

**Месторождения горючих
и неметаллических
полезных ископаемых**

Курс лекций

Высоцкий Э.А.

2003 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучением условий образования полезных ископаемых и выяснением закономерностей их пространственного размещения занимается специальная отрасль геологических знаний – учение о месторождениях полезных ископаемых. Учебная дисциплина «Месторождения горючих и неметаллических полезных ископаемых» является одним из интегральных учебных геологических курсов, отвечающих принципам комплексного университетского образования.

Главная цель данной дисциплины – дать студентам представление о геолого-промышленных типах твердых горючих и неметаллических полезных ископаемых, их ресурсах и запасах, закономерностях размещения, условиях залегания, структурно-текстурных особенностях и вещественном составе руд.

В структуре курса лекций выделяются две самостоятельные части: первая посвящена месторождениям твердых горючих ископаемых, вторая – месторождениям неметаллических полезных ископаемых. В первой части рассматриваются вопросы условий образования, генетическая и технологическая классификации твердых горючих ископаемых, химический состав углей, строение угленосных и сланценосных формаций и геология месторождений каустобиолитов. Во второй части приведена информация о неметаллических полезных ископаемых, причем описание и характеристика их выполнены в соответствии с номенклатурой, предложенной академиком В. И. Смирновым. Одно из центральных мест отведено описанию конкретных видов минерального сырья – фосфатов, калийных и калийно-магниевого солей, серы, боратов, графита, асбеста, слюд, алмазов и др. Помимо широко известных в мире месторождений, приведена необходимая информация о важнейших месторождениях твердых горючих и неметаллических полезных ископаемых Беларуси.

Книга составлена на основе материалов, используемых автором при чтении курса «Месторождения горючих и неметаллических полезных ископаемых» для студентов-геологов Белорусского государственного университета. Использована также классическая литература (В. И. Смирнов, П. М. Татаринов, А. А. Гапеев, Н. И. Еремин, А. И. Кравцов, А. К. Матвеев и др.). Информация, приведенная в данном курсе лекций, может представить интерес для геологов, занимающихся изучением неметаллических полезных ископаемых. Критические замечания будут приняты автором с благодарностью и учтены в работе по дальнейшему совершенствованию курса лекций.

ЧАСТЬ I

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лекция 1. ВВЕДЕНИЕ. ГЕОХИМИЯ УГЛЕРОДА И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Введение

Развитие учения о твердых полезных ископаемых. Горючие полезные ископаемые обычно называют каустобиолитами (kausto – горючий, bios – жизнь, litos – камень). Этот термин введен в науку немецким палеоботаником Г. Потонье. Каустобиолиты являются одним из источников энергии, важным технологическим топливом в черной металлургии, а также используются в химической промышленности.

Научные представления об органическом происхождении каустобиолитов (уголь) впервые были высказаны учеными еще в первой половине XVI в. М. В. Ломоносов в своей работе «О слоях земных», напечатанной в 1763 г., изложил соображения о происхождении каменного угля из торфяников. В дореволюционной России изучением геологии угольных месторождений начали заниматься позже, чем за границей. В 1721 г. был открыт Донецкий, в 1722 г. – Подмосковский и Кузнецкий угольные бассейны. Особый прогресс был достигнут в связи с организацией в 1882 г. Геологического комитета. Одной из крупных его работ явилось составление геологической карты Донецкого бассейна в масштабе 1:42 000. В это время были заложены основы геологии каустобиолитов. Огромный вклад в развитие учения о твердых полезных ископаемых внесли следующие геологи: А. П. Карпинский, Л. И. Лутугин, П. И. Степанов, А. А. Гапеев, В. И. Яворский и др. В 1912 г. курс «Каменный уголь и другие виды твердого ископаемого топлива» (Н. Лебедев) был одним из первых опубликован в России, в Екатеринославе.

За годы Советской власти учение о геологии каустобиолитов получило дальнейшее развитие: изменился подход к изучению месторождений и бассейнов, больше внимания стало уделяться условиям образования каустобиолитов, исследованию вещества угля, геохимии, различным технологическим процессам и т. д. В 1937 г. опубликована крупная коллективная работа под редакцией П. И. Степанова «Геология месторождений ископаемых углей и горючих сланцев». После Великой Отечественной войны были изданы карты, атласы и учебники.

Во второй половине XX в. развитие мировой угольной науки и практики отмечено большими достижениями в области учения об угленосных формациях, условиях их образования, закономерностях размещения месторождений и бассейнов, изучения вещественного состава углей и горючих сланцев. Значительные успехи получены в развитии скважинных геофизических исследований, позволивших резко повысить информативность геологоразведочных данных и степень изучения качества углей.

