — плотные талькиты; 5 — кварциты; 6 — элювиальные порошокватые талькиты; 7 — бокситы; 8 — маршаллиты; 9 — глины; 10 — делювиальные глины; 11 — брекчированные породы; 12 — тектонические нарушения;

13 — нижняя граница коры выветривания.

Дискуссионен вопрос об источнике растворов, вызывающих оталькование. Большинство исследователей считают таким источником кислую магму. Об этом свидетельствует наличие во многих тальконосных провинциях гранитоидных массивов или их присутствие по ряду признаков на небольших глубинах. Ведущую роль в локализации тальковых месторождений играет разрывная тектоника.

Залежи талька и талькового камня имеют, как правило, форму жил и линз. Размеры их значительны: протяженность залежей талькитов до 800 м, а талькового камня до 4 км, мощности достигают соответственно 50 и 250 м (рис. 18.).

В составе руд в тальковых залежах кроме хлорита и магнезита присутствуют амфиболы, турмалин, биотит, тремолит, хризотил-асбест.

Экзогенные месторождения

Остаточные месторождения представлены рудами, образующимися в зоне выветривания как апоультрамафитовых, так и апокарбонатных ме-

сторождений. Мощность элювиальных скоплений талька может достигать 150 м (Киргитейское месторождение). Руды, образующиеся при выветривании апокарбонатных месторождений (Алгуйское, Киргитейское), порошковатые, отличаются исключительной чистотой: не содержат оксиды железа, алюминия и кальция. При выветривании ультраосновных пород образуются низкокачественные железистые порошковатые талькиты.

Метаморфогенные месторождения

Месторождения этого типа возникают при региональном метаморфизме от зеленосланцевой до амфиболитовой фации. Образование талька и талькового камня при региональном метаморфизме ультрамафитов происходит без привноса вещества или с привносом только углекислоты. Оталькование магнезиальных карбонатных пород происходит после предварительного формирования по ним диопсидовых или тремолитовых пород. В отдельных случаях залежи талькитов возникают по силикатным породам – глинистым сланцам и метасоматическим кварцитам.

Метаморфогенные залежи имеют форму пластообразных тел, линз и жил, их размеры могут быть значительными, особенно на месторождениях талькового камня: до 4 км в длину при мощности 40 – 70 м.

Примером является Шабровское месторождение на Урале.

БАРИТ и ВИТЕРИТ

Общие сведения

Барит $Ba[SO_4]$ встречается в форме таблитчатых и призматических кристаллов, скрытокристаллических агрегатов и натечных образований. Барит имеет высокую плотность ($4,2 - 4,7 \text{ г/см}^3$), поэтому его называют тяжелым шпатом. Химически чистый барит характеризуется высокой белизной, инертностью и безвредностью, высокой поглотительной способностью. В барите часто присутствуют примеси Ca, Sr, которые обуславливают появление различных окрасок – бурой, желтой, темно-серой и черной.

Витерит $Ba[CO_3]$ имеет одинаковые с баритом физические свойства, но резко отличается химическими свойствами. Он относительно легко растворяется в углекислых водах и слабых кислотах, ядовит. Самостоятельных месторождений витерит не образует, встречается совместно с баритом.

Области применения

Барит и витерит широко применяются в следующих отраслях производства.

1. Нефте- и газодобывающая промышленность, где используется 75-85 % мировой добычи в качестве утяжелителя буровых растворов.
2. Химическая промышленность потребляет 10 – 15 % мировой добычи барита и весь витерит для получения различных солей бария (хлористый барий и азотнокислый барий). Эти соли ядовиты и используются в сельском хозяйстве, в пиротехнике.

3. Лакокрасочная промышленность использует 4 – 9 % барита в качестве забеливателя и наполнителя при производстве белил, различных красок, лаков, эмалей.

Помимо этого, барит применяется в бумажной, резиновой, стекольной промышленности, для изготовления противорадиационных бетонов и штукатурок, специальных цементов, в электронике, металлургии, медицине.

Молотый барит в смеси с латексом и горячим асфальтом применяется для покрытия взлетно-посадочных полос и обычных дорог, обеспечивая получение прочного и гибкого слоя. Крупные бездефектные прозрачные кристаллы барита используются как пьезооптическое сырье. Сплавы с участием бария употребляют для изготовления газопоглотителей, типографских и антифрикционных изделий, а его соединения – в производстве сегнетоэлектриков и материалов для защиты от радиоактивного и рентгеновского излучения.

Требования к качеству сырья

Руды барита и виверита обычно всегда требуют обогащения. Предприятия, перерабатывающие баритовые руды, выпускают его в виде трех разновидностей: кусковой барит и гравитационный концентрат используются в химической промышленности; молотый барит применяется в качестве наполнителя и забеливателя; флотационный концентрат, он составляет 85 % от всего добываемого барита и используется как утяжелитель.

Из собственно баритовых руд получают кусковой барит, гравитационный концентрат и молотый барит, а из комплексных – флотационный концентрат.

Требования промышленности разнообразны и регламентируются содержанием $BaSO_4$ и вредных примесей (Pb, Zn, Sr, Fe), белизной и плотностью. Переработка наиболее трудно обогатимых (барит-кварцевых и барит-флюоритовых) руд рентабельна при содержании барита более 35-40 %. Для виверитовых руд, главным образом используемых в химической промышленности, содержание виверита должно превышать 36 %.

Обзор ресурсов

В связи со все расширяющимся перечнем областей применения барита, а главное, с ростом объема глубокого бурения на нефть и газ, его добыча и потребление в целом возрастают. В настоящее время при общей мировой добыче барита свыше 7 млн.т. лидирующее положение занимают КНР (до 3,5 млн.т.), США (0,7 млн.т.), Индия (до 0,5 млн.т.) и Марокко (0,35 млн.т.); оставшаяся часть приходится в основном на Мексику, Иран, Таиланд, Болгарию, Германию, Испанию, Северную Корею и Турцию. В России максимум добычи составил 0,16 млн.т. (1996г.).

Запасы собственно баритовых руд, содержащих более 50 % $BaSO_4$, оцениваются в 300 млн.т. Наиболее значительные запасы заключены в месторождениях США, Алжира, Германии, Таиланда, Канады, Италии, Марокко.

Промышленные типы месторождений

Сырьевая база баритдобывающей промышленности представлена как собственно баритовыми, так и комплексными месторождениями. По минеральному составу в первых могут быть монобаритовые, барит-витеритовые, кварц-баритовые и кальцит-кварц-баритовые руды, а в комплексных месторождениях барит-флюоритовые, редкометалльно-барит-флюорит-железорудные, барит-колчеданные и барит-полиметаллические руды. В России по промышленным запасам и добыче преобладают месторождения сульфидно-баритовых руд (барит-колчеданные и барит-полиметаллические), среди которых могут появляться обособленные тела собственно баритовых руд (например, на месторождении Кварцитовая Сопка в Хакасии – одном из главных разрабатываемых объектов в России).

Эндогенные месторождения

Гидротермальные (плутоногенные) месторождения собственно баритовые, витерит-баритовые и барит-флюоритовые – весьма важный тип месторождений для барита и единственный для витерита. Он характеризуется высоким качеством руд. По форме рудных тел различают жильные и пластообразные метасоматические залежи. Жилы и линзы контролируются зонами разрывных нарушений, имеют протяженность до 2 км и мощность до 15 м. Вмещающие породы преимущественно осадочные и эффузивно-осадочные. А пластообразные месторождения приурочены к карбонатным породам и располагаются в зонах надвигов и межпластовых разломов. Размеры рудных тел аналогичны жильным.

По минеральному составу выделяют три разновидности руд: баритовые (50 – 99 % $BaSO_4$), витерит-баритовые (1 – 70 % $BaSO_4$), барит-флюоритовые (п 1 – 70 % барита и 15 – 80 % флюорита). Из других минералов наиболее распространены кварц и кальцит, менее галенит, сфалерит, пирит и др. Руды первых двух разновидностей высококачественные, обычно белого цвета, хорошо обогащаются и дают кусковой барит и гравитационный концентрат. Для месторождений характерна зональность. Витерит отмечается в самых верхах рудных тел, замещая барит. С глубиной увеличивается содержание флюорита, кварца, кальцита, сульфидов. Вмещающие породы изменены, наблюдаются процессы хлоритизации, серицитизации, пиритизации, каолинизации, цеолитизации. Примером является Чордское жильное месторождение (Южная Осетия), Кутаисская группа в Грузии, ряд месторождений Германии, Болгарии, Турции, Марокко и других стран. В России к этому типу относится месторождение Туманный перевал на Дальнем Востоке.

Гидротермальные (вулканогенные) месторождения связаны с наземным андезит-дацитовым вулканизмом. Барит является жильным минералом и выделяется в околорудных измененных породах (зоны баритизации). К этому типу относится Белореченское месторождение (Сев. Кавказ).

Стратиформные месторождения в карбонатных породах служат основным источником попутной добычи флотационных концентратов в России. Руды комплексные барит-свинцово-цинковые, иногда встречаются и

собственно баритовые руды. Примером являются месторождения: Сардана (Якутия), хребта Каратау (Казахстан), бассейна р. Миссури (США), крупнейшие месторождения Китая, Индии и др. Месторождения характеризуются значительными масштабами, простой морфологией рудных тел, достаточно высоким содержанием барита.

Колчеданные месторождения широко распространены, связаны с субмаринным базальт-липаритовым вулканизмом. Барит в них является жильным минералом и извлекается попутно. Это месторождения Урала (Гайское, Молодежное), Рудного Алтая (Сокольное, Зыряновское, Белоусовское), Салаирская группа.

Экзогенные месторождения

Зона окисления месторождений. Барит – устойчивый минерал и может накапливаться в элювии месторождений, сложенным глиноподобной массой, содержащей обломки баритовых руд, мелкие кристаллы барита, гидроксиды железа. Примером являются элювиальные залежи на стратиформных месторождениях бассейна р. Миссури (45 % запасов барита США), Медведевское месторождение (Урал). Содержание барита 12 -20 %.

Осадочные (хемогенные) месторождения достаточно широко распространены и представлены крупными пластовыми залежами собственно баритовых и реже сульфидно-баритовых руд, приуроченных к прибрежно-морским отложениям углисто-глинисто-кремнисто-сланцевой формации (рис. 19.). На месторождениях обычно устанавливается несколько пластов, мощность их варьирует от долей до нескольких метров, а протяженность измеряется километрами. Руды – массивные, конкреционные и вкрапленные. Содержание барита в массивных рудах до 90 %, а вкрапленных до 20 %. В баритовых пластах отмечается повышенная битуминозность, обуславливающая черную окраску, присутствуют примеси V, Sr, P и сульфидов (преимущественно пирит).

Образование месторождений связано с привнесением растворенных солей бария в мелководные морские бассейны, где за счет окисления биогенного сероводорода возникали повышенные концентрации сульфат-иона, вызывающие осаждение массивных баритовых руд. Конкреционные и вкрапленные руды возникали на стадиях лито- и диагенеза кремнисто-глинистых осадков, представлявших собой отрицательные коллоиды, способные сорбировать растворенный в воде барий. Примером месторождений этого типа является крупное Хойленское месторождение (Полярный Урал), месторождения Казахстана, Германии.

Особое место занимают вулканогенно-осадочные залежи, сформировавшиеся на или близ поверхности морского дна при осаждении здесь барита в результате смешивания восходящих барийсодержащих гидротермальных растворов с морской водой, обогащенной сульфат-ионом (месторождения Японии).

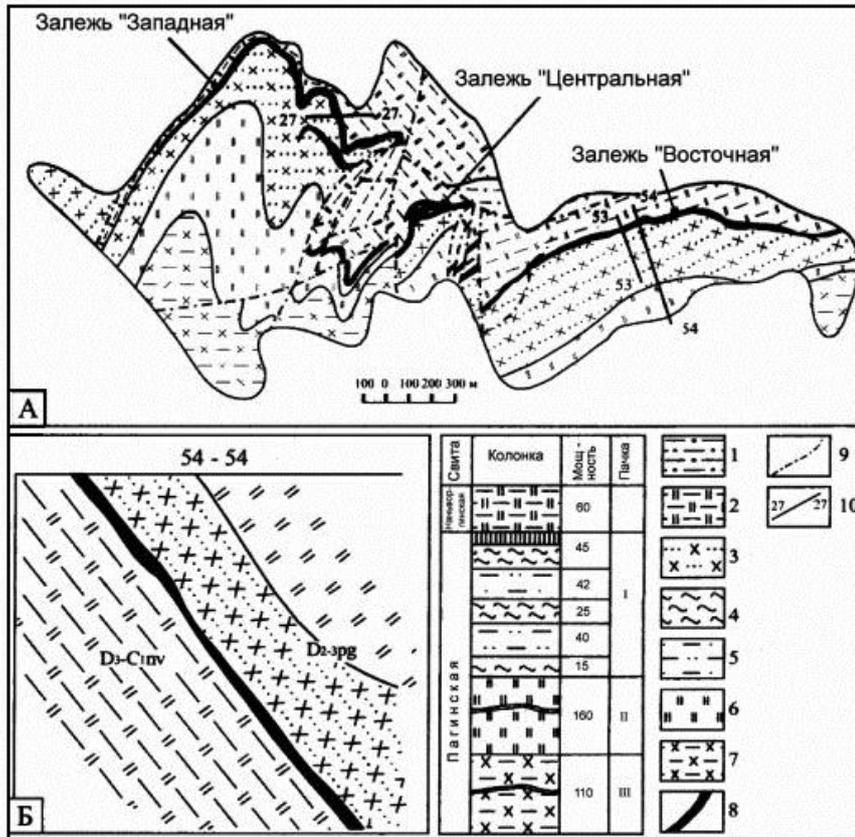


Рис. 19. Схема геологического строения Хойлинского месторождения: А - план, Б - разрез (по Н.В. Лютикову): 1 - терригенные отложения граувакковой формации (яйюсская свита S_{1-2jj}); 2 - отложения перекрывающей (надрудной) известняково-глинисто-кремнисто-сланцевой (пестросланцевой) формации (няньворгинская свита D_3-C_1nv); 3-7 - отложения рудоносной кремнисто-кварцито-сланцевой формации (пагинская свита D_2-zpg): 3-5 - верхняя терригенная пачка (I): 3 - нерасчлененная, 4 - глинистые, алевроглинистые сланцы, 5 - алевролиты и песчаники кварцевые, кварцитовидные; 6 - средняя кремнисто-сланцевая пачка (II); 7 - нижняя терригенная пачка (III); 8 - рудные залежи; 9 - тектонические нарушения; 10 - разведочные профили.

Техногенные месторождения барита представляют собой отвалы обогащенных фабрик - тонкоизмельченные продукты переработки комплексных колчеданных и полиметаллических руд. Такие отвалы с промышленным содержанием барита известны на месторождениях Салаирской группы (Россия), в США, Канаде.

Вторым техногенным источником барита являются продукты регенерации отработанных глинистых буровых растворов.

РАЗДЕЛ II. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И АГРОНОМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

МИНЕРАЛЬНЫЕ СОЛИ

Общие сведения

К минеральным солям относятся водорастворимые хлориды, сульфаты и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, а также сравнительно редких боратов, бромидов и йодидов. Минералогия солей очень разнообразна. Наиболее важное промышленное значение имеют следующие: хлориды – галит NaCl , сильвин KCl , бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; сульфаты – кизерит $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, тенардит Na_2SO_4 , мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; карбонаты – натрон (природная сода) $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Минеральные соли в природе образуют твердые осадки (соляные породы) и рассолы (рапа) как древние (погребенные), так и современные. Соляные породы содержат в переменных количествах галит, гипс и ангидрит, карбонаты (кальцит, доломит), глинистые минералы, алевритовые частицы.

Наиболее важными в промышленном отношении являются следующие соляные породы:

- 1) каменная соль состоит из галита;
- 2) сильвинит или сильвиновая порода;
- 3) карналлитит или карналлитовая порода.