В Беларуси изучением твердых каустобиолитов (бурый уголь, горючие сланцы, торф) занимались Д. М. Корулин, А. Н. Брусенцов, Ю. И. Горький, Л. Ф. Ажгиревич, П. А. Пидопличко, И. Я. Яременко и др.

Топливо-энергетические ресурсы. На земном шаре известно более 2900 месторождений угля с общими запасами 14,3 трлн т (12,0 трлн тут*), сотни месторождений горючих сланцев с запасами сланцевой смолы 550 млрд т и многие тысячи месторождений торфа с общими запасами 350 млрд т (105 млрд тут). В общих мировых запасах ископаемого топлива на долю углей, горючих сланцев и торфа приходится 93 %, а на долю нефти и газа около 7 % (условного топлива соответственно 74 и 26 %). В то же время в топливо-энергетическом балансе мира соотношение этих источников энергии обратное: доля нефти и газа превышает 65 %, а твердого топлива менее 30 %.

Во второй половине XX в. в результате проведения интенсивных геологоразведочных работ были открыты крупные месторождения не только в наиболее богатых углем и сланцами странах Евразии и Северной Америки, но и в Австралии, Южной Америке и Африке, а также в Беларуси. Во многих странах разрабатываются и реализуются программы по расширению добычи и использованию угля и горючих сланцев.

Геология углерода и происхождение твердых горючих ископаемых. По исходному органическому веществу, условиям его накопления и последующему геологическому изменению между всеми горючими ископаемыми существует генетическая связь.

Круговорот углерода в природе. Образование твердых горючих ископаемых обязано происходящему в биосфере, в частности в растениях, процессу фотосинтеза. Кларк углерода в литосфере равен 0,23 % (по А. П. Виноградову). Среднее содержание углерода составляет (%): в ультраосновных и основных породах – 0,01, в средних – 0,02 и в кислых – 0,03. В осадочных породах 4/5 углерода находится в

* Тут – тонна условного топлива с удельной теплотой сгорания 29,303 МДж/кг.

карбонатной форме, значительная доля приходится на органический углерод (угли, горючие сланцы, нефть и т. д.).

Общее количество углерода в природе достигает $610 \cdot 10^9$ т. Ежегодно не менее 1 млрд т углерода захороняется в осадок на длительное время, а значительное количество его навсегда уходит из системы атмосфера–гидросфера–биосфера. За 1–1,5 тыс. лет весь углерод атмосферы мог быть связан в карбонатных и органических отложениях. Однако этого не происходит в связи с систематическим пополнением углекислого газа атмосферы за счет вулканических эманацій.

Часть органического вещества после отмирания организмов подвергается разложению бактериями с выделением при этом углерода в газообразном состоянии в виде CO_2 и CH_4 . Другая часть органического вещества минерализуется, и углерод переходит в состав минеральных соединений (CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3 и др.). Минеральные соединения углерода в процессе погружения осадочных образований при нагревании разлагаются, в результате чего образуются CO_2 и частично CH_4 , которые снова возвращают углерод в атмосферу. Циклический процесс круговорота углерода в природе имеет очень большое геохимическое значение. По подсчетам В. А. Успенского, длительность круговорота углерода колеблется от 100 до 300 лет.

Исходное углеобразующее вещество. По составу, строению и условиям жизни исходные для образования твердых горючих ископаемых растения разделяются на две основные группы: высшие и низшие. Высшим растениям свойственны отчетливо выраженная корневая система, ствол, стебель, листья. Они приспособлены к жизни в наземных условиях. Низшие растения сложены преимущественно одинаковыми клетками и обитают в водной среде. Высшие растения состоят главным образом из целлюлозы, или клетчатки, лигнина, белков, жиров, восков и смол, а также гемицеллюлозы. Кроме того, каждая растительная клетка содержит некоторое количество минеральных веществ, дающих при сжигании смолу. Из-за преобладания в растениях тех или иных тканей, как, например, в высших растениях целлюлозы и лигнина, а в низших — жиров, восков и смол, химический состав различных групп растений (альги, папоротника, хвоща, хвойных и лиственных деревьев, травы) существенно различен.

Типы накопления исходного вещества. Различают два типа отложения исходного вещества — автохтонный и аллохтонный. *Автохтонный тип* — это такой тип отложения, при котором первичные организмы обитали на местах современного залегания каустобиолитов.

Существуют две разновидности автохтонии – водная и наземная. *Аллохтонный*, или приносной, тип – это такой тип отложения, при котором растения после гибели транспортируются с места произрастания.

Главным признаком автохтонии служат корневые остатки или пни в почве пласта, наличие и сравнительно хорошая сохранность мелких частиц растений, в большинстве случаев не очень большое количество минеральных примесей. Для аллохтонного накопления характерны плохая сохранность и измельченность растительных остатков и в большинстве случаев – высокая минерализация полезного ископаемого.

Процессы разложения органического вещества. Характер разложения растительности зависит от среды, в которую она попадает после гибели, где могут идти четыре различных процесса: тление, перегнивание, оторфение и гниение. *Тление* происходит при полном доступе кислорода, вследствие чего органическая часть растения полностью окисляется и уходит в форме газов в атмосферу. Из минеральной части растений образуются твердые остатки. *Перегнивание* – неполное тление при недостаточном доступе воздуха. В результате происходит неполное окисление. Этот процесс характерен образованием твердых продуктов, богатых кислородом, – гумусовых веществ. *Оторфение* – промежуточное звено между перегниванием и гниением. Образующиеся в результате этого процесса твердые продукты состоят главным образом из гумусовых веществ, в состав которых входят гуминовые кислоты. *Гниение* – восстановительный процесс, происходящий при полной изоляции от доступа воздуха в илах и застойных водах и приводящий, как правило, к образованию сапропелитов.

Стадии преобразования органических остатков. Выделяются три стадии преобразования органического вещества: биогенная, химическая и геологическая. На *первой, биогенной (или биохимической)*, стадии происходят преобразования исходного вещества, агентами разложения являются грибки, микробы и бактерии, которые в процессе жизнедеятельности перерабатывают погибшие растительные организмы.

Вторая, химическая, стадия преобразования происходит довольно длительный период времени и включает огромное число цепных химических реакций. Эти реакции идут в направлении создания коллоидной массы. В условиях обводненности без доступа кислорода исходное вещество подвергается гелификации. Процесс *гелификации* – это преобразование исходной растительной массы в коллоидные

вещества – гель. Гелифицированные микрокомпоненты углей образуются либо путем набухания гумифицирующихся растительных тканей, либо при коагуляции гумусовых растворов. При спорадически ограниченном доступе кислорода, создающем окислительную реакцию, происходит фюзенизация. *Фюзенизация* – это процесс изменения углеобразующего растительного материала в окислительной среде, при котором лигнин и целлюлоза превращаются в необратимый твердый продукт – фюзен.

Третья, геологическая, стадия начинается с захоронения осадка под минеральной кровлей. Исходное ОВ претерпевает изменение под воздействием возрастающей температуры и давления. Происходящие в результате этого процессы изменения органического осадка называются *углефикацией*. При этом осадок обезвоживается, уплотняется в 5–6 раз, полимеризуется, жидкие вещества превращаются в твердые. Гумусовая кислота, окрашивающая болотную воду в коричневый цвет, превращается в твердое гуминовое вещество, слагая так называемую «основную массу» угля. Процесс разложения низших растений и организмов, приводящий к образованию веществ, близких к углеводородам (УВ), называется *битуминизацией*.

Необходимые предпосылки для углеобразования. Важнейшими предпосылками являются: фитологические, климатические, геоморфологические и тектонические. *Фитологические предпосылки* создают возможность накопления исходного вещества. Уже в раннем архее (3,7–3,5 млрд лет тому назад) установлено наличие биогенных формаций с относительно высоким содержанием органического углерода. Активное накопление углеобразующей растительности началось в позднем силуре–раннем девоне, когда произошел выход водной растительности на сушу. Весь отрезок времени эволюции растений от кембрийского периода до нашего времени подразделяется на четыре эры развития растительности: талассофит, палеофит, мезофит и кайнофит.

Климатические предпосылки определяют как масштабы накопления исходного материала, так и его морфологию. В глобальном геолого-историческом плане выделялись области с гумидным климатом, благоприятные для торфо- и углеобразования, и области с аридным климатом, менее благоприятные для образования больших масс растительности.

Геотектонические предпосылки играют важную роль в торфо- и углеобразовании, особенно медленные эпейрогенические вековые

колебания с преобладанием нисходящих движений. Этими движениями обеспечивается наращивание мощности массива исходного органического материала, компенсирующего амплитуду погружения и его захоронение в недрах.

Геоморфологические предпосылки обуславливают обстановку для сохранения накопившегося массива исходного вещества. Они действуют на стадии торфообразования вплоть до перекрытия торфяного массива осадочными минеральными образованиями.

Лекция 2. ТОРФ

Торф – горючее полезное ископаемое, образовавшееся в результате неполного распада растений и содержащее в сухой массе не менее 50 % органического вещества. По внешнему виду торф в естественном состоянии представляет собой волокнистую или пластинчатую массу не вполне разложившихся растительных остатков от светло-бурого до землисто-черного цвета. По теплоте сгорания органической массы торф занимает промежуточное положение между древесиной и бурыми углями. Современные торфяные залежи относятся к голоцену, занимают при мощности торфа 0,3 м общую площадь около 5 млн км², или около 3,3 % суши.