Свойства и области применения

Важнейшими свойствами солей и соляных пород являются их высокая растворимость, пластичность и гигроскопичность. Промышленное использование солей разнообразно. Самый распространенный из них - хлористый натрий – используется для получения более 1500 разнообразных продуктов.

Каменная соль разделяется на пищевую, кормовую и техническую. В пищевой соли должно быть не менее 97 % NaCl . До 65 % добываемой каменной соли используется как пищевая соль и в качестве консерванта. Кормовая соль идет на корм скоту и для заготовки различных кормов. Техническая соль – исходный продукт химической промышленности - служит для получения каустической и кальцинированной соды, хлора, соляной кислоты, нашатыря, хлорной извести и др., а также используется в лакокрасочной, текстильной, фармацевтической, кожевенной, нефтяной, металлургической промышленности, в органическом синтезе, холодильном деле, мыловаренном производстве. Элементарный натрий применяется как теплоноситель в атомных реакторах, цианистый натрий – при извлечении золота из руд, хлор – в производстве инсектицидов, винипласта и других соединений.

Калийные руды к переработке пригодны с содержанием KCl 20 – 35 % и более. Свыше 95 % калийных солей применяется для получения удобрений. Большое значение имеет производство химических препаратов (хло-

ристого, сульфатного и каустического калия, хромпика, цианистого калия, едкого калия, поташа, бертолетовой соли и др.).

Соли магния являются одним из источников получения металлического магния, необходимого для производства легких сплавов, и его химических солей. Сульфаты натрия применяются в химической, стекольной, целлюлозно-бумажной, текстильной, строительной, абразивной, кожевенной промышленности, медицине, фото и кинопроизводстве. Хлористый магний - один из распространенных дефолиантов.

Обзор ресурсов

Мировые ресурсы каменной соли оцениваются в 10 трлн.т. Ежегодный мировой уровень добычи каменной и поваренной соли к началу 90 –х гг. минувшего века составил 186 млн.т., из которых свыше 35 млн.т. приходилось на США – ведущую страну по добыче этого сырья.

Мировые ресурсы калийных солей составляют по различным оценкам от 31 до 66 млрд.т. в пересчете на K_2O . Основными производителями калийных удобрений в 2002 году являлись Канада (32,5 % мирового производства), Россия (4,1 млн.т., 15,2 %), Белоруссия (14,8 %), Германия (12,4 %) и Израиль (7,2 %).

Добыча сульфатов магния ежегодно составляет 2,4 млн.т. Страны-производители – Канада, США, Мексика и Испания.

Промышленные типы месторождений

Месторождения твердых солей являются осадочными, возникшими из истинных растворов в особых солеродных бассейнах с ограниченным доступом минерализованных вод в аридных климатических условиях.

По способу и времени отложения различают месторождения современные внутриконтинентальные озерные и прибрежно-морские, ископаемые (древние), рассолов и соляных источников.

Соляная масса современных месторождений состоит из соляного рассола (рапа) и твердых соляных отложений (самосад). По фазовому состоянию солей в бассейнах различают рапные, сухие и подпесочные озера. По объекту разработки – поверхностная и донная рапа, донные осадки: новосадка, старосадка, корневая соль. Поверхностная рапа перекрывает донные осадки, а донная – пропитывает их. Объем, концентрация и солевой состав поверхностной рапы подвержены значительным сезонным колебаниям. Донная рапа в большей степени насыщена солями, характеризуясь относительным постоянством концентрации и температуры, она заполняет поры и пустоты в пластах солей и пропитывает илы. В составе донных соляных отложений выделяют новосадку, старосадку и корневую соль. Новосадка осаждается из поверхностной рапы в течение года, она может перейти обратно в раствор. Часть новосадки, остающаяся нерастворенной в течение ряда лет, переходит в старосадку. Перекристаллизация старосадки или прямое образование из рапы кристаллического агрегата формируют корневую соль. В рапных озерах поверхностная рапа (рассол) сохраняется в течение всего года, а в сухих – лишь во влажный период; в подпесочных озерах поверхностная рапа отсутствует вообще; соляные отложения в них пе-

рекрыты песчаными наносами. По составу солей и рапы выделяются содовый (карбонатный), сульфатный и хлоридный типы бассейнов.

Обобщенная схема порядка солеосаждения следующая: карбонаты Са и Mg, сульфаты Са, галит, калиевые и магниевые соли. В природных условиях эта последовательность претерпевает значительные изменения, что обусловлено сложной динамикой физико-химических и гидродинамических условий солеобразования. Воды поверхностного стока, привнос большого количества терригенного песчано-глинистого материала, температурный режим, сезонные и вековые изменения климата влияют на очередность выпадения солей.

Галит является наиболее распространенным минералом всех галогенных формаций. Им сложены мощные залежи на месторождениях каменной соли и подстилающие на калийных месторождениях.

Осадочные (современные) месторождения солей связаны с внутриконтинентальными бессточными впадинами – соляными озерами и прибрежно-морскими бассейнами – лагунами и лиманами, выполненными рапой. По химическому составу рапы и минеральному составу осадков среди современных месторождений выделяют хлоридные (преобладает галит), сульфатные (мирабилит, тенардит, эпсомит) и карбонатные (натрон).

Месторождения соляных озер возникают при превышении испарения над атмосферными осадками и при привносе в озера солей поверхностными и подземными водами. Источником солей являются продукты выветривания щелочных пород, вулканические эксгаляции и соленосные породы галогенных формаций.

Соляные озера хлоридного типа распространены в южных районах европейской части России – Эльтон и Баскунчак, хлоридного и сульфатного типов – в Казахстане, в Кулундинской степи; карбонатного типа – оз. Серлз в США и др.

Осадочные (прибрежно-морские) месторождения представлены лиманами, лагунами и заливами. Они формируются в условиях затрудненного притока морских вод (узкие проливы, пересыпи и валы-бары, отделяющие их от моря) и испарения при устойчивом жарком и сухом климате.

Месторождения прибрежно-морского типа распространены вдоль побережья Черного, Каспийского и Аральского морей. Наиболее характерным примером является залив Кара-Богаз-Гол, а также оз. Сиваш на побережье Азовского моря.

Осадочные ископаемые (древние) месторождения солей. Древние солеродные бассейны были преимущественно мелководными. Время формирования соляной толщи измеряется тысячами и десятками тысяч лет. На начальных стадиях галогенеза образовывались доломит-гипсангидритовые породы, затем преимущественно каменная соль и завершается процесс формирования калийно-магниевых солей. Калийные соли имеют ограниченное распространение в галогенных формациях, так как выпадают при концентрации рапы от 32 до 40 %. Такие концентрации возникают на заключительных стадиях выпаривания морских рассолов и по-

этому калийные соли завершают разрез галогенной формации. После отложения в осадок соли претерпевали диагенетическую перекристаллизацию, в ходе которой могли происходить локальные новообразования.

Ископаемые соляные залежи сложены главным образом (в порядке убывания распространенности) ангидритом и гипсом, каменной солью, калийными и калийно-магниевыми солями (чаще сильвином и карналлитом), сульфатами натрия (обычно тенардитом и мирабилитом), боратами.

Ископаемые месторождения каменной соли. По условиям залегания соляных пород выделяют три основных типа месторождений: 1) пластовые со спокойным залеганием пластов; 2) пластовые дислоцированные складчатые; 3) солянокупольные. Для месторождений первых двух типов характерно слоистое внутреннее строение, пластовая и линзовидная форма залежей. В связи с высокой пластичностью солей часто возникают складки течения, иногда наблюдаются раздувы. Примером является Славяно-Артемовское месторождение на Украине.

В солянокупольных месторождениях соляные купола слагают ядра округлых или вытянутых брахиантиклиналей. Мощность соли в ядре купола достигает нескольких километров. Соляные массивы (купола или штоки) имеют форму цилиндрических или округлых грибообразных тел (месторождение Илецкое в Оренбургской области). Площадь соляных куполов составляет десятки квадратных километров. Вокруг соляных куполов распространены кольцеобразные компенсационные впадины. Перекрывающие гипс-ангидритовые и карбонатные породы при выщелачивании верхних слоев соляного ядра обрушаются, образуя шляпу соляного купола – кепрок (рис. 20.).

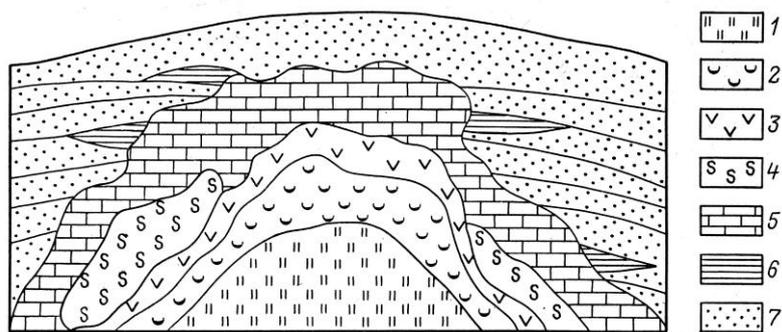


Рис. 20. Разрез типичного соляного купола с хорошо развитым кепроком (по Г. Тоду и др.):

1 — соляной шток; 2 - 5 — зоны кепрока (2 — ангидритовая, 3 — гипсовая, 4 — кальци-

товая сероносная, 5 — кальцитовая); 6 — нефть; 7 — осадочные породы, дислоцированные при образовании соляного купола.

В месторождениях твердых солей широко распространены карстовые явления, усложняющие разработку месторождений.

Ископаемые месторождения калийно-магниевых хлоридных солей, представлены субгоризонтальными пластовыми залежами и линзами мощностью в несколько метров, иногда с участками, осложненными соляной тектоникой, складчатостью, выполнены сильвином, карналлитом и галитом, переслаивающимися с каменной солью (месторождения Верхнекамского бассейна в России –рис. 21, здесь в сухом остатке солей обнаружено

20-25 г/т Au и ЭПГ), Припятского в Белоруссии, Саскачеванского в Канаде). В сухом остатке солей

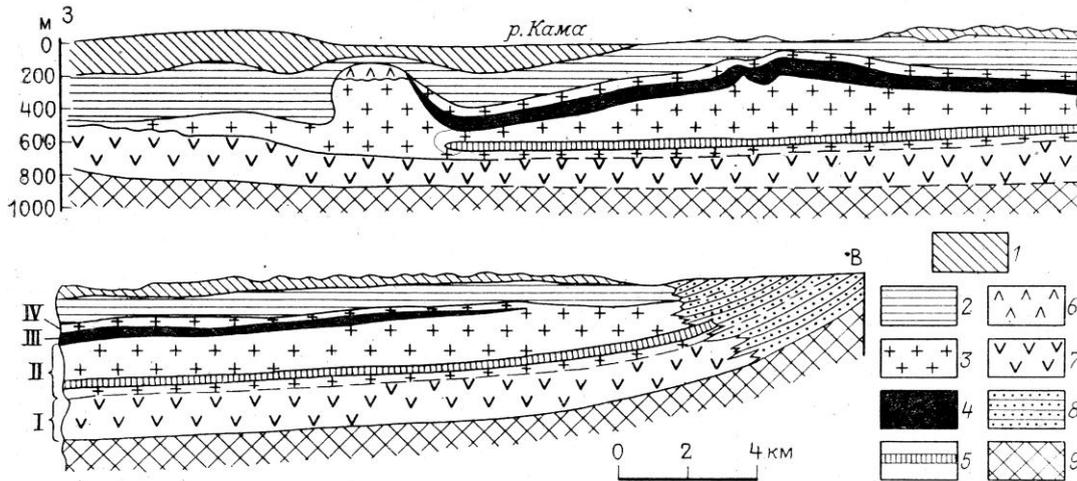


Рис. 21. Схематический геологический разрез пермских отложений южной части Соликамской впадины. По П. П. Матвееву (с упрощением):

1—2 — верхняя пермь, уфимский ярус: 1 — шешминский горизонт (песчаники, алевролиты, аргиллиты); 2 — соликамский горизонт (известняково-песчаные, мергелистые, глинистые породы); 3—7 — нижняя пермь, кунгурский ярус, иреньский горизонт: 3 — переходная толща, покровная и подстилающая каменная соль, 4 — калийная соль, 5 — маркирующая нижняя ангидрит-соляно-мергельная пачка, 6 — гипсовая шляпа, 7 — глинисто-доломит-ангидритовая соленосная толща, переходящая внизу в доломит-ангидритовую толщу филипповского горизонта; 8 — кошелевская и лекская свиты кунгурского яруса (конгломераты, песчаники); 9 — артинский ярус (карбонатные, ангидритовые и песчано-конгломератовые породы).

Ископаемые месторождения сульфатных и сульфатно-хлоридных калийных солей, представлены линзообразными, пластово-линзообразными и купольными залежами изменчивой морфологии и мощности (до нескольких метров), нередко смятыми в складки и осложненные разломами. В их составе главными являются каинит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$), лангбейнит ($2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$), подчиненными — сильвин, полигалит, галит, гипс и ангидрит (месторождения Прикарпатского бассейна на Украине, Прикаспийского в России и Казахстане, Северо-Германского в Германии и Польше).

Наиболее значительные скопления каменной, калийной, калийно-магниевых солей, гипса и ангидрита связаны с краевыми (Предуральский, Предкарпатский и др.) или синклинальными (Московский, Вилюйский, Северо-Германский и др.) прогибами платформ. В истории Земли основными периодами образования галогенных формаций являются: ранний палеозой (галогенные формации Сибирской и Северо-Американской платформы), средний и поздний девон (соленакпление Восточно-Европейской платформы), в карбоне мощное соленакпление наблюдается на Северо-Американской платформе. В пермский период галогенное осадконакпле-

ние достигло максимального развития на всем протяжении Предуральского прогиба, в краевых прогибах Восточно-Европейской платформы, в Прикаспии, Днепровско-Донецкой впадине образовались мощные соленосные формации.

Месторождения рассолов и соляных источников представлены концентрированными рассолами, циркулирующими в породах и трещинных зонах. При выходе таких рассолов на поверхность возникают соляные источники.

Подземные воды хлоридно-сульфатно-содового состава известны на большинстве нефтяных и газовых месторождений Северного Кавказа, Азербайджана, Западной Сибири. Из этих вод можно извлекать соду, буру, йод, бром, поваренную соль.

ФОСФАТНОЕ СЫРЬЕ (АПАТИТЫ И ФОСФОРИТЫ)

Общие сведения

Среднее содержание фосфора в земной коре менее 0,1 % (или 0,25 % P_2O_5). Наиболее высокие концентрации P_2O_5 отмечаются в магматических щелочных и основных породах. Хотя общее число минералов фосфора превышает 200, свыше 95 % его в земной коре связано с апатитом, который встречается в большинстве изверженных пород в качестве акцессорного минерала.

Промышленное значение имеют два главных вида минерального сырья – апатиты и фосфориты.

Апатит $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl,OH)$. В зависимости от содержания выделяются фтор-, хлор-, гидроксил-apatит, чаще встречается фтор-apatит. В качестве примесей могут присутствовать Sr, Ba, Mg, Mn, TR и др. Апатит отмечается во всех интрузивных, многих метаморфогенных, осадочных, реже эффузивных породах. Часто ассоциирует с нефелином, эгирином, ильменитом, сфеном. Качество определяется содержанием фосфора в пересчете на P_2O_5 .

Фосфориты – это горные осадочные породы, существенную часть которых составляют фосфаты и многочисленные включения других минералов (кварца, глауконита, кальцита, глинистых минералов и др.). Часто наблюдается содержание элементов-примесей: U, TR, Sr, реже V, Ti, Zr и др.