Торф не обладает геологической устойчивостью в масштабах геологического времени. Из торфяников современной геологической эпохи в ископаемое состояние с образованием угольных месторождений может перейти лишь незначительная часть существующих залежей, которые территориально располагаются в зоне отрицательных движений земной коры.

Предпосылки торфообразования. Основными предпосылками торфообразования являются: 1) развитие растительности, способствующей накоплению биомассы в значительных масштабах на 1 м²; 2) большой и равный единице коэффициент увлажнения; 3) наличие отрицательной формы макро- или микрорельефа, обеспечивающей развитие водоема, в пределах которого происходит торфообразование; 4) преобладание процесса фотосинтеза над процессом распада.

Торфообразование. Формирование торфяников – сложный биохимический процесс преобразования растительной массы, произрастающей на торфяном болоте, в торф. Все свойства торфа формируются в верхнем «торфогенном» слое торфяного болота. Степень разложения торфа, т. е. соотношение гумусового вещества и сохранившихся растительных остатков, определяется высотой и

постоянством уровня грунтовых вод. Процессы диагенеза могут проявляться только в торфах, находящихся под сильным давлением большой мощности минеральных отложений. По данным Л. И. Боголюбовой и П. П. Тимофеева, торф со степенью разложения 0–25, 25–50 и 50–75 % подвергается изменениям главным образом в направлении гелификации, и в нем образуются гелинитовые, постгелинитовые и преколинитовые компоненты.

Типы торфяников. В зависимости от приуроченности к элементам рельефа местности выделяются три типа торфяников: 1) верховой – на водоразделах; 2) переходный – на террасах склона водораздела; 3) низинный – в поймах. Каждый из них подразделяется на подтипы и группы.

Низинный тип торфов возникает в условиях богатого минерального питания и увлажнения. Здесь формируется большое разнообразие фитоценозов и, следовательно, видов торфа. *Переходный тип торфов* образуется в условиях несколько обедненного минерального питания в слабокислой среде и с пониженным привносом аллохтонного материала. *Торфы верхового типа* формируются в условиях бедного минерального питания с разнообразной, перемежающейся степенью увлажнения.

Растения-торфообразователи. Растительность болот по видовому составу довольно разнообразна. По этому показателю выделяются три группы: 1) мхи; 2) травы; 3) древесные формы и кустарники. *Мхи* представлены в основном белым (сфагнум) и зеленым (гипнум), реже кукушкиным льном. Сфагновые мхи произрастают при очень бедном минеральном питании. Они составляют главную часть торфообразователей залежей верхового типа. Характеризуются низким содержанием целлюлозы и небольшим количеством битумов. В отличие от них зеленые мхи, свойственные переходному и низинному типам торфяных болот, обладают повышенной зольностью, высокой концентрацией азотсодержащих веществ и большей устойчивостью против разлагающих агентов.

Травянистые растения представлены тростником, камышом, пушицей, осоками и др. Эта группа торфообразователей характерна для низинного и переходного типа торфяников. В них наблюдается более высокое (до 38 %) содержание целлюлозы, а также повышенное по сравнению с другими растениями количество белковых веществ и относительно высокое содержание битумов.

Древесные торфообразователи чаще всего представлены сосной, елью, лиственницей, березой, ольхой, ивой, а полукустарниковые –

багульником, подбелом, голубикой, кассандрой, клюквой, вереском и др. Торфяные болота зарастают не одним каким-то типом растений, а растительными ассоциациями.

Торфяники тропических широт. Торфяники Северного полушария в Евразии и Америке принадлежат к образованиям умеренных широт и не отвечают условиям происхождения палеозойских и мезозойских крупных угольных бассейнов, чаще всего возникавших вблизи морского побережья. Природной моделью древних торфообразующих болот может служить Большое Дисмальское (Гиблое) болото в штатах Северная Каролина и Виргиния. Оно было изучено еще известным английским геологом Ляйеллем.

Это болото расположено на берегу Атлантического океана и лишь на несколько метров возвышается над его уровнем. Оно простирается на 60 км при ширине 40 км. Вся площадь болота покрыта лесом, причем наиболее характерны следующие древесные породы: болотный кипарис, лавровый тополь, белый кедр, сосна. Наиболее приспособлен для жизни на местах, залитых водой, болотный кипарис, развивающий особые корневые образования – пневматофоры, выступающие из воды и служащие путями доставления необходимого воздуха в корневую систему растения. Стволы деревьев у основания сильно расширены, так как своими корнями не могут в воде глубоко проникать в почву. Для устойчивости они нуждаются в других приспособлениях – в расширенной части ствола с расходящимися во все стороны корнями. Подобные приспособления имели деревья палеозойского возраста, которые были описаны А. А. Гапеевым в угленосной толще Кузнецкого бассейна. При сильном ветре деревья легко падают. В этом бассейне толщина торфа, сплошь состоящего из перегнивших корней, листьев, фрагментов ветвей и семян, доходит до 5 м. Прирост торфа за 1 год может составить 2–2,5 мм.