Таким образом, фосфатное сырье представлено двумя главнейшими типами руд: апатитовыми и фосфоритовыми; в первых апатит образует яснокристаллический агрегат, во-вторых – фосфаты кальция из группы апатита представлены скрыто- или микрокристаллическими образованиями. Месторождения апатита связаны с изверженными и метаморфическими породами, образуясь в результате эндогенных процессов, в то время как месторождения фосфоритов – с осадочными породами, формируясь в результате экзогенных процессов. Качество фосфоритов оценивается по содержанию P_2O_5 и вредных примесей MgO, Fe_2O_3 , CO_2 , Al_2O_3 и др. По минеральному составу и текстурно-структурным признакам фосфориты разделяют на природные литологические типы: микрозернистые, зернистые,

тонкозернистые, оолитово-зернистые, желваковистые (конкреционные), галечниковые и конгломератовые, ракушечные, рыхлые и каменистые.

Кроме этого, резко подчиненную роль в общем балансе фосфатного сырья имеют крупные скопления гуано – продукты выделения морских птиц, приуроченные главным образом к островам и прибрежным районам низких широт. В результате их разложения содержание фосфата возрастает. Современное гуано содержит 10 – 12 % P_2O_5 , выщелоченное – 20-32 %.

Области применения

Области использования апатитовых и фосфоритовых руд одинаковы. Подавляющая масса фосфатного сырья (более 95 %) используется для производства фосфорных и комбинированных минеральных удобрений. В результате химической переработки получают простой и двойной суперфосфат, аммофос, нитрофос и нитрофоску. Удобрения указанных видов получают переработкой сырья, содержащего около 28 % P_2O_5 и ограниченного количества вредных примесей. Принципиально иная технология производства так называемых термофосфатов. Они содержат 20 – 34 % усвояемого P_2O_5 и для их производства могут использоваться руды с содержанием P_2O_5 24 – 27 %. Из фосфоритов при измельчении получают фосфоритовую муку. Она употребляется как удобрение для кислых почв.

Соединения фосфора используют и в других отраслях промышленности: для смягчения воды, в качестве моющих веществ, для пропитки деревянных изделий, в спичечном производстве, пиротехнике, органическом синтезе различных лекарственных препаратов.

Требования к качеству сырья

Минимальное содержание P_2O_5 в апатитовых рудах составляет 4 – 5 %. Апатитовые руды хорошо обогащаются с получением концентрата, содержащего 39,4 % P_2O_5 . Фосфоритовые руды относятся к промышленным, если содержание P_2O_5 в них не менее 3 % при условии их легкой обогатимости.

Обзор ресурсов

Спрос на фосфатное сырье возрастает быстрыми темпами. Разведанные запасы составляют 100 млрд.т. В мировом балансе добываемого фосфатного сырья основная роль принадлежит фосфоритовым рудам (90 %); в нашей стране, наоборот, благодаря наличию уникальных месторождений Хибинского массива доля апатитовых руд в составе фосфатного сырья является доминирующей. Большая часть общих мировых запасов апатитовых руд сосредоточена в России, в значительном количестве они имеются также в ЮАР, Бразилии, Финляндии, Канаде, Уганде, Габоне, Замбии. Россия по ресурсам фосфатного сырья занимает одно из первых мест в мире, они составляют 12,8 млрд.т., из которых значительная часть промышленных запасов приходится на апатитовые руды. Основные месторождения апатитовых руд размещаются на Кольском полуострове и в Бурятии.

Наиболее крупные общие запасы фосфоритовых руд сосредоточены в Марокко, США, Перу, Казахстане, Монголии, Китае, Египте, Мексике, Ираке, Иордании, Сирии, Тунисе и Алжире. Добыча фосфоритов в зару-

бежных странах достигла 120 млн.т. Месторождения фосфоритов в России находятся в Восточно-Европейской платформе. Крупнейшие месторождения фосфоритов известны в Казахстане (хр. Каратау).

Промышленные типы месторождений апатита

В геоисторическом плане апатитовые и комплексные апатитсодержащие месторождения принадлежат к различным минерагеническим эпохам и связаны с различными формациями горных пород. Наиболее благоприятными для формирования месторождений были условия активизации древних платформ с типоморфными формациями агпаитовых нефелиновых сиенитов и щелочно-ультраосновных карбонатитовых комплексов. С режимом протоактивизации (в раннем протерозое) связано формирование древних щелочно-ультраосновных комплексов с апатитовой и апатит-редкометальной минерализацией.

Среди промышленных месторождений апатита выделяется ряд генетических типов: магматические, карбонатитовые, скарновые, гидротермальные, метаморфогенные, месторождения выветривания. В России наибольшую промышленную ценность представляют магматические и карбонатитовые месторождения.

Апатитовые руды разнообразны. По минеральному составу они подразделяются на силикатно-оксидные, силикатные, карбонатно-силикатные, карбонатные и гидросиликатно-гидрооксидные. Наиболее легко обогащаются силикатные (apatит-нефелиновые) руды. Наиболее трудно – карбонатные и гидросиликатно-гидрооксидные. В легкообогатимых рудах извлечение P_2O_5 в апатитовый концентрат превышает 90 %, в труднообогатимых – составляет менее 70 %.

Магматические (позднемагматические) месторождения. Среди этих месторождений выделяют три формации: апатитовую, апатит-нефелиновую, апатит-магнетитовую.

Месторождения апатитовой формации связаны с габбро-сиенитовыми интрузиями, которые приурочены к участкам пересечения глубинных разломов. Это сложные многофазные тела с бедными апатитовыми рудами (содержание P_2O_5 2 – 4 %), однако руды хорошо обогащаются, и в концентрате содержание P_2O_5 35 %, запасы руд значительные. Примером является Ошурковское месторождение в Бурятии.

Месторождения апатит-нефелиновой формации являются главнейшим геолого-промышленным типом месторождений, с которым связана подавляющая часть запасов и добычи этого сырья. Месторождения приурочены к крупным многофазным концентрически-зональным интрузиям агпаитовых нефелиновых сиенитов и ийолит-уртитов. Это месторождения Хибинского и Ловозерского массивов (Кукисвумчорр, Юкспор, Расвумчорр и др.). За рубежом массивы нефелиновых сиенитов известны в Гренландии, Бразилии, Канаде.

Массивы представляют интрузии, развитые на щитах и краевых зонах платформ. Их площади варьируют от первых десятков до первых тысяч квадратных километров. Рудные тела представляют собой протяженные

(несколько километров) пластовые и линзовидные залежи, осложненные раздувами и пережимами, с закономерным пространственным распределением различных типов руд, либо менее крупные, кулисы расположенные

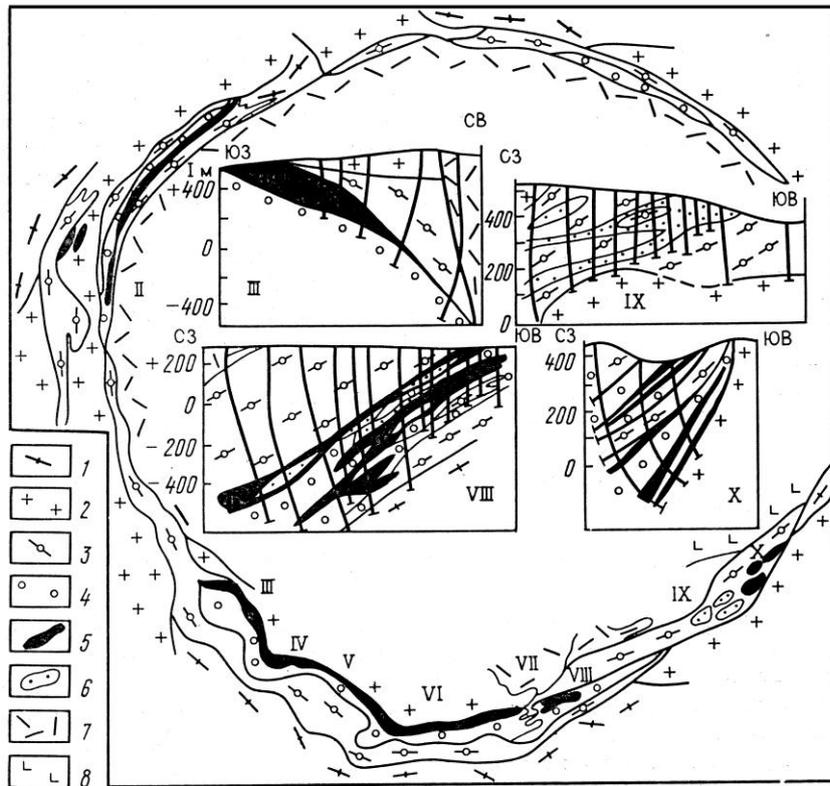


Рис. 22. Геологическая схема продуктивного ийолит-уртитового комплекса Хибинского массива и типичные разрезы месторождений апатит-нефелиновых руд (по материалам Хибинской ГРП):

1 — хибиниты трахитоидные; 2 — ричесорриты массивные; 3 — уртиты, ийолиты, ювиты, малиньиты, мельтейгиты, луявриты трахи-

тоидные; 4 — уртиты массивные, пегматоидные, неравномерно- и среднезернистые; 5—6 — апатит-нефелиновые руды: 5 — массивные, пятнистые, пятнисто-полосчатые, полосчатые, линзовидно-полосчатые, сетчатые, блоковые, 6 — брекчиевые; 7 — луявриты массивные; 8 — фойяиты трахитоидные. Месторождения: I — Партомчорр, II — Куэдьпор, III — Кукисвумчорр, IV — Юкспор, V — Апатитовый цирк, VI — Плато Расвумчорр, VII — Эвеслогчорр, VIII — Коашва, IX — Ньоркпахк, X — Олений ручей.

залежи сложной формы, объединяющиеся в зоны с широким развитием брекчиевых руд. Залежи и зоны выполняют центриклинальные конические разломы, залегая согласно с вмещающими ийолит-уртитами. Промышленные руды месторождений Хибинского массива (рис. 22.) составляют $\frac{3}{4}$ запасов России при среднем содержании 14-18 % P_2O_5 . Руды хорошо обогащаются, в концентрате содержание P_2O_5 39,4 %. Характерны повышенные содержания P, F, Cl, Ti, Zr, Nb, Sr, TR. Руды сложены преимущественно апатитом, нефелином, эгирином, менее распространены сфен и титаномагнетит. Текстуры сетчатые, линзовидно-полосчатые, пятнистые, пятнисто-полосчатые, встречаются также сплошные апатитовые руды. Промышленное значение кроме апатита имеет нефелин, практический интерес могут представить сфен и редкие земли.

Месторождения апатит-магнетитовой формации связаны с габбро-сиенитами, габбро-пироксенит-дунитами (месторождение Кирунаваара и другие в Северной Швеции). Руды комплексные: апатит ассоциирует с магнетитом. Промышленные руды содержат 58-70 % железа и 0,01-3,6 % P_2O_5 .

Карбонатитовые месторождения приурочены к массивам центрального типа ультраосновных щелочных пород, штокам и дайкам карбонатитов. Размещение массивов контролируется зонами глубинных разломов, чаще приуроченных к краевым частям платформ. Руды часто комплексные: апатит-магнетитовые, апатит-флогопитовые, апатит-редкоземельные. В России на долю этих месторождений приходится 11,8 % запасов P_2O_5 (по апатитовым рудам). Содержание P_2O_5 в среднем составляет около 7 %, иногда достигает 20 %. Наиболее изученными месторождениями этого типа являются Ковдорское на Кольском полуострове, Белая Зима, Большое Саянское, Томптор в Сибири, Палабора в ЮАР, Сукулу в Уганде. Сокли в Финляндии и др.

Апатитоносные тела разнообразны по форме и условиям залегания. Это кольцевые и конические дайки, линзо-, серповидные и линейно вытянутые крутопадающие тела, штоки и др. Эти тела выполняют кольцевые, конические, дуговидные, радиальные и линейные разломы и трещины в составе карбонатитовых комплексов. Запасы P_2O_5 первые сотни миллионов тонн. Полезными компонентами, кроме апатита, являются флогопит, нефелин, редкометальные минералы (бадделейт, пирохлор и др.), магнетит, фторкарбонаты редких земель.

Э к з о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Месторождения выветривания связаны с корами выветривания карбонатитовых массивов. Плащеобразные залежи гипергенных апатитовых руд представлены лимонит-франколитовыми рудами, залегающими в нижней части коры выветривания на частично карстообразной поверхности коры. Руды рыхлые, глинистые и каменистые. В составе руд: апатит, франколит, вермикулит, глинистые минералы, редкометальные минералы.

Среднее содержание P_2O_5 около 16 %. Подобные месторождения известны на Ковдорском, Томпторском, Нижнесаянском, Белозиминском месторождениях в России (рис. 23.).

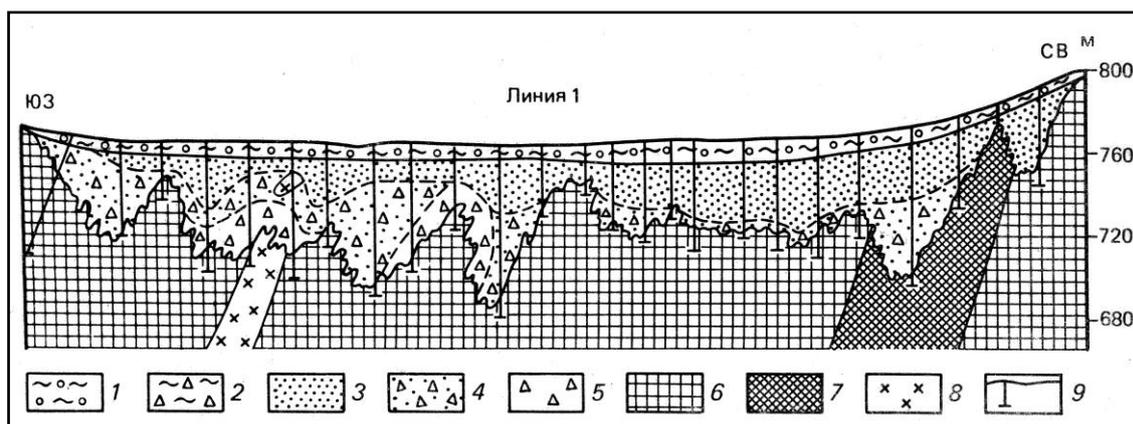


Рис. 23. Геологический разрез апатитонесной коры выветривания Белозиминского массива (по В. Г. Кузнецову):

1 — аллювий; 2 — делювий; 3 — карбонатная охра; 4 — обохренная «сыпучка»; 5 — необохренная сыпучка; 6 — карбонаты кальцитовые; 7 — карбонаты анкеритовые; 8 — ийолиты; 9 — буровые скважины.

Промышленные типы месторождений фосфоритов

Фосфориты являются экзогенными образованиями — осадочными и выветривания, последние играют резко подчиненную роль. Среди осадочных месторождений различают биохимические — морские (современные и ископаемые) и континентальные.

Важнейшими факторами образования и нахождения фосфоритов являются тесно связанные климатические, палеогеографические и фациально-литологические условия. Палеогеографические реконструкции показывают, что крупнейшие скопления происходили на океанических шельфах в условиях мощного апвеллинга, что характерно для экваториального пояса, ограниченного на севере и юге широтами почти 50° .

В мировом балансе запасов фосфоритов резко преобладают зернистые руды (свыше 60 %). Это месторождения Североафриканской провинции. Доля микрзернистых руд составляет 30 % (месторождения — Саянское в России, Каратауское в Казахстане, Фосфория в США и др.). На желваковые фосфориты приходится 7 % мировых запасов (месторождения Восточно-Европейской платформы: Вятско-Камское, Егорьевское и др.). Месторождения и проявления желваковых фосфоритов обнаружены на территории Черноземья, но они числятся в госрезерве. Наиболее перспективной считается Щигровская группа месторождений. Центральное месторождение в Тамбовской области, вероятно, будет вовлечено в разработку после освоения россыпей ильменита, залегающих во вскрышной толще.

Осадочные морские биохимические месторождения наиболее важны в промышленном отношении. Они возникают в результате накопления богатых фосфором раковин, костей рыб, выпадения фосфатов из растворов, их диагенетического и механического перераспределения в виде конкреций.

Современные скопления фосфоритов пока не имеют промышленного значения. Ископаемые месторождения подразделяются на геосинклинальные и платформенные.

Геосинклинальные фосфоритовые месторождения (месторождения хр. Каратау – рис. 24., Скалистых гор – США) – характеризуются линейной вытянутостью, прослеживаются на несколько сотен километров при ширине в десятки километров. В пределах месторождения развита кремнисто-карбонатная фосфоритовая формация мощностью до 100 метров с мелкозернистыми рудами, слагающими до 10 пластов суммарной мощностью до 40 метров. Фосфоритовые формации подвержены интенсивным деформациям – как складчатым, так и разрывным, нередко прорваны магматическими породами, на контакте с которыми фосфориты метаморфизованы и переходят в апатит.

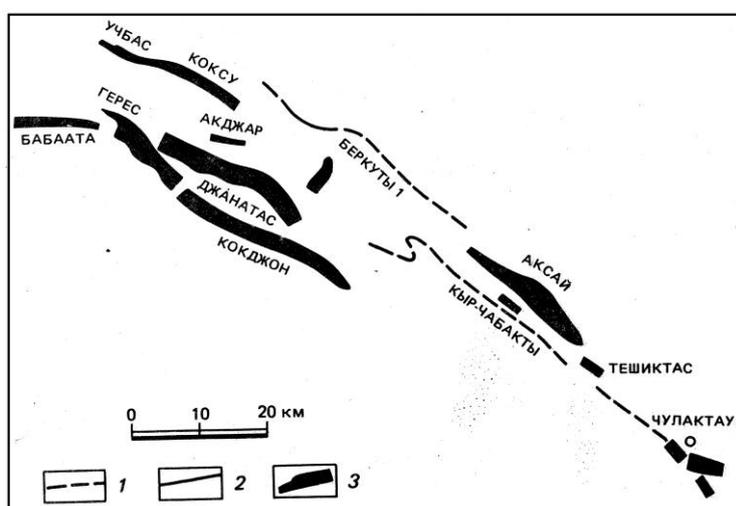


Рис. 24. Схема размещения выходов фосфоритового пласта в хр. Каратау (по Г. И. Бушинскому). Мощность фосфоритового пласта с содержанием P_2O_5 выше 25 % (м): 1 – до 1; 2 — 1-5; 3 – более 5.

Фосфоритовые руды богатые: содержание P_2O_5 до 36 %. Для руд характерно присутствие Sr, V, TR.

Руды сложены в основном фосфатами, кварцем, халцедоном, доломитом, гидрослюдой. В местах размыва микрозернистые руды сменяются фосфоритовыми конгломератами и гравелитами, состоящими из галек фосфоритов и вмещающих пород. Основная масса фосфоритов представлена фторкарбонатапатитом, в котором часть фосфора замещена углеродом.

Платформенные месторождения представлены изометричными или вытянутыми на сотни и тысячи квадратных километров залежами. Фосфориты входят в состав маломощных органогенно-терригенных формаций. В разрезе формаций 1 – 3 рабочих пласта фосфоритов суммарной мощностью 1 – 4 метра, сложенных ракушечными или желваковыми типами руд. Основные породобразующие минералы фосфоритов – фосфаты, глаукоцит, кварц, кальцит, сидерит, глинистые минералы. В рудах встречаются многочисленные фораминиферы, радиолярии, спикулы губок и другая фауна. Фосфориты и вмещающие породы залегают практически горизонтально. Содержание P_2O_5 3 – 18 %, руды нуждаются в обогащении.

В мировом балансе фосфатного сырья такие месторождения имеют небольшое значение (около 3,5 %). Для России их роль достаточно велика как по запасам (около 25 %), так и по добыче (10 – 11%). Основные запасы сосредоточены в Восточно-Европейской провинции, в состав которой входят месторождения Вятско-Камское, Егорьевское и др. Месторождения желваковых фосфоритов обнаружены в Тунгусско-Виллойском бассейне, а также в Бельгии, Франции, Великобритании.

Месторождения переходные от платформенных к геосинклинальным широко распространены и образуют крупнейшие бассейны в Северной Африке – в Марокко, Алжире, Тунисе и др.

Осадочные механические месторождения образуются в процессе морской абразии ранее сформированных фосфоритов различных генетических типов. Они приурочены к терригенно-глауконитовым формациям и представлены галечниковыми и конгломератовыми типами руд. Примером являются месторождения полуострова Флорида (США). На долю галечниковых фосфоритов приходится около 1 % мировых запасов фосфатного сырья, но отдельные месторождения имеют важное промышленное значение.

Месторождения выветривания образуются при физическом и химическом выветривании фосфатсодержащих осадочных и магматических пород. Среди них выделяются остаточные и остаточно-инфильтрационные.

Остаточные месторождения формируются при накоплении продуктов выветривания на месте разрушения фосфатсодержащих пород. При разрушении, растворении и выносе нефосфатных минералов происходит вторичное обогащение фосфоритов с образованием рыхлых разновидностей. Остаточно-инфильтрационные встречаются чаще, поскольку часто образование месторождения сопровождается переотложением продуктов выветривания, при этом образуются каменистые разновидности. Наиболее благоприятными для образования этих месторождений являются осадочные карбонатные фосфатные породы или карбонатно-терригенные отложения. Фосфориты выветривания находятся в карстовых полостях или в виде плащевидных и линейных залежей на поверхности выветривающихся пород. Благоприятным является умеренный или тропический климат. Руды сложены рыхлыми и каменистыми типами с содержанием P_2O_5 10 – 20 %. Запасы руд невелики и месторождения имеют подчиненное промышленное значение. Промышленные скопления рыхлых и каменистых фосфоритов имеются в США (Флорида), в России Ашинское месторождение на Урале, в районах Сибири известно 10 месторождений выветривания, наиболее крупные из них – Белкинское в Кемеровской области и Телекское в Красноярском крае.

Стратиграфически месторождения фосфоритов всех выделенных типов распределены неравномерно; максимумы фосфоритообразования приходятся на поздний докембрий-кембрий, пермь, поздний мел-палеоген и неоген. По В.Н.Холодову периоды максимального фосфогенеза возникают в результате эрозии и выветривания магматогенных скоплений апатитов на

суше и усиленного поступления фосфора в смежные палеоморя. Ясно проявленная эволюция фосфоритообразования выражается в смене микрозернистых фосфоритов (докембрий-палеозой) зернистыми и желваковыми (мезозой-кайнозой).

СЕРНОЕ СЫРЬЕ

Общие сведения

Сера была известна человеку с глубокой древности: упоминание о ней датируется 2000 годом до н.э. Использовали ее для приготовления косметических средств, позже пороха, для лечения кожных заболеваний. Как химический элемент сера впервые была охарактеризована А. Лавуазье в конце 70 – х гг. XVII века. Ее среднее содержание в земной коре $4,7 \cdot 10^{-2}$ мас. %.

В природе встречается как связанная сера – в виде сульфатов, сульфидов, так и самородная. Она концентрируется также в нефтях, углях, горючем газе и некоторых минеральных водах.

Самородная сера бывает кристаллической и аморфной. Сера амфотерна, благодаря чему может окисляться и восстанавливаться. Природная сера нередко загрязнена глинистыми и органическими веществами, гипсом, жидкими углеводородами, она может содержать примеси Se, Te, As.

Наиболее важные соединения серы – сернистый ангидрит SO_2 , сероводород H_2S и серная кислота H_2SO_4 .

Источниками элементарной серы и сернистого ангидрида служат следующие виды сырья: самородная сера, нефть и природные горючие газы (в сырой нефти содержание серы может достигать 14 %, составляя в среднем около 5 %), сульфидные руды различных металлов, сульфатные руды (гипсы и ангидриты), битуминозные пески и ископаемые угли. Из нефти сера извлекается при крекинге и других процессах переработки. В составе природных горючих газов постоянно присутствует сероводород иногда до 20 %. При переработке сульфидных руд получают серную кислоту, сернистый ангидрит и элементарную серу. Месторождения гипса и ангидрита эксплуатируются лишь в некоторых странах из-за высокой стоимости извлечения серы из этих руд.

Области применения

Наибольшее количество серного сырья (70 – 90 %) используется для получения серной кислоты, от 30 до 50 % которой расходуется на изготовление фосфорных (суперфосфаты), азотных и частично калийных удобрений. Следующие по значению области потребления серной кислоты – производство различных химикатов (кислот, солей и др.) и очистка нефтепродуктов. Серную кислоту используют также при выработке красок и пигментов, синтетических волокон, взрывчатых веществ, моющих средств, пластмасс, искусственного каучука и в других отраслях промышленности. В больших количествах серная кислота расходуется при переработке урановых руд и получении урана.

Сера и сернистые соединения используются в бумажной промышленности, химической, резиновой, фармацевтической, в пищевой и текстиль-

ной, служат микроудобрениями и хорошими инсектицидами, сера применяется в производстве спичек и пиротехнике. Новыми областями использования серы является производство серных асфальтов, бетонов, керамики и изоляторов.

Требования к качеству сырья

Серодобывающие предприятия выпускают комовую, гранулированную и молотую серу. По содержанию серы руды делятся на богатые (более 25 %), средние (18 – 25 %) и бедные (5 – 10 %). В России минимальное промышленное содержание серы в месторождениях, разрабатываемых карьерами 6 – 10 %. По размерам зерен сера в рудах может быть скрыто-, тонко- и крупнокристаллической. Вредными примесями является гипс, битумы, мышьяк, селен. Сера, идущая на производство серной кислоты, должна содержать не более 5 % примесей, в том числе не более 1 % органических веществ. Особо жесткие требования предъявляются при изготовлении резины, вискозы, применении в фармацевтической промышленности. Для пиритовых руд минимальное содержание серы 25 %. Сернистый ангидрид извлекается из отходящих газов металлургических заводов, перерабатывающих сульфидные руды цветных металлов, при содержании его 3 % и более.

Обзор ресурсов

Общие запасы самородной серы – около 1 млрд.т. Наиболее значительные запасы находятся в Ираке, США, Чили, Мексике, Японии, Филиппинах. Мировые запасы пирита оцениваются в 1,9 млрд.т. Запасы серы в нефти и горючих газах 1,25 млрд.т., в сульфидах цветных металлов исчисляются многими сотнями миллионов тонн. Огромны запасы серы в углях, гипсах и ангидритах.

Мировая добыча серы – 50 млн.т. Около 33 % приходится на переработку нефти и природного газа, около 30 % - на разработку месторождений самородной серы, 14 % - на улавливание из газовых выбросов коксохимического производства и цветной металлургии, около 16 % - на переработку пирита, пирротина и других сульфидов, около 6 % - на переработку ангидрита и других сульфатов. В России все больше серы дают газоперерабатывающие заводы Оренбурга и металлургические заводы цветных металлов. Производство серы в настоящее время определяется не только потребностями в нем, но и необходимостью очистки нефти и газа.

Доля серы, полученной из нефти, природных и промышленных газов, составляющая в настоящее время около половины, имеет тенденцию к неуклонному возрастанию в связи с ужесточением требований по ограничению выброса сернистых газов в атмосферу. В Канаде практически всю серу получают таким способом.

Сульфиды железа при нагревании разлагаются с выделением сернистого газа SO_2 , который улавливается и переводится в серную кислоту. Этот источник получения серных соединений является доминирующим в Испании, Швеции, Норвегии.

При переработке ангидрита выделяются газы, которые содержат до 10 % сернистого ангидрита, переводимого в серную кислоту. Такой способ получения серы является существенным в немногих странах (Великобритания).

Месторождения самородной серы и ныне продолжают оставаться одним из ведущих источников ее получения.

Добыча серных руд осуществляется в открытых и подземных горных выработках, а также методом подземного расплавления. В США добывают этим методом приблизительно половину всей серы, получаемой в стране.

Промышленные типы месторождений

Серное сырье очень разнообразно и образуется в результате различных геологических процессов, но промышленные месторождения самородной серы являются продуктами вулканической деятельности и биохимических процессов.

Э н д о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Гидротермальные вулканогенные месторождения пространственно и генетически связаны с молодым или современным вулканизмом. Источником серы являются вулканические газовые и жидкие эманации. Все промышленные месторождения этого типа расположены в пределах Тихоокеанского вулканического пояса, отдельные мелкие проявления есть в Средиземноморье. Среди рудовмещающих пород наиболее распространены андезиты, туфобрекчии, туфы, лавобрекчии. Самородная сера отлагается на границе сред с восстановительными и окислительными условиями. В размещении серных залежей важная роль принадлежит тектоническим и литологическим факторам. Залежи размещаются вдоль разломов и зон трещиноватости в пористых породах (туфах, туфобрекчиях). По глубине образования руд выделяют приповерхностные и поверхностные вулканогенные месторождения.

Приповерхностные месторождения серы возникают на глубинах до 350 метров от поверхности. Они приурочены к склонам, подножьям и кальдерам вулканов или к межвулканическим впадинам. Рудные тела локализируются в слоях пористых пирокластических пород на пересечении их разломами и зонами трещиноватости. Форма рудных тел штоко-, линзо-, реже пласто- и трубообразная; размеры: длина 250 – 1300 метров, ширина 50 – 950 метров, мощность 50 – 150 метров. Развиваются процессы окварцевания, пропицитизации (рис. 25.).

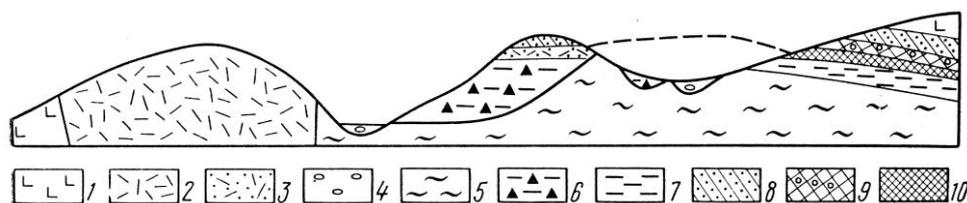


Рис. 25. Схема распределения измененных пород серного месторождения Новое (по Е. Д. Петраченко):

1 — базальты и туфы; 2 — дациты; 3 — алунитовые кварциты; 4 — аллювиальные и озерные отложения; 5 — пропилитизированные породы; 6 — сера в различных измененных породах; 7 — каолинизированные породы; 8 — пористые опалиты (выщелоченные серные руды); 9 — серные руды, частично выщелоченные, с очковой структурой; 10 — серные кварциты и опалиты.

На всех месторождениях наблюдается вертикальная и горизонтальная зональность. Вертикальная зональность заключается в смене сверху вниз следующих разновидностей пород: моноопаловые, серные, алунитовые, каолиновые (рис. 26.). Горизонтальная зональность проявляется в смене фаций по обе стороны от рудоподводящего канала: монокварциты (опалиты) или серные кварциты, серно-алунитовые кварциты, каолиновые кварциты, серицитовые кварциты, гидрослюдисто-монтмориллонитовые породы, пропилиты. Наиболее богаты серой (30 — 35 % и более) серные кварциты. Руды имеют массивную, очковую, полосчатую или прожилковую текстуры. Руды комплексные: наряду с серой можно добывать пирит-марказитовые руды, алуниды, гипс и ангидрит. Запасы серы в отдельных месторождениях достигают десятков миллионов тонн. К этому подтипу относятся месторождения Камчатки и Курильских островов (Новое, Заозерное, Малотойваямское, Ветроваямское и др.), Японии, США, многочисленные месторождения Чили, Перу, Мексики, Колумбии, Эквадора и Филиппин.