Болота тропического пояса достаточно широко распространены на о. Суматра, на морских побережьях о. Шри Ланка и полуострова Индостан, островах Малайского архипелага и т. д. Здесь широко распространены мангровые деревья. Между их ходулевыми корнями накапливается большое количество материала, привносимого реками и морской водой. Приливы и отливы перемалывают и перетирают этот материал. Полученный из него таким образом черный ил не похож на осадки спокойных вод.

Химический состав торфа. Свойства и химический состав торфа определяются соотношениями образующих его видов растительности и

степенью их разложения. Элементный состав горючей массы торфа следующий: углерод 50–60, водород 5–6, кислород 30–40, азот 1–3, сера 1,5–2,5 %. Влажность торфа очень высокая и в естественном состоянии составляет до 96 %. Пористость также высокая и достигает 95 %. У слабо разложившегося торфа теплота сгорания при 40 % влажности составляет 9–10 МДж/кг, а при повышенной степени разложения – до 13 МДж/кг.

В процессе диагенеза торфа происходят изменения в химическом составе: снижается содержание гемицеллюлозы (на 30–60 %), фульвокислот (на 50 %) и негидролизуемого остатка (на 17–35 %), увеличивается содержание гуминовых кислот (на 35–52 %) и битумоидов. По зольности выделяются торфа: 1) бедные золой (содержание золы 0,5–5 %); 2) среднезольные (5–10 %) и 3) богатые золой (10–50 %).

Торфяное месторождение. Торфяным месторождением называется территориально обособленный участок земной поверхности, характеризующийся избыточной увлажненностью, покрытый влаголюбивой растительностью, имеющий торфяную залежь в неосушенном состоянии мощностью не менее 0,7 м и площадью, обеспечивающей возможность практического использования торфа. Месторождения при их объединении во взаимосвязанную систему образуют торфяной бассейн.

Мощность торфяных залежей варьирует от 0,3 до 7–8 м, реже больше. В среднем мощность у торфяников верхового типа с флорой сфагнум-фускум составляет 3,6–4,8 м, у переходного – 2,0–2,5 м, низинного – 1,6–2,0 м.

Закономерности размещения торфяников. Размещение торфяников на земном шаре определяется оптимальным сочетанием предпосылок торфообразования в различных широтах и появлением так называемых поясов торфонакопления. Интенсивное торфонакопление располагается в средних широтах Северного полушария. Протяженность этого пояса составляет 10 000 км, ширина местами превышает 1500 км, а общая площадь составляет 9 млн км². Ему заметно уступают по протяженности и масштабу торфообразования другие пояса (умеренных широт, полярных и горных областей), в том числе торфяники тропической полосы.

В мировом топливно-энергетическом балансе торф играет незначительную роль: его мировые ресурсы при влажности 30–40 % составляют около 350 млрд т, из них около 150 млрд т сосредоточено в России, по 30–35 млрд т в Канаде и Финляндии, 15 млрд т в США. Мировая добыча торфа составляет 110–140 млрд т.

Торфяные ресурсы Беларуси. В Беларуси около 12,4 % территории покрыто торфяниками. Общая площадь распространения торфяных залежей составляет около 2,5 млн га, в границах промышленных залежей – 1,62 млн га (при мощности пласта не менее 0,7 м). Запасы торфа-сырца оцениваются в 30,4 млрд т. Низинные залежи по площади составляют 80,4 %, по запасам торфа-сырца – 75 %, верховые – соответственно 13,6 и 18,5 %, переходного типа – 6 и 6,5 %.

Естественная влажность современных торфов достигает 88–95 %. Зольность верховых торфов обычно колеблется от 1,5 до 4 %, низинных – от 5 до 15 %. Низинный торф по сравнению с верховым отличается повышенным содержанием СаО (в низинных – 2,25 %, в верховых – 0,28 %) и Fe₂O₃ (1,33 и 0,13 % соответственно). Элементный состав органической части торфа следующий: углерод 45,5–61,7 %, кислород 28,0–46,1 %, водород 4,8–6,2 % и азот 0,5–2,9 %.