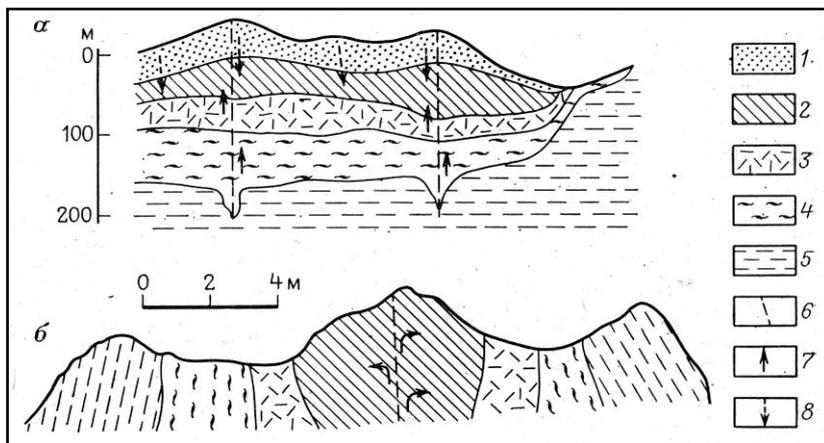


Рис. 26. Схема вертикальной (а) и горизонтальной (б) зональности участка Серное Кольцо месторождения Заозерное. По Г. М. Власову.

1 — монокварциты; 2—3 — кварциты: 2 — серные, 3 — алу-

нитовые; 4 — каолинитизированные породы (каолинит-опаловые, кварц-каолинит-гидрослюдистые и др.); 5 — пропилиты и пропилитизированные андезиты; 6 — разломы; 7—8 — пути движения: 7 — вулканических газов и гидротерм, 8 — метеорных вод.

Поверхностные месторождения уступают по размерам приповерхностным. Они формируются из газовых или водных растворов на современных вулканах, в кратерных озерах. Выделяется несколько разновидностей месторождений. С у б л и м а ц и о н н ы е (экспазиционные) месторождения возникают на вулканах с сольфатарной деятельностью. Сера отлагается на стенках кратеров, трещин, образует корки, налеты, щетки, жилки. Содержание серы 80 — 95 %, но запасы небольшие. Близки к экспазиционным скопления н а т е ч н о й серы, откладывающиеся у выходов на

поверхность термальных вод. Сера в смеси с опалом формирует агрегаты, цементирует обломки пород. Содержание серы 45 – 90 %. Часто сублимационные и натечные агрегаты совмещены. В России они известны на вулканах островов Кунашир и Итуруп.

Вулканогенно-осадочные месторождения серы в кратерных озерах образуются в результате выделения на дне озер вулканических сероводородных газов или вод. При окислении сероводорода осаждается сера, вместе с ней накапливались опал, глинистые минералы, алунит, гипс, марказит, вулканический пепел. Возникали серные илы, слагающие линзы длиной до сотен метров и мощностью от нескольких метров до 70. Запасы серы в единичных случаях достигают 1 млн.т. Сероносные илы есть в России в кратерных озерах островов Кунашир, Парамушир, на Камчатке, за рубежом в Японии, Индонезии. Серные потоки на действующих вулканах наблюдаются довольно часто, но они редко имеют промышленное значение. Источником серы послужили поверхностные и иные залежи, из которых сера была выплавлена при усилении вулканической деятельности. Форма серных потоков языковидная клинообразная. Сера обычно скрытокристаллическая грязно-зеленого цвета, содержит примеси до 10 %. Крупнейший поток вулкана Сиретоко находится в Японии.

Э к з о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Экзогенные месторождения заключают около 90 % мировых запасов и 95 % добычи самородной серы.

Осадочные (биохимические) сингенетические месторождения образуются в водных бассейнах в результате окисления сероводорода при участии аробактерий. Продукт окисления – самородная сера накапливается в донных отложениях. Примером являются серные озера Поволжья России. В настоящее время они не имеют промышленного значения.

Инфильтрационно-биохимические эпигенетические месторождения возникают в результате следующих процессов: окисления сероводорода кислородом поверхностных вод, разложения гипса растворами хлористого натрия, редукции перешедшего в раствор сульфат-иона и окисления сероводорода кислородом инфильтрационных вод (при участии тиобактерий с последующим отложением серы на месте растворенного гипса), редукции гипсового кепрока соляных штоков сульфатредуцирующими бактериями с образованием сероводорода и кальцита, последующего окисления сероводорода до элементарной серы и ее накопление в кальцитовой зоне кепрока.

Важные в промышленном отношении эпигенетические месторождения серы находятся на побережье Мексиканского залива на территории США и Мексики, в Испании, на юге Франции, в Ираке и других странах, в России – месторождения Водинское, Алексеевское и другие в Самарской области. По морфологическим признакам среди эпигенетических месторождений серы выделяются солянокупольные, приуроченные к кепрокам соляных куполов; пластовые и пластообразные; линзовидные и гнездовые.

Из солянокупольных месторождений добывают около 80 % всей самородной серы – это месторождения Мексиканского залива (США и Мек-

сика). Соляные штоки расположены на различной глубине от 50 до 800 метров. Они прорывают все вмещающие породы. Форма штока в плане овальная или круглая, диаметр от нескольких сотен метров до 5 км. Склоны обычно крутые. Соляные штоки состоят из галита (90 – 95 %) и ангидрита (5 – 10 %). Над ними залегают породы кепрока мощностью от нескольких метров до 300 м. Кепрок состоит из трех зон: нижней ангидритовой, промежуточной гипсовой и верхней кальцитовой. Иногда в кальцитовой зоне локализуются промышленные залежи нефти. В сероносных кепроках сера приурочена к кальцитовой или промежуточной гипсовой зоне, где она заполняет трещины и каверны. В ангидритовой зоне сера встречается редко, а в соляном штоке отсутствует. Содержание серы от 20 – 50 %. В серных залежах отмечается повышенное количество целестина, иногда барита, встречаются сульфиды, но содержание их редко превышает 1 %. Есть каверны с углекислотой, метаном, сероводородом, нефтью.

Образование серы трактуется следующим образом. При проникновении соляного штока в область грунтовых вод формируется ангидритовая зона кепрока за счет растворения и выноса галита. В дальнейшем при взаимодействии пород ангидритовой зоны с нефтяными водами часть ангидрита гидратировалась и переходила в гипс, а часть растворялась в воде с образованием активных ионов Ca^{2+} и $[\text{SO}_4]^{2-}$. Присутствие нефти и сульфатредуцирующих бактерий стимулировало восстановление сульфатов до сероводорода по схеме $\text{CaSO}_4 + 2\text{C}_{\text{орг.}} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{S} + \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$. Окисление сероводорода приводило к отложению самородной серы в ассоциации с кальцитом. Соляные купола без признаков углеводородов не содержат серную минерализацию.

Пластовые и пластообразные месторождения серы известны во многих странах. Обычно они тесно связаны с лагунно-морскими отложениями сульфатно-карбонатного состава. Сера приурочена к пластам карбонатных пород – известняков, доломитов, мергелей, контактирующих или переслаивающихся с сульфатными породами – гипсами и ангидритами. Мощность согласных пластовых и пластообразных тел от нескольких дециметров до первых десятков метров. Руды высокосортные со средним содержанием серы 25 % и более возникают путем замещения чисто сульфатных пород – ангидритов и гипсов, а более низкого качества (12 – 14 %) по породам смешанного состава – доломит-сульфатным. Главные минералы – кальцит и сера. Кроме этого в рудах содержатся глинистые минералы, в подчиненном количестве гипс, целестин, барит, органическое вещество. Сера представлена двумя разновидностями – ранней скрытокристаллической, тонко распыленной в известняках и явно кристаллической, более поздней, образующей агрегаты, друзы кристаллов в кавернах.

Линзовидные и гнездообразные месторождения по условиям залегания, составу руд и вмещающих пород аналогичны пластообразным месторождениям, отличаются они морфологией и меньшими размерами рудных залежей.

В настоящее время доказано, что все крупнейшие месторождения серы – инфильтрационно-метасоматические. Они возникают за счет серы сульфата кальция (гипса, ангидрита) карбонатно-галогенных формаций и являются продуктами замещения этих сульфатов новообразованиями серы и кальцита. Сера выделяется в результате бактериальной сульфатредукции (при участии битумов), последующего окисления сероводорода и накапливается вместе с вторичным кальцитом. Приуроченность серы к нефтегазонасыщенным бассейнам обусловлена генетической связью ее с углеводородами. Залежи серы тяготеют при этом к тем участкам, которые контактируют с водонефтегазонасыщенными горизонтами. Важная роль в становлении месторождений серы принадлежит структурным факторам. Она заключается в приуроченности залежей серы к антиклиналям, брахиантиклиналям, свод которых разрушен, т.е. открытым в гидродинамическом отношении.

М е с т о р о ж д е н и я с е р о с о д е р ж а щ е г о с ы р ь я

1. Важное значение имеют высокосернистые нефти и битумы, а также сероводородсодержащие горючие газы. Крупные месторождения известны в Мексике, Саудовской Аравии, Кувейте и других странах. В России наибольшие запасы газовой серы сосредоточены в месторождениях Волго-Уральской провинции.
2. Значительное количество серы и серной кислоты получают при переработке колчеданных руд. Содержание серы в массивных колчеданных рудах 40 – 50 %.
3. В ряде стран организовано производство серы из природных сульфатов (ангидрит, гипс, алунит).
4. Содержание серы в углях и горючих сланцах может достигать нескольких процентов, но в большинстве месторождений оно невысокое и непостоянное, поэтому в широких масштабах извлечение серы экономически неэффективно. Но наиболее обогащенные серной кислотой разности углей Подмосковского бассейна используются для попутного ее получения.

БОРНОЕ СЫРЬЕ

Общие сведения

Считается, что бура была известна почти 4 тыс. лет назад, ее использовали для изготовления амулетов. Позже ее употребляли при мумифицировании, добавляли в глазури. Как химический элемент бор был впервые получен Гей-Люссаком и Л. Тенаром в 1808 году. Кларк бора в земной коре составляет $1,2 \cdot 10^{-3}$ %. Осадочные породы обогащены бором, а магматические – обеднены. Повышенные концентрации бора отмечаются в глинах и глинистых сланцах, фосфоритах, железо-марганцевых конкрециях, а также в подземных водах вулканически активных районов, в нефтяных водах и в грязевых вулканах. Содержание бора свойственно водам океанов, лагун и озер, куда он поступает из кор выветривания или с продуктами вулканических извержений.

Бор входит в состав 160 минералов, подавляющее большинство из них (свыше 100) являются боратами Mg, Ca, Na, и K, известны также бороси-

ликаты и боралюмосиликаты. Лишь некоторые из минералов имеют промышленное значение. Для эндогенных руд – это датолит, данбурит, людвигит, суанит, котоит; в экзогенных рудах наиболее распространена бура, колеманит и улесит. В природе часто встречаются аксинит, турмалин, но в настоящее время эти минералы не используются.

Области применения

Практическое использование бора и его соединений чрезвычайно разнообразно. Бор применяется более чем в ста отраслях промышленности и сельского хозяйства. Около 55 % борного сырья потребляют стекольная и керамическая промышленность для изготовления оптических стекол, теплоизолирующего стекловолокна, кислото- и огнеупорных изделий, эмалей, фарфора и др. От 15 до 30 % бора применяется для выработки моющих и отбеливающих веществ, в небольшом количестве в медицине, сталелитейной, резиновой, лакокрасочной промышленности. В сельском хозяйстве (10 % потребления) бор служит микроудобрением.

В последние годы особенно расширились области применения борного сырья. Бориды (соединения бора с металлами) используются при производстве особо прочных деталей реактивных двигателей. Карбид бора имеет высокую твердость, абразивную способность и применяется в шлифовальном деле. Нитриды бора используются в качестве термоизоляторов и полупроводниковых материалов. Один из нитридов (боразон) по твердости подобен алмазу. Сложные борводороды – бораны являются горючим для реактивных двигателей.

Требования к качеству сырья

Все боратовые руды отличаются хорошими технологическими свойствами, при содержании B_2O_3 выше 12 % они идут в переработку без обогащения. Сложность и многообразие видов сырья являются причиной отсутствия единых промышленных требований к нему. Максимальные содержания B_2O_3 в рудах могут достигать 20 – 30 %, а минимальное – 2 – 6 %. Вредные примеси в них – Ca, Mg, сульфаты Fe и Al, сопутствующие полезные компоненты – сода, галит, калийные и магниевые соли, глины, цеолиты.

Содержание B_2O_3 в рапе соляных озер изменяется от 0,5 до 2,2 %, а в бороносных поверхностных и подземных водах оно еще ниже, однако это сырье легко добывается и перерабатывается.

Обогащение не требуется для гидроборацитовых и пандермитовых руд, в которых содержание B_2O_3 13 – 25 %, а бедные руды (2 – 13 % B_2O_3) легко обогащаются.

Датолитовые и данбуритовые руды делятся на высокосортные (10 % B_2O_3 и более), среднесортные (5 – 10 % B_2O_3) и низкосортные (3 – 5 % B_2O_3). Руды требуют обогащения. Сопутствующим полезным компонентом в них иногда является волластонит, используемый как керамическое сырье.

Обзор ресурсов

Запасы борных руд надежно не оценены. Ориентировочно мировые запасы руд составляют около 1,5 млрд.т. Наибольшими запасами располагают Турция, США, Боливия, Чили, Аргентина и др.

Главными продуцентами борного сырья в мире являются Турция и США, на их долю в середине 90 –х гг. минувшего столетия приходилось более 90 % мировой добычи, составлявшей 1,2 млн.т. B_2O_3 ежегодно (без России и стран СНГ). Оставшаяся часть приходилась на КНР, Аргентину, Перу и Чили. Заметное количество этого сырья добывается в России и Казахстане.

Промышленные типы месторождений

Э н д о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Скарновые месторождения – основной для России в промышленном отношении тип. Месторождения представлены магнезиальными и известковыми скарнами.

Магнезиальные скарны образуются на контакте доломитов, доломитовых известняков, магнезитов с гранодиоритами и диоритами. Форма скарновых залежей линзо- и пластообразные тела, реже отмечаются штоко- и жиллообразные. Длина скарновых тел может достигать 1,5 км, мощность – десятки метров. Скарны сложены диопсидом, шпинелью, форстеритом, флогопитом, серпентином. По минеральному составу руд различают людвигитовые, суанитовые и котоитовые месторождения. Людвигитовые месторождения – наиболее глубинные, самые крупные из них имеют архейский возраст. Гипабиссальные месторождения – обычно мелкие, локализируются в экзоконтакте гранитных массивов, имеют преимущественно мезозойский возраст. Людвигит всегда сопровождается магнетитом, т.е. руды этих месторождений комплексные – железо-борные. Содержание B_2O_3 в рудах 4 – 10 %. Месторождения известны в России (Таежное в Якутии, в Забайкалье, Горной Шории), в Швеции, США.

Суанитовые месторождения встречаются редко, но отличаются крупными запасами. Содержание B_2O_3 в рудах высокое (12 – 17 %).

Котоитовые месторождения образуются на небольших глубинах, часто сопровождаются полиметаллическим, медным, висмутовым и иным оруденением. Содержание B_2O_3 в рудах обычно 6 – 8 %. Запасы руд от небольших до средних. Месторождения обнаружены на Дальнем Востоке и Северо-Востоке, за рубежом в Корее, США, Японии и др.

Известковые скарны часто приурочены к зонам мезозойской и кайнозойской складчатости, образуются на контакте известняков или известково-силикатных пород с гранодиоритами и кварцевыми диоритами. Борносные скарны – инфильтрационные. Преобладают пироксен-гранатовые скарны, нередко присутствует волластонит, который может иметь промышленное значение. Промышленно ценными боровыми минералами являются датолит и данбурит, локализующиеся в экзоскарнах. В эндоскарнах образуется аксинит и иногда турмалин, эти минералы промышленного значения не имеют. Месторождения представлены пластообразными и

линзовидными, круто-, реже пологопадающими залежами известковых скарнов (рис. 27.) размером до трех километров по простиранию.

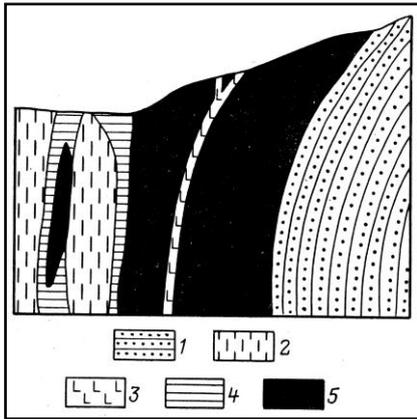


Рис. 27. Схематический геологический разрез месторождения бора (по В. М. Щербину):

1 — кремнистые сланцы и песчаники; 2 — песчаники, алевролиты и сланцы; 3 — дайка диабазовых порфиритов; 4 — гранатовые скарны, безрудные; 5 — волластонит-гранат-пироксеновые датолитсодержащие скарны.

Залежи имеют мощность в десятки-сотни метров. Содержание B_2O_3 варьирует от 5 до 15 %. К известково-скарновым относятся месторождения Приморья (Дальнегорское), боропроявления на Урале, Сибири, за рубежом в Японии, Великобритании и др.

Вулканогенно-гидротермальные месторождения бора представлены горячими минеральными источниками в областях современного вулканизма. Они распространены довольно широко, но имеют небольшое практическое значение, эксплуатируются лишь в Испании. Содержание борной кислоты изменяется от сотых долей процента до 0,5 %. Боросодержащие горячие источники вулканического происхождения известны в России (Камчатка), США и других странах.

Экзогенные месторождения

Вулканогенно-осадочные месторождения бора связаны с молодым вулканизмом. Источником бора служат вулканические эксгальции или вулканические породы, из которых бор легко выщелачивается. Месторождения формируются в бессточных или слабо проточных котловинах (пресных и соленых озерах) за счет выпадения борных минералов в результате химических реакций в условиях аридного климата.

На вулканогенно-осадочных месторождениях базируется вся боровая промышленность капиталистических стран. Эти месторождения отличаются высокими содержаниями бора, благоприятными горнотехническими условиями и простотой технологической переработки руд.

По составу вмещающих пород и возрасту в этих месторождениях выделяются две группы. В месторождениях первой группы наблюдаются два типа.

Месторождения первого типа приурочены к соленосным (эвапоритовым) озерным отложениям четвертичного возраста. Образование их связано с fumarольной деятельностью действующих или недавно потухших вулканов. Месторождения расположены в котловинах у подножия вулканов. Эти котловины заняты солеными озерами (саларами) с пластами улек-

сита, бурой, колеманитом и другими минералами, ассоциирующими с хлоридами и сульфатами Na, K, Ca. Мощность боровых слоев – 1м, содержание B_2O_3 до 40 %. Запасы невелики. Месторождения развиты в Южной Америке (Чили, Перу, Аргентине, Боливии).

Месторождения второго типа также образуются в соленых озерах, но непосредственно не связаны с современным вулканизмом. Источником бора являлись вулканогенные породы, при выветривании которых в условиях аридного климата бор переносился и накапливался в бессточных котловинах. Из боратов преобладают бура и улексит, сопутствующие минералы – галит, сильвин, сода. Бор извлекают из рапы, из донного ила и самосадочной буры. Пластовые рудные тела имеют мощность до 15 м. Содержание B_2O_3 0,5 – 2,5 %, запасы нередко крупные. Крупнейшими месторождениями являются оз.Серлс (США), месторождение Кырка – рис. 28 (Турция). Подобные месторождения известны в Иране, Индии.

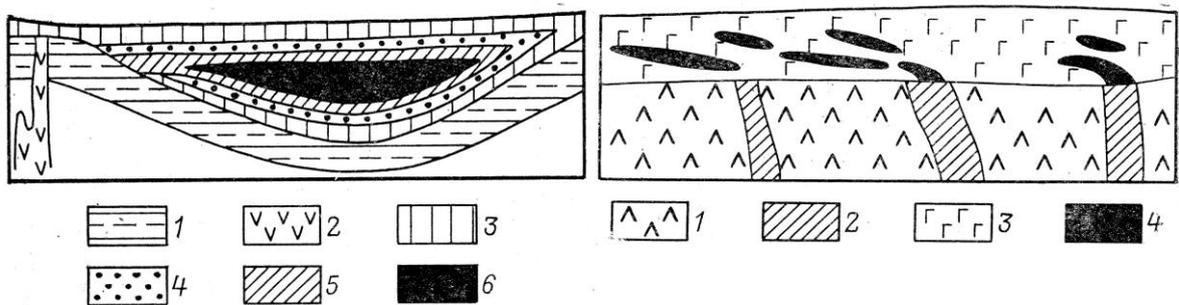


Рис. 28. Схематический разрез месторождения Кырка (Турция). По К. Инану и др.: 1 — породы фундамента; 2 — экструзивное тело; 3 — известняки; 4—6 — зоны развития боратов: 4 — кальциевых, 5 — натрий-кальциевых, 6—натриевых.

Рис. 29. Схематический разрез боратового месторождения в гипсовой шляпе соляного купола. По С. С. Коробову:

1— галогенные, породы соляного тела; 2— пласты борно-калийных солей; 3 — гипсовая шляпа; 4 — залежи боратов.

Месторождения второй группы локализуются в отложениях пресных озер – глинистых или карбонатно-глинистых породах. Бораты залегают в этих породах в виде пластов, линз, прослоев. Бор первоначально осаждался в виде буры, колеманита, улексита, которые в процессе диагенеза превращались в пандермит, иньбит и другие минералы. Содержание B_2O_3 в рудах от 10 до 50 %. Запасы от средних до крупных. Примером являются месторождения Турции, США, Аргентины.

Осадочные химические месторождения связаны с залежами каменной и калийно-магниевых солей. В месторождениях каменной соли известна лишь непромышленная вкрапленность боратов. В подавляющем большинстве случаев бораты ассоциируют с калийно-магниевыми солями, поскольку

ку бор осаждается лишь при высокой солености раствора. Месторождения образуются в крупных солеродных бассейнах пермского возраста. В хлоридно-сульфатных солях бор представлен калибаритом, борацитом и ассоциирует с сильвином, карналлитом и сульфатами К, Mg, в хлоридных месторождениях главными минералами являются бишофит и карналлит, а бор представлен борацитом. Содержание B_2O_3 обычно 1 – 5 %, часто это непромышленное оруденение, но оно может служить источником для формирования более крупных остаточных и инфильтрационных месторождений.

Остаточные и инфильтрационные месторождения чаще всего приурочены к гипсовым шляпам соляных куполов, содержащих бедное борное сырье осадочного происхождения. Первично осадочные бораты замещаются ашаритом, улукситом и иньбитом. Содержание при этом B_2O_3 повышается до 25, иногда 35 %. Форма залежей пласто- и линзообразная. Бораты ассоциируют с гипсом и глинистыми минералами. Бораты могут растворяться в водах и переотлагаться в пределах гипсовой шляпы, образуя инфильтрационные залежи, состоящие из вторичного гидроборацита, улуксита и других кальциевых боратов (рис. 29.).

Остаточные и инфильтрационные месторождения тесно связаны между собой, встречаются на одних и тех же месторождениях. Мощность рудных тел от долей метра до десятков метров. Запасы небольшие до средних.

РАЗДЕЛ III. МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СЫРЬЯ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

ГЛИНЫ И КАОЛИНЫ

Общие сведения

Глины – это тонкодисперсные горные породы, состоящие в основном из глинистых минералов с размером частиц менее 0,005мм. К глинистым минералам относятся различные водные силикаты глинозема. По структуре и составу выделяют аллофановую, каолиновую (каолинит, дикцит, накрит, галлуазит), монтмориллонитовую (монтмориллонит, нонтронит, бейделит и др.), гидрослюдистую, палыгорскитовую группы. Кроме того, отмечаются хлоритовые глинистые минералы и вермикулит. Наряду с преобладающими глинистыми минералами в состав глин входят обломки зерен кварца, полевых шпатов, турмалина, амфиболов, чешуйки слюд, обломки различных пород. Из новообразованных минералов присутствуют карбонаты, сульфаты, фосфаты, опал, оксиды и гидроксиды железа и марганца, органические вещества. К глинистым минералам относятся и непластичные их разновидности (аргиллиты, глинистые сланцы).

Свойства и области применения

Характерное свойство глин – пластичность, т.е. способность при смешении с водой давать тесто, принимающее под давлением любую форму и сохраняющее ее при снятии давления. Глины делят на высоко-, средне-, умеренно, малопластичные и непластичные. Наивысшая пластичность

свойственна монтмориллонитовым глинам, менее пластичны каолинитовые, гидрослюдистые и бейделитовые глины.

Связность – способность связывать в прочную и однородную массу частицы непластичных минералов.

Набухание – свойство глин увеличиваться в объеме при поглощении воды. Наибольшим набуханием обладают монтмориллонитовые и бейделитовые глины, наименьшим – каолинитовые глины.

Спекаемость заключается в способности глин при обжиге давать камнеподобное тело («черепок»).

Огнеупорность – свойство глинистых пород выдерживать высокие температуры. Глины делят на огнеупорные (температура более 1580° С), тугоплавкие (1350-1580° С) и легкоплавкие (температура ниже 1350° С). Наиболее огнеупорны каолины и каолинитсодержащие глины, к легкоплавким глинам относятся монтмориллонитовые, бейделитовые, гидрослюдистые глины.

Вспучивание происходит из-за выделения газообразных продуктов, возникающих при сгорании органических веществ, при диссоциации оксидов и карбонатов. Оно является отрицательным свойством в керамике.

Адсорбционные свойства глин заключаются в способности поглощать из окружающей среды и удерживать на поверхности различные ионы и молекулы. Наиболее активными адсорбентами являются монтмориллонитовые и бейделитовые глины.

Окраска глин зависит от минерального состава и от наличия примесей. Мономинеральные глины имеют белый или светло-серый цвет с разными оттенками.

По ценности и характеру требований промышленности выделяются четыре наиболее важных группы глин.

К строительным и грубокерамическим относятся легкоплавкие, реже тугоплавкие глины. Они применяются для производства строительных материалов (кирпич, черепица) и грубой керамики – дренажных труб, метлахской плитки, глиняной посуды, в производстве цемента. Изделия строительной и грубой керамики в зависимости от назначения имеют пористый или плотный черепок. В первом случае температура спекания 900-1000°, плотный черепок имеет температуру спекания 1200°. Ограничено содержание карбонатов, сульфатов, сульфидов железа, органики.

Огнеупорные и тугоплавкие глины имеют в основном каолинитовый состав. Они применяются для внутренней облицовки доменных, металлургических и стекольных печей, кислотоупорных изделий, тонкой керамики, в литейном деле. Огнеупорные изделия должны обладать высокой (1580-1770° С) огнеупорностью, большой механической прочностью и способностью противостоять действию газов и шлаков. Показателем огнеупорности является высокое содержание глинозема, максимально допустимое содержание оксидов железа 4,5 %.

Каолины – это малопластичные горные породы, состоящие из глинистых минералов каолинитовой группы. Тонкодисперсные переотложенные

каолины называют каолинистыми глинами. Каолины относятся к высокоогнеупорным: температура плавления до 1795°C . Они подвергаются обожжению. Обожженные каолины используются для производства тонкой (около 15 %), грубой и строительной керамики. К тонкой керамике относятся предметы санитарно-технического и медицинского оборудования, бытовой и химической посуды и оборудования. В качестве наполнителя обожженный каолин используется в бумажной (более 40 %), химической (более 8 %), стекольной, парфюмерно-косметической промышленности, карандашном производстве и др. Здесь важное значение имеет цвет, он должен быть белым, есть ограничения по химическому составу, примесям и содержанию влаги.

Бентониты представляют собой тонкодисперсные глины с высокой связующей способностью, адсорбционной и каталитической активностью, содержащие не менее 60 % минералов группы монтмориллонита. Различают натриевые бентониты, характеризующиеся высокой набухаемостью (до 19 раз), коллоидностью, дисперсностью; щелочноземельные, которым присущи высокие адсорбционные и каталитические свойства и смешанные.

Бентониты применяются для изготовления промывочных жидкостей (32 %), производства железорудных окатышей (20 %), получения керамзита (28 %), массового литья (17 %). Кроме того, бентониты в качестве адсорбентов используются в нефтеперерабатывающей, пищевой, текстильной промышленности, как наполнитель мыла, в медицине. В сельском хозяйстве бентониты применяются для производства комбикормов, для улучшения агротехнических свойств песчаных почв. Оценка пригодности бентонитов для каждого производства возможна путем технологических испытаний.

Обзор ресурсов

Несмотря на широкое распространение глинистых пород многие из них являются дефицитным сырьем. Исключительно редки палыгорскитовые глины, ограниченно развиты высококачественные каолины и щелочные бентониты. В начале 80 – х годов минувшего столетия общий мировой уровень добычи глинистого сырья составляет около 600 млн.т., причем на долю каолинов приходилось более 17 млн.т., бентонитов более 7 млн.т., сепиолитовых глин – около 2 млн.т. Наибольшее количество этого сырья было добыто в США: свыше 50 млн.т., включая 7 млн.т. каолина, 4,5 млн.т. сепиолита.

Мировые разведанные запасы бентонитовых глин оцениваются в 2 млрд.т., из них почти половина приходится на США. Мировая добыча составляет 9 млн.т. В 1975 году в СССР добыто 2,5 млн.т. бентонитов.

Запасы каолинов исчисляются примерно в 450 млн.т. Наиболее крупными производителями являются США и Великобритания.

Запасы огнеупорных глин в странах СНГ составляют 2,5 млрд.т., добыча – 10 млн.т. Запасы тугоплавких глин составляют 660 млн.т., а добыча – 3,2 млн.т. На территории Черноземья учтено 12 месторождений огне-

упорных и тугоплавких глин, из которых эксплуатируются четыре. В Воронежской области с 80 – х годов XIX века разрабатывается Латненское месторождение. В настоящее время эксплуатируются карьеры Стрелицкий, Ближний, Средний и Белый Колодец.

Запасы и добычу легкоплавких глин учесть трудно. На территории Черноземья известно 386 месторождений кирпичных глин, из которых 157 эксплуатируется кирпичными заводами. Крупными месторождениями являются Железногорское, Дорожное, Новоусманское II и Латненское.

Глинистым сырьем для получения керамзита и аглопорита служат преимущественно четвертичные глины и суглинки, палеогеновые и юрские глины. Всего на территории Черноземья учтено 25 месторождений керамзитовых глин, из которых 10 эксплуатируется керамзитовыми заводами. Самым крупным является Терновское месторождение. В Воронежской области разрабатываются Латненское и Бутурлиновское месторождения.

Промышленные типы месторождений

Образование глинистых пород разнообразно. Среди них присутствуют как эндогенные (гидротермальные), так и экзогенные месторождения. Особое место занимают метаморфизованные глинистые породы - аргиллиты и глинистые сланцы.

Э н д о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Вулканогенно-гидротермальные метасоматические месторождения наиболее характерны для бентонитов, в меньшей степени для каолинов и огнеупорных глин.

Месторождения каолинов пространственно и генетически связаны с окварцованными и аргиллизированными андезит-дацитовыми толщами кайнозоя, редко более древнего возраста. Формы залежей – жилообразные, линзовидные, трубчатые; размеры небольшие: мощность – десятки, протяженность – десятки-сотни метров. Запасы подобных каолинов составляют около трети мировых запасов. Месторождения распространены в Турции, Италии, Японии, Чили, Мексике, в Закавказье (Загликское месторождение).

Месторождения бентонитов этого типа тоже связаны с проявлениями вулканизма, но образуются они при воздействии щелочных поствулканических растворов. Формы рудных тел, приуроченных к зонам разломов и оперяющих трещин – штоки, пластообразные залежи мощностью до 130 м. По запасам месторождения крупные и уникальные. Типичные представители – месторождения Азербайджана, Грузии, Армении, за рубежом - Японии и США.

Вулканогенно-осадочные месторождения характерны для бентонитов. Различают морские месторождения, связанные с подводными преобразованиями вулканогенных пород, и континентальные, образующиеся в содовых озерах. Морские месторождения играют более важную роль. Они приурочены к районам активной вулканической деятельности. По составу бентониты щелочные, что связано с содержанием в воде соединений Na,

наличием щелочей. Форма залежей – пластовая, мощность от десятков сантиметров до 10 метров, запасы от мелких до крупных. Представителем этого типа является уникальное Огланлинское месторождение в Туркмении, есть месторождения в Грузии и Узбекистане, а также в США.