В республике выявлено около 6 500 месторождений торфа. Промышленные запасы торфа составляют 2,5 млрд т, прогнозные ресурсы – 3 млрд т. Разрабатывается несколько сотен месторождений.

Лекция 3. УГОЛЬ: СТАДИЙНОСТЬ УГЛЕОБРАЗОВАНИЯ, СОСТАВ, СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ

Стадийность углеобразования. Уголь – горная порода растительного происхождения, состоящая из органического и минерального вещества, прошедшего стадию оторфения. Процесс углеобразования является единым и стадийным – от молодых образований (торфов) до качественных углей и далее антрацитов.

Торфяная стадия. Происходит формирование торфяников главным образом за счет высших растений, которые после отмирания подвергаются различным процессам, приводящим к образованию органических кислот. По степени устойчивости составные части растений располагаются следующим образом: легче всего разлагается протоплазма, за которой следуют жиры, лигнин и целлюлоза, затем кутикула, споры и пыльца, наиболее устойчивыми к разложению являются воски и смолы. В результате разложения преобладающих в растениях лигнино-целлюлозных тканей образуются гуминовые кислоты. Эти кислоты сохраняются в торфе и по мере дальнейшего преобразования переходят в твердое состояние в виде гуминовых веществ, составляющих основу гумолитов.

Установление границы торф–бурый уголь по внешним признакам весьма затруднительно. В качестве пограничных данных чаще всего принимают содержание углерода в бурых углях не менее 64 %, влаги 14 %, теплоту сгорания 20,2 МДж/кг, показатель отражения витринита в масле 0,3.

Буроугольная стадия. На этой стадии углеобразовательного процесса торф превращается в бурый уголь. Бурые угли отличаются от торфов более высокой степенью разложения остатков отмерших растений и большим обогащением их углеродом. Для бурых углей характерна бурая и очень редко черная черта, бурое окрашивание раствора едкой щелочи и густо-желтое (до красно-бурого) окрашивание раствора азотной кислоты.

По степени уплотненности, содержанию гуминовых кислот и приближению по внешнему виду к каменным углям бурые угли обычно разделяют на три группы: 1) землистые (в зарубежной литературе «мягкие») – Б₁; 2) матовые – Б₂; 3) блестящие – Б₃.

На многих месторождениях среди бурого угля слабой степени углефикации встречаются залежи слабо разложившейся, сохраняющей свою структуру древесины – лигнина, иногда образующего самостоятельные пласты среди бурых углей.

Превращение бурых углей в каменные. Следующая, более высокая стадия – образование каменных углей. Для разграничения бурых и каменных углей используют методы черты, окрашивания раствора едкой щелочи (КОН) или кипящего раствора разбавленной азотной кислоты. В отличие от бурых каменные угли содержат больше углерода, меньше кислорода и водорода, не имеют свободных гуминовых кислот и не окрашивают раствор едкой щелочи. Химико-технологические свойства каменных углей отличаются от свойств бурых углей и существенно разнятся между собой в пределах каменноугольных стадий в зависимости от вещественного состава. По принятой в бывшем СССР общей классификации граница между бурыми и каменными углями проводится по содержанию углерода (75 %), летучих веществ (45–50 %) и водорода (не более 5,5 %). Следует отметить, что вопрос о непрерывности процесса перехода бурого угля в каменный при повышении температуры и давления, несмотря на то что большинство ученых придерживаются этого мнения, является дискуссионным.

Антрацитовая стадия. Наиболее углефицированным является антрацит – высокометаморфизованный уголь с повышенной плотностью (1,4–1,7 г/см³), черный с металлическим оттенком, с высоким содержанием углерода (не менее 95 %), низким – летучих веществ (8–2

%). Вследствие сильного уплотнения угля на этой стадии его структура и текстура почти неразличимы, резко возрастает вязкость, показатель преломления увеличивается до 2,06. У антрацита выход летучих веществ менее 10 %, водорода до 3 %, углерода не менее 95 %, азота менее 1 %, температура воспламенения 500–600 °С.

Шунгит. Высокообуглероженное аморфное ОВ, занимающее место между антрацитом и органическим графитом. Химический состав шунгита непостоянен. В среднем он содержит 60–70 % углерода, остальная часть – минеральные примеси. Цвет шунгита черный с сильным блеском, твердость 3–4, плотность 1,8–2,0 г/см³, не горюч. И. Б. Волкова и М. В. Богданова обнаружили в шунгите (близ о. Шунга в Карелии) растительные структуры, весьма схожие с древесиной, и установили таким образом принадлежность его к ряду гумитовых.