Экзогенные месторождения

Месторождения коры выветривания (остаточные) образуются при выветривании магматических, метаморфических, реже осадочных пород. В зависимости от состава материнских пород образуются каолинитовые, галлуазитовые, гидрослюдистые, монтмориллонитовые глины. Они слабо пластичны, используются редко. Практическое значение имеют остаточные месторождения каолинов. Для формирования каолинов благоприятны кислые, щелочные и другие силикатные породы (граниты, гнейсы, кристаллические сланцы и др.), при этом элювиальные залежи принято называть первичными каолинами, а переотложенные делювиальные и аллювиальные – вторичными каолинами. Формы рудных тел плаще- и гнездообразные залежи, их средняя мощность – десятки метров. В минеральном составе руд кроме каолинита отмечаются галлуазит, монтмориллонит, халцедон, реликтовые минералы.

В России месторождения находятся на Урале, Сибири, на Дальнем Востоке, на Украине известны крупнейшие месторождения Великогадоминецкое и Турбовское.

Инфильтрационные или экзогенно-метасоматические месторождения образуются в результате ресилификации, деффизации и обеления бокситов. Источником растворенной кремнекислоты служат породы кровли, присутствие органики обуславливает кислую восстановительную реакцию вод, что приводит к замещению бокситов каолинитом и галлуазитом. Примерами являются полигенные залежи Троицко-Байновского месторождения на Урале, Апрельское в Западной Сибири.

Обломочные месторождения играют подчиненную роль. Это пролювиальные и делювиальные месторождения глин. Пролувиальные глины приурочены к конусам выноса, образуют прослои среди грубообломочных и песчаных пород. Глины плохо сортированы, полиминеральные. Делювиальные месторождения возникают при сползании продуктов выветривания по склонам холмов. Форма залежей – плащеобразная, мощность непостоянна, сортировка глин слабая. Глины полиминеральные.

Осадочные месторождения возникают в результате переотложения и диагенетического изменения продуктов кор выветривания. Преобразование глинистых минералов происходит в ходе их размыва, переноса и отложения. Среди осадочных месторождений глин выделяют континентальные, лагунные и морские. Среди континентальных месторождений различают аллювиальные, озерно-болотные и озерные, ледниковые, флювиогляциальные, эоловые; среди лагунных – месторождения опресненных и осолоненных лагун, а среди морских – месторождения прибрежной и удаленной от берега частей шельфа. Легкоплавкие глины образуются во всех случаях, тугоплавкие и огнеупорные – в озерно-болотных бассейнах и опрес-

ненных лагунах. Тонкодисперсные переотложенные каолины являются каолиновыми или гидрослюдисто-каолиновыми огнеупорными глинами. Месторождения наиболее ценных огнеупорных глин образуются в специфических условиях, они формируются путем отложения глинистого материала на дне озер, опресненных лагун в удалении от берега. В этих условиях отсутствие электролитов благоприятствует медленному выпадению вещества, что приводит к накоплению однородных тонкодисперсных глин. По минеральному составу глины каолиновые, кроме этого присутствуют галлуазит и гидрослюды, иногда гидраты алюминия, примеси карбонатов, гидроксиды железа. Залежи имеют форму линз и пластов, по простиранию они прослеживаются на несколько километров при мощности от нескольких метров до первых десятков метров. К этому типу относятся месторождение Латнинское в Воронежской области (рис. 30.), месторождения Боровичско-Любытинского района в Новгородской области, Часовьярско-Дружковская группа месторождений на Украине.

Осадочные месторождения бентонитов имеют обычно кайнозойский возраст. Лучшим качеством характеризуются морские месторождения. Щелочная среда водоемов способствует преобразованию хлорит-гидрослюдистых продуктов выветривания в монтмориллонит. Месторождения формируются в мелководных лагунных условиях в умеренном гумидном климате, а в аридной зоне – в более отдаленных от берега и застойных участках морских водоемов. Залежи имеют пластообразную форму, их площадь измеряется десятками и сотнями квадратных километров, мощность от метров до десятков метров. Запасы большие: миллионы, иногда десятки миллионов тонн. Месторождения этого типа известны в Поволжье, Средней Азии, на Украине (Черкасское), а за рубежом – в США.

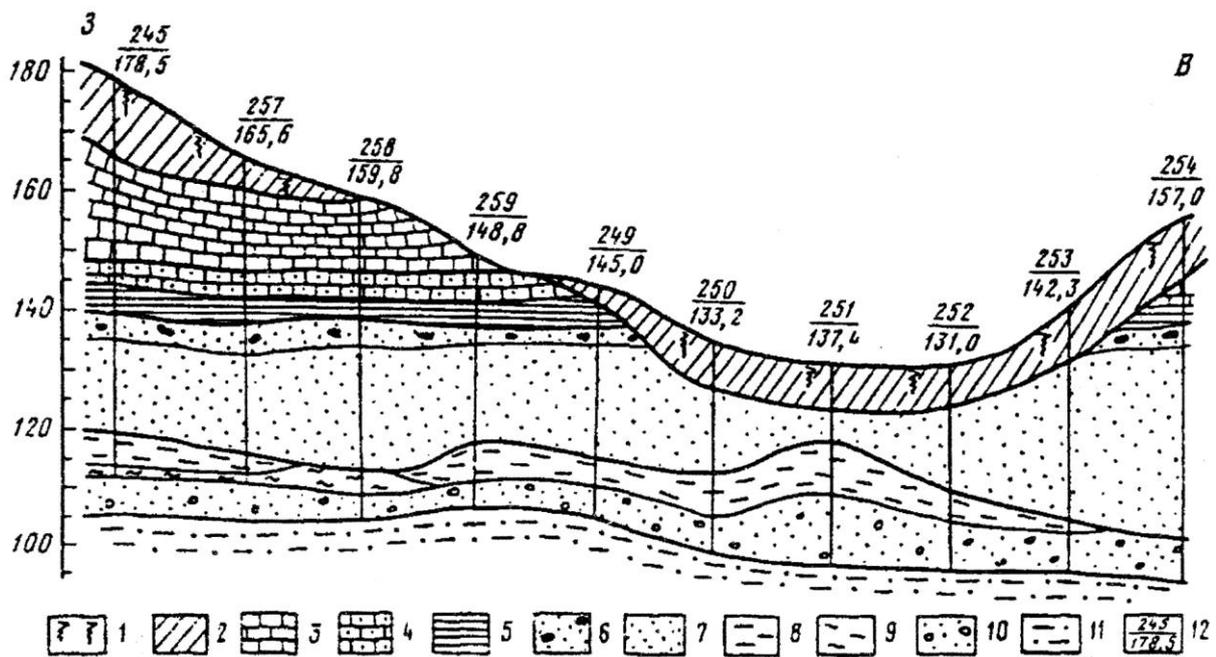


Рис. 30. Геологический разрез участка Хохол-Дон Латненского месторождения огнеупорных глин (по В.П. Михину, Н.А. Музылеву и А.Д. Сав-

ко): 1 – почвенно-растительный слой; 2 – моренные отложения (Q); 3 – мел плотный (K_{2t}); 4 – мел песчаный (K_{2s}); 5 – глина плотная (K_{2s}); 6 – песок с желваками фосфоритов (K_{2s}); 7 – песок кварцевый ($K_{1a+al+s}$); 8 – глина огнеупорная; 9 – алевроиты глинистые; 10 – песок с гравием (все K_{1a}); 11 – глина песчаная (K_{1n}); 12 – номер скважины (числитель) и абсолютная отметка (знаменатель).

Метаморфизованные месторождения образуются при уплотнении, дегидратации и частичной перекристаллизации осадков в процессе диагенеза или в начальные стадии метаморфизма. К ним относятся месторождения непластичных глинистых пород: аргиллитов и глинистых сланцев, которые могут использоваться в качестве компонента сырьевой смеси при производстве цемента. Месторождения известны в Западной Сибири, на Дальнем Востоке.

ПЕСОК И ГРАВИЙ

Общие сведения

Песок, гравий и другие рыхлые обломочные породы состоят из несцементированных обломков и зерен различных минералов, обломков горных пород разных форм, размеров и степени окатанности. Обломочные породы подразделяются по величине обломков.

Различают пески мономинеральные, олигомиктовые, состоящие из двух-трех минералов и полимиктовые, в составе которых присутствуют обломки различных горных пород и минералов. К мономинеральным пескам относятся кварцевые пески, в которых содержится более 80 % кварца, изредка встречаются полевошпатовые пески и др. Главный породообразующий минерал песков – кварц, могут присутствовать полевые шпаты, слюды, глинистые минералы, глауконит, карбонаты, обломки горных пород, растительный детритус, а из тяжелых минералов – магнетит, циркон, рутил и др. Химический состав песков может изменяться в широких пределах. Содержание кремнезема – 99 – 99,9 % отмечается в мономинеральных кварцевых песках.

Гравий обычно образует смеси с песком, чисто гравийные месторождения встречаются редко. Содержание песка в песчано-гравийных смесях изменяется от 10 до 90 %, часто содержатся валуны различных размеров. В составе гравия и валунов могут присутствовать как твердые (граниты, диабазы, гнейсы, кварц), так и относительно мягкие (известняки, песчаники) породы и минералы.

Свойства и области применения

Применение песков и гравия основывается на различных физических свойствах этих пород. Основная часть добываемого песка и гравия потребляется в строительстве. Строительные песок, гравий, щебень, валуны оцениваются по общим показателям, к ним относятся: петрографическая характеристика, содержание песка, гравия, валунов, суммарное содержание

пылевидных и глинистых частиц, плотность породы, коэффициент разрыхления. Гравий, щебенка и валуны оцениваются по составу, форме, прочности, морозостойкости, водопоглощению и пористости.

Менее 5 % чистых кварцевых песков, кварцевых песчаников, кварцитов используется в стекольной, керамической, металлургической промышленности, а также в производстве ферросилиция, карбида кремния.

В качестве крупных заполнителей бетонов применяются гравий, щебень из гравия или дробленых горных пород. Песок, гравий и щебень широко используются также и в дорожном строительстве.

Требования к качеству сырья

Каждая из отраслей промышленности предъявляет свои специфические требования к качеству сырья. Так для формовочных песков важны газопроницаемость и огнеупорность, содержание кремнезема должно быть не менее 97 – 98,4 % (то есть это мономинеральные кварцевые пески). Фильтровальные пески должны быть мелко- и равномернозернистыми с полным отсутствием глинистых частиц и органических примесей. Главное требование к песку, используемому для получения кварцевого стекла: его чистота, определяемая содержанием SiO_2 (оно должно превышать 90 %), а также отсутствие вредных примесей TiO_2 , Fe_2O_3 , и других хромофоров. Ограничивается содержание CaO , Al_2O_3 и др. Второе требование – гранулометрический состав (оптимальный размер зерен 0,1 – 0,5 мм).

Обзор ресурсов

В общем объеме добычи стройматериалов более $\frac{3}{4}$ приходится на пески, гравий и песчано-гравийные смеси. Мировая добыча песка и гравия достигла в 1978 году 8,3 млрд.т. В начале 80 – х годов в бывшем Советском Союзе их добыча превышала 700 млн.т. в год. Всего эксплуатируется более 100 месторождений. В последние годы вырос спрос на кварцевое стекло для получения волокнисто-оптического кабеля. Сырьевой материал, используемый в производстве стекла, подразделяют на главный и второстепенный. К главному относится кремнезем (обычно в виде кварцевого песка) и ранее охарактеризованные борный ангидрит, фосфорный ангидрит, глины, каолин и др.

На территории Черноземья известно 6 месторождений песчано-гравийной смеси, из которых эксплуатируется тремя предприятиями промышленности строительных материалов, в Воронежской области – это Семилукское месторождение. Пески бетонные известны практически во всех областях. Всего на балансе числятся 9 месторождений, из которых эксплуатируется 5. В Воронежской области разрабатывается Малышевское месторождение, в разные годы использовались в качестве бетонных пески Латненского и Духовского месторождений. Кроме того в пределах региона известны многочисленные месторождения строительных песков (129), из которых в Воронежской области эксплуатируются Аношкинское, Евстратовское, Ильинское, Лискинское, Хохольское и другие.

В областях Черноземья учтено 3 месторождения стекольных песков, но ни одно из них не эксплуатируется. Для Воронежской области проблема

стекольных песков решается путем обогащения аптских песков Латненского месторождения огнеупорных глин, а также разработки недавно открытого Богдановского месторождения.

Промышленные типы месторождений

Экзогенные месторождения

Генетически залежи песков, гравийно-песчаных и валунно-гравийно-песчаных смесей, используемых в строительстве, достаточно разнообразны. Это главным образом всевозможные аллювиальные, ледниковые, морские, озерные, реже элювиальные делювиальные, пролювиальные и эоловые пески, обычно четвертичного возраста.

Экзогенные месторождения песка и гравия представляют продукты выветривания или механические осадки.

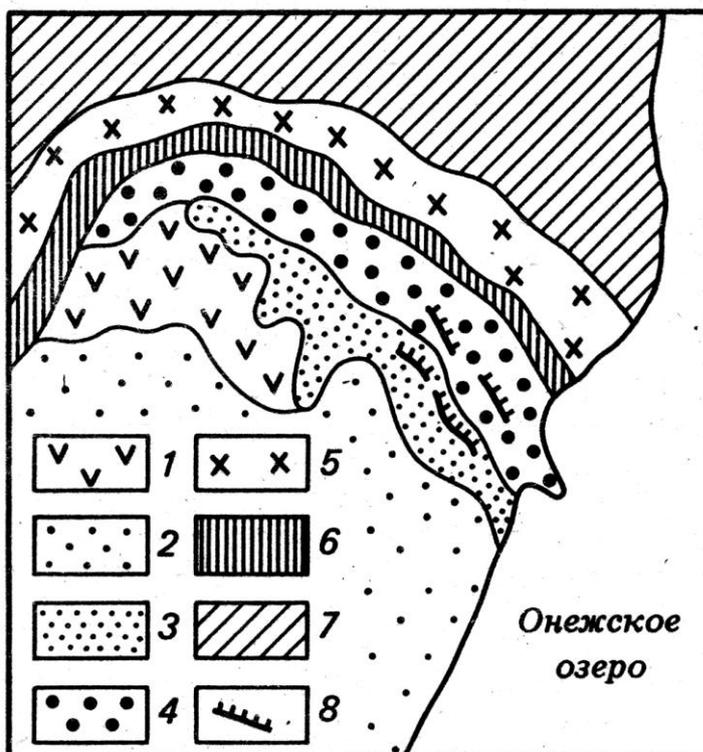
Месторождения выветривания – элювиальные отложения кварцевых песков образуются в коре выветривания песчаников или кварцитов - Харгинское месторождение кварцевых песков в Прибайкалье. *Пролювиальные* отложения формируют шлейф у подножия гор, они покрывают значительные площади, мощность залежей достигает десятков метров. Неотсортированный и необработанный обломочный материал используется для строительных целей. *Аллювиальные* отложения представлены русловыми, долинными, террасовыми залежами – современными и древними, в том числе и погребенными. Для них характерны удлиненно-линзовидные формы: длина до 1 км., мощность до десятков метров. Сортировка материала - наименьшая в горных реках, наибольшая – на равнинных участках. Этот тип месторождений – наиболее важный источник строительного сырья. Примером является Румянцевское месторождение в Московской области. *Моренные* отложения образованы несортированным песчано-гравийно-валунным материалом, иногда со значительной примесью глин, суглинков или супеси. Они полимиктовые по составу, обычно грубослоистые, в разной степени сортированные. Флювиогляциальные отложения широко используют как строительный материал. *Эоловые* образования сложены дюнными отсортированными песками морских побережий пустынных областей. Пески мелко-среднезернистые, песчинки отполированы, используются для производства силикокальцитных и иных изделий. Месторождения известны в Средней Азии.

Осадочные (морские и озерные) месторождения подразделяются на древние и современные, а по месту накопления - на месторождения пляжей, кос, береговых валов, подводных прибрежных и шельфовых и надводных морских террас.

Современные отложения полимиктовые по составу, нередко хорошо окатаны и отсортированы. Месторождения характеризуются крупными масштабами и отсутствием вскрыши. Среди подводных месторождений выделяются: 1) месторождения современной береговой зоны – подводное продолжение дельт, конусов выноса, затопленные банки, косы, острова; 2) месторождения, залегающие в верхней части шельфа, представленные реликтовыми аллювиальными, флювиогляциальными, моренными, эоловыми

и другими континентальными осадками, переработанными в ходе трансгрессии моря, которые достаточно активно разрабатываются для строительных целей на Балтике (месторождения Германии, Польши, России), в Одесском лимане Черного моря и др. Надводные песчаные, песчано-гравийные, галечниковые отложения морских и озерных террас по возрасту могут быть древними и четвертичными. Среди них для строительных целей эксплуатируются древнечетвертичные террасы, вытянутые вдоль побережий Белого, Балтийского, Каспийского морей, Онежского озера. Среди древних наибольшее практическое значение имеют морские кварцевые пески. Они образуются на глубинах моря до 150 метров и формируют выдержанные пластовые залежи мощностью 20 – 40 метров. Пески удовлетворительно и хорошо сортированы благодаря длительному перемыву и неоднократному переотложению; минеральный состав варьирует от полимиктовых глинистых с примесью других минералов (глауконит, кальцит, фосфаты, гидроокислы железа и др.) до чисто кварцевых; преобладают мелкие фракции. Многочисленные месторождения морских кварцевых песков известны на Восточно-Европейской платформе. Эксплуатируются в крупных масштабах морские пески Егановского, Люберецкого и других месторождений верхней юры, расположенных в Московской области. В палеогене образовались дельтовые и морские пески Ульяновско-Саратовской впадины. В азиатской части России кварцевые пески отлагаются в образованиях кайнозоя и мезозоя на Урале (Кичигинское месторождение в Челябинской области), в крупных масштабах отрабатывается Тулунские месторождения кварцевых песков в Иркутской области и др.

Осадочные месторождения песчаников. Пласты и линзы кварцевых песчаников мощностью метры – сотни метров значительной протяженности известны в субгоризонтальных терригенно-осадочных, иногда метаморфизованных толщах различного возраста (Черемшанское месторождение в Бурятии, многочисленные месторождения кварцевых песчаников в США).



Метаморфические месторождения. Пласты и линзы кварцитов мощностью метры – сотни метров встречаются в составе дислоцированных древних высокометаморфизованных алюмосиликатных пород (месторождения Финляндии, Канады, России – рис. 31. и др.).

Рис. 31. Геологическая схема Шокшинского месторождения кварцитов (Неметаллические полезные ископаемые СССР):

1 — диабазы; шокшинская свита; 2 — красные песчаники, кварциты; 3 — малиновые песчаники; 4 — красные песчаники, 5 — розовые песчаники; 6 — хлорит-серицитовые сланцы; 7 — серые песчаники; 8 — забои действующих карьеров.

КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

Общие сведения

Карбонатные породы – это образования, сложенные главным образом карбонатами Ca, Mg и в меньшей степени Fe, широко распространены в земной коре, составляя более 15 % ее массы.

К группе карбонатных пород относятся известняки, мел, мергели, доломиты и их разновидности, а также травертины, жильные карбонатные породы, карбонатиты и другие образования.

Известняки – осадочные породы, состоящие в основном из кальцита и примесей доломита, кварца, опала, халцедона, глауконита, сидерита и органических веществ. По структурным и текстурным признакам выделяют кристаллические, органогенные и обломочные известняки. Среди *кристаллических* известняков различают крупно- средне- мелко-тонко- и микрозернистые (скрытокристаллические). Условно к кристаллическим относят оолитовые и сферолитовые известняки. *Органогенные* (рифовые и ракушечные) известняки наиболее распространены, они сложены в основном фаунистическими остатками. *Обломочные* известняки, образованные обломками известняков и окатанными фаунистическими остатками, разделяются на пелитовые, алевритовые, псаммитовые и псефитовые. По текстурным признакам различают известняки массивные, слоистые, брекчиевые.

Мел – природная разновидность белого известняка, в составе которой главную роль играет кальцит и известковые водоросли.

Мергели – осадочные породы занимают промежуточное положение между известковыми и глинистыми породами, в них 20 – 70 % глинистых частиц и 20 – 70 % кальцита.

Доломиты – осадочные породы, состоящие в основном из минерала доломита и различного количества примесей: кальцита, магнезита, сидерита, анкерита, опала, кварца, глин, лимонита, глауконита, галита, калийных солей, фосфоритов и гипса. По структурным признакам доломиты разделяются на крупно-средне-мелко и скрытокристаллические, а также оолитовые, почковидные и ячеистые.

Мраморы – это карбонатные породы, претерпевшие перекристаллизацию в результате метаморфизма, состоящие в основном из кальцита или доломита и примесей кварца, хлорита, гранатов, турмалина, гематита, пирита.

Свойства и области применения

Ценность и пригодность использования карбонатного сырья определяются вещественным составом и физико-механическими свойствами. Основные области потребления (в %): производство строительного и облицовочного камня – 60, цементная промышленность – 20, металлургическая – 10, известковая – 5, огнеупорная – 2, сельское хозяйство – 1, остальные – 2.

Для производства строительных и облицовочных камней используются известняки, доломиты, мраморы, отличающиеся декоративностью и хорошей полируемостью, высокими физико-механическими свойствами. Из карбонатных пород получают бутовый камень, щебенку, штучные и облицовочные камни.

В цементной промышленности широко используются известняки, мел, мергели. Содержание CaO в них должно быть не менее 40 %. Вредными примесями являются MgO , SO_3 , P_2O_5 , Na_2O и K_2O .

Из карбонатных пород изготавливают портландцементы, глиноземистые цементы и другие виды вяжущих веществ. Портландцементы применяются для изготовления бетонов.

В металлургической промышленности чистые карбонатные породы служат флюсами, которые переводят в шлак вредные примеси. Флюсовые известняки должны содержать не менее 50 % CaO , не более 3 % полуторных оксидов и минимальное количество S и P.

Известковая промышленность потребляет в основном известняки и мел.

Чистые известняки применяются в химической промышленности для производства соды, едких K и Na, хлора и др.; в пищевой для очистки сахара, в сельском хозяйстве для известкования почв. Кроме этого значительное количество карбонатного сырья применяется в стекольной, бумажной, лакокрасочной, резиновой и других отраслях промышленности.

Обзор ресурсов

Мировое потребление карбонатного сырья достигло 5 млрд.т. в год. Наиболее крупными потребителями являются США, Россия, Япония, Германия. Ресурсы карбонатных пород стран СНГ огромны; запасы составляют более 20 млрд.т. Наиболее обеспеченные сырьем районы – Карелия и Мурманская область, а также Тюменская, Омская, Камчатская и Калининградская области.

В Черноземье имеется 72 месторождения карбонатного сырья пригодного для изготовления извести, известкования почв, химической промышленности и др. В настоящее время эксплуатируется 36 месторождений. В Воронежской области разрабатываются месторождения Бутурлиновское, Копанищенское, Коротоякское, Россошанское и др. Кроме того известно 9 месторождений цементного сырья, на базе которых работает четыре цементных завода: Липецкий (Сокольско-Ситовское месторождение), Белгородский (месторождения Полигон, Черная Поляна), Старооскольский (вскрыша Стойленского железорудного месторождения), Подгоренский.

Промышленные типы месторождений

Месторождения карбонатного сырья характеризуются большим разнообразием: помимо господствующих осадочных образований среди них имеются месторождения метаморфического (мраморы), метасоматического (карбонатиты), гидротермального (карбонатные жилы выполнения, травертины) и гидротермально-метасоматического (доломиты) генезиса.

Осадочные карбонатные породы могут быть образованы в морских, лагунных и озерных условиях хемогенным и кластогенным путем.

Э н д о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Карбонатиты являются комплексными месторождениями, содержащими ценные металлические и неметаллические полезные ископаемые, в том числе и карбонатное сырье, получаемое в процессе обогащения.

Гидротермальные месторождения доломитов представлены в основном мелкими жилами, телами неправильной формы. Как правило, практического значения они не имеют.

М е т а м о р ф о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Метаморфические месторождения мраморов и мраморизованных известняков образуются в процессе метаморфизма карбонатных пород. Примерами являются Белогорское месторождение в Карелии и Коелчинское на Урале.

Э к з о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Месторождения выветривания представлены месторождениями вторичных доломитов и доломитизированных известняков. Они возникают при химическом выветривании ранее образованных карбонатных пород при выносе магния и последующим замещением кальция известняков.

Осадочные месторождения имеют наиболее важное промышленное значение, они подразделяются на морские (главные) и континентальные (второстепенные). Морские карбонатные породы представлены известняками, доломитами, мелом и мергелями. Континентальные карбонатные отложения – известняки, сталактиты, сталагмиты имеют резко подчиненное значение. Морские осадки формировались в обстановке нормальной солености морских вод в результате химического осаждения, жизнедеятельности организмов и переотложения известнякового материала. В прибрежных водах создавались условия для активной жизнедеятельности морских организмов, строивших свои скелеты и раковины из кальцита. В глубинных водах происходило выпадение из морских вод хемогенного кальцита. Поэтому мелководные известняки чаще органогенные, а глубоководные – пелитоморфные хемогенные разности.

Среди доломитов по условиям формирования выделяют хемогенные, диагенетические и смешанные. Доломиты накапливались в теплых морях в условиях аридного климата, повышенной солености и щелочности вод. В подобной обстановке в основном осаждались хемогенные доломиты. Со временем в истории Земли масштабы доломитообразования сокращаются (уменьшается содержание углекислого газа в атмосфере и гидросфере). Изменение условий осадконакопления привело к увеличению количества известняков и формированию седиментационно-диагенетических доло-

митов.

Карбонатные отложения формировались в различных фациальных, климатических и тектонических условиях. Это обусловило приуроченность их к различным группам осадочных формаций: карбонатным, карбонатно-сульфатным, соленосным, флишевым, молассовым, осадочно-вулканогенным, сланцевым, угленосным, красноцветным.

Геосинклинальные месторождения связаны с карбонатными, флишевыми, осадочно-вулканогенными формациями. В этих формациях карбонатные породы слагают мощные выдержанные пласты, представлены органическими и кристаллическими известняками, хемогенными и диагенетическими доломитами, мраморами, реже мергелями. Таким месторождениям свойственны ассоциации карбонатных пород с фосфоритами (месторождения хребта Каратау), магнезитами (Южный Урал), шунгитами (Карелия), бокситами (Восточный Урал). Многочисленные месторождения в России выявлены на Западном Урале, в Кузбассе, на Алтае, в Красноярском крае; доломитов – на Южном и Северном Урале, в Енисейском крае. К типичным морским осадочным флишевым относится Новороссийское месторождение цементных известняков и мергелей, прослеживающееся более чем на 50 км.

Платформенные месторождения пространственно связаны с карбонатно-сульфатными, галогенными, терригенными, угленосными, красноцветными формациями. Собственно карбонатные породы в этих формациях характеризуются относительно небольшой мощностью, широким распространением по площади, горизонтальным или близким к нему залеганием, слабым развитием дислокаций. Карбонатные породы представлены органическими, кристаллическими, обломочными известняками, мелом, мергелями, диагенетическими, реже хемогенными доломитами. В парагенезисе с карбонатными отложениями встречаются залежи горючих сланцев (Прибалтийский бассейн), солей (Предуралье), гипсов, ангидритов и нефти (Азербайджан), фосфоритов. Платформенные месторождения многочисленны, имеют большое практическое значение и широко представлены на Восточно-Европейской и Сибирской платформах.

Переходные месторождения приурочены к соленосным, терригенным, молассовым, угленосным формациям. Карбонатные отложения имеют переменную мощность, часто переслаиваются с гипсами, ангидритами, солями и песчано-глинистыми образованиями. Месторождения представлены органическими, кристаллическими, реже обломочными и оолитовыми известняками, хемогенными и диагенетическими доломитами, мелом, мергелями. В парагенезисе с карбонатным комплексом наблюдаются промышленные скопления солей, углей (Донбасс, Кузбасс), нефти (Азербайджан), калийных солей (Германия). Многочисленные месторождения приурочены к Предуральскому, Ангаро-Ленскому и другим прогибам, а также к внутренним впадинам на Восточно-Европейской и Сибирской платформах.

Литература
Основная

1. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые /Н.И. Еремин. М.: – Изд. МГУ, 2004. – 223с.
2. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые /Н.И. Еремин. М.: Изд. МГУ, 1991. – 281с.
3. Неметаллические полезные ископаемые СССР: Справочное пособие /Под ред. В.П. Петрова. – М.: Недра, 1984. – 405с.
4. Промышленные типы неметаллических полезных ископаемых: Учебник для вузов /А.Е. Карякин, П.А. Строна, Б.Н. Шаронов и др. – М.: Недра, 1985. – 286с.
5. Романович И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых. Учебное пособие /И.Ф. Романович. – М.: Недра, 1986. – 366с.

Дополнительная

6. Геология алмаза – настоящее и будущее (геология к 50-летнему юбилею г.Мирный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 1663 с.
7. Савко А.Д. Нерудные полезные ископаемые /А.Д. Савко, Г.В. Холмовой, С.А. Ширшов. – Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 31. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 316 с.

Содержание

Введение.....	3
Раздел 1. Индустриально-камнецветное сырье (месторождения кристаллов, их агрегатов и скрытокристаллических веществ).....	5
Алмазы.....	5
Кварц.....	10
Исландский шпат.....	15
Слюдь.....	17
Асбест.....	23
Графит.....	26
Магнезит.....	30
Флюорит.....	33
Тальк.....	38
Барит.....	41
Раздел II. Месторождения химического и агрономического сырья.....	46
Минеральные соли.....	46
Фосфатное сырье (апатиты и фосфориты).....	51
Серное сырье.....	58
Борное сырье.....	65
Раздел III. Месторождения строительных материалов и сырья для их производства.....	70
Глины и каолины.....	70
Песок и гравий.....	76
Карбонатные породы.....	79
Литература.....	83

Учебное издание

Коваль Ирина Константиновна

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие для вузов

Редактор Т.Д. Бунина

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА

№ 4 от 10.06 года заседания кафедры
полезных ископаемых и недропользования

Слушали: доц. Коваль И.К. о подготовленном ею учебном пособии по дисциплине «Геология полезных ископаемых» - Промышленные типы неметаллических полезных ископаемых для студентов IV-V курсов стационара и заочного отделений, обучающихся по специальности «Геология».

Постановили: Учебное пособие составлено в соответствии с программой курса «Геология полезных ископаемых». Оно отражает последние достижения в области геологии неметаллических полезных ископаемых. Учитывая недостаток учебной литературы по данному курсу рекомендовать издание учебного пособия И.К. Коваль «Промышленные типы неметаллических полезных ископаемых».

Зав. кафедрой полезных ископаемых
и недропользования, профессор

К.А. Савко

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № от 11. 2006

научно-методического совета

ПРИСУТСТВОВАЛИ: членов совета

СЛУШАЛИ: Зав. кафедрой полезных ископаемых и недропользования К.А. Савко о рекомендации к опубликованию учебного пособия «Промышленные типы неметаллических полезных ископаемых», составленное доц. И.К.Коваль.

ПОСТАНОВИЛИ: Учебное пособие подготовлено, чтобы восполнить недостаток учебной литературы по курсу «Геология полезных ископаемых» – промышленные типы неметаллических полезных ископаемых и отразить новые данные по геологии неметаллических полезных ископаемых.

Данное пособие предназначено для использования его студентами дневного и заочного отделений четвертого и пятого курсов геологического факультета, обучающихся по специальности «Геология» и рекомендуется к опубликованию.

Председатель научно-методического совета