Метаморфизм углей. Изучение процессов изменения вещества углей и их происхождения немыслимо без исчерпывающего изучения метаморфизма. *Метаморфизм каменных углей* – это достаточно длительный и сложный процесс изменения свойств и внутримолекулярного строения углей при последовательном увеличении в них содержания углерода и уменьшении летучих компонентов и кислорода. Установлено, что при одном и том же составе исходного материала выход летучих веществ в нижележащем пласте меньше, чем в вышележащем (правило Хильта – Скока).

Различают три вида метаморфизма: 1) региональный, или глубинный, связанный с погружением осадков на значительную глубину; 2) контактовый, обусловленный тепловым влиянием интрузивных или эффузивных масс; 3) динамометаморфизм, или дислокационный, вызванный процессами складкообразования.

Химический состав углей. В зависимости от назначения углей производятся технический и элементный анализы.

Технический анализ. При техническом анализе в стандартных условиях определяют влагу, зольность, выход летучих веществ, характер коксового остатка, содержание серы, теплоту сгорания. Влаги и зола угля как вещества, понижающие теплоту сгорания, считаются балластом, остальная часть составляет так называемую горючую массу.

Влага (W) ископаемого угля состоит из общей (или рабочей) и внутренней (или гигроскопической). Внешняя влага на воздухе улетучивается, и уголь переходит в воздушно-сухое состояние. Гигроскопическая влага ($W^{\text{гигр.}}$) удаляется при нагревании угля при температуре 105 °С, и уголь переходит в абсолютно сухое топливо.

Содержание рабочей влаги в торфе до 90 %, в бурых углях до 60 %, в каменных углях менее 15 %, в антрацитах до 3 %.

Зола (А) – это твердый остаток, получаемый при сжигании угля. Для сопоставления различных по зольности углей и углей из разных бассейнов вместо аналитической зольности (A^a) пользуются зольностью, пересчитанной на сухое вещество (A^c). По зольности угли подразделяются на малозольные ($A^c < 10 \%$), средnezольные ($A^c = 10\text{--}30 \%$) и высокзольные ($A^c > 30 \%$). При содержании золы более 40–45 % порода считается углисто-глинистой, а не углем.

Летучие вещества – смесь газообразных и парообразных веществ, выделяющихся из угля при нагревании до температуры 850 °С без доступа воздуха. В состав их наряду с парами воды входят диоксид и оксид углерода, УВ, кислород, сернистый газ и др. Содержание летучих веществ обычно вычисляют на безводный и беззольный уголь, на так называемую горючую массу (V^r).

Кокс – нелетучий горючий остаток после термического разложения угля и удаления из него летучих веществ. По внешнему виду и прочности он меняется от порошкообразного (бурые угли и антрациты) до хорошо сплавленного, с серебристым металлическим блеском (коксовые угли, некоторые жирные). Процесс образования кокса сопровождается переходом его в пластическое состояние, при котором происходит связывание отдельных зерен в однородную массу, т. е. его спекание. *Спекаемость* углей в лабораторных условиях определяется различными методами. Наиболее широко применяется метод Л. М. Сапоженикова и Л. П. Базилевича. По этому методу в процессе термического разложения угля регистрируются (в пластометрическом аппарате) изменение объема – вспучивание и усадка X (мм) – и толщина возникшего пластического слоя Y (мм). Последний параметр принят в промышленной классификации углей в качестве основного показателя, имеющего оптимальную величину в среднем 16–20 мм, а для жирных и коксовых углей – более 20 мм.

Сера в углях по типу соединений разделяется на пиритную (колчеданную), сульфатную и органическую. Колчеданная сера наиболее распространена в углях в виде тонких растительных частиц или в виде желваков. Сульфатная сера присутствует в форме гипсовых пленок, содержание ее низкое (не более 0,3 %). Количество органической серы составляет разность между общей серой и суммой пиритной и сульфатной серы: $S_{\text{ОРГ}} = S_{\text{ОБЩ}} - (S_{\text{СУЛЬФ}} + S_{\text{ПИР}})$.

Удельная теплота сгорания – количество тепла, выделяемого при полном сгорании единицы массы твердого топлива (обычно 1 кг). Этот показатель определяется на рабочее (Q^p) и абсолютно сухое топливо (Q^c), на аналитическую пробу (Q^a) и на горючую массу (Q^f). Удельную теплоту сгорания (МДж/кг) можно определить экспериментальным путем с помощью калориметрической бомбы, а также по результатам элементного анализа по эмпирическим формулам. Теплота сгорания органической массы составляет (МДж/кг): торфа 20,9–23,8, бурых углей 29,3–31,10, каменных углей 32–37, антрацита 33,0–35,9.

Элементный анализ. Выполняется с целью определения процентного соотношения химических элементов, входящих в состав угля. При элементном анализе определяют содержание углерода, кислорода, водорода, азота, органической серы, а для установления пригодности коксующегося угля для черной металлургии – содержание серы.

Углерод С определяет удельную теплоту сгорания углей. Содержание углерода служит одним из главных параметров в классификации углей всех стран независимо от направления их использования. По мере перехода углей от бурых к антрациту содержание углерода повышается от 58–75 до 95–98 %.

Водород H_2 повышает удельную теплоту сгорания углей. Содержание водорода уменьшается от бурых углей (4–6 %) к антрацитам. В сапропелитах количество водорода достигает 7–9 % и даже 11 %.

Кислород O_2 убывает от бурых углей (10–30 %) к антрацитам, где его содержание составляет всего 1–2 %.

Азот N_2 , содержащийся в углях, варьирует от 1 до 3 %. В углях более высокой степени углефикации количество его, как правило, уменьшается. В процессе коксования часть азота образует аммиак, который используется для получения нашатырного спирта, азотной кислоты, азотных удобрений и др.

Сера S органическая, связанная с углем химически, входит в состав растений, из которых образовался уголь.

Фосфор P – очень вредная примесь в коксующихся углях, так как он из кокса полностью переходит в чугун. Содержание фосфора в коксующихся углях не должно превышать 0,03 %.

Петрографический состав углей. В углях различают макроскопически обособленные составные части – ингредиенты: витрен (vitrum – стеклянный); фюзен (fusian – вытянутый); кларен (clarus – светлый, ясный); дюрен (durus – твердый). Эти термины введены в 1919 г. английской ученой леди Маргарет Стопс. Витрен и фюзен – простые

ингредиенты, образованные из единого растительного обрывка (фрагмента) растений; дюрен и кларен – сложные, состоят из нескольких разнообразных компонентов, образующих тесное парагенетическое сочетание, относительно обособленное в массе угля.

Витрен – блестящий уголь, почти совершенно утративший признаки какой-либо растительной структуры и представляющий собой коллоидальную массу с раковистым стеклообразным изломом. В угле встречается в виде линзообразных прослоек, резко отграниченных от других ингредиентов, и сравнительно легко отделяется от них ножом. В прозрачных шлифах витрен может быть совершенно однородным и бесструктурным (коллинит) или структурным, сохранившим структуру исходных тканей (телинит), и имеет бурую, оранжевую или красную окраску. В аншлифах цвет его от серого до белого. Витринизированные вещества образуются в процессе гелификации.

Кларен – полублестящий, более вязкий, менее трещиноватый с выраженным наложением уголь. В нем преобладает основная бесструктурная масса, а среди форменных элементов, кроме спор и кутикулы, встречаются еще измененные ткани коры и древесины. В угольных пластах он нередко слагает мощные пачки. Под микроскопом в шлифах кларен представляет гелифицированное прозрачное вещество, содержащее обрывки спор, кутикулу, смоляные тела, обрывки гелифицированных и фюзинизированных тканей.

Фюзен – волокнистый, с характерным шелковистым блеском, напоминает древесный уголь, мягкий (твердость меньше 2 по шкале Мооса), рыхлый и легко растирается пальцами в порошок. По этим признакам его безошибочно можно определить макроскопически. Цвет его серовато-черный или бархатисто-черный. Под микроскопом в шлифах фюзен непрозрачен и имеет сплошную клеточную структуру; стенки клеток черные и непрозрачные, а их отверстия просвечивают и свободны или заполнены минеральными образованиями.

Дюрен является вторым матовым ингредиентом полосчатых углей, относительно твердый (твердость 3), вязкий, плотный, макроскопически однородный. Цвет преимущественно черный, излом зернистый. Дюрен под микроскопом неоднороден. Его составные части – цементирующая масса, обычно непрозрачная (реже прозрачная), содержит скопления спор, пыльцы, кутикулы, смолы, обрывки гелифицированных и фюзенированных тканей и минеральных примесей. Этот комплекс свидетельствует о беспокойном режиме торфяника, обуславливающим

окисление, перераспределение и минерализацию. Типичные дюреновые угли характерны для углей каменноугольного возраста (Подмосковный, Карагандинский, Кизеловский и другие бассейны).

Органические компоненты. Органические компоненты угля представляют собой растительные остатки, которые по степени разложения подразделяются на две группы: 1) не потерявшие исходной растительной структуры – так называемые «форменные (или структурные) элементы»; 2) имеющие вид бесструктурного вещества, так называемая «основная масса». В группу форменных элементов входят оболочки спор, кутикула, смоляные тельца, водоросли и измененные ткани, но сохранившие признаки принадлежности к растительности. Основная масса угля (в гумитах) состоит из «гумусовых» веществ и растительного шлама (дисперсно раздробленных остатков растений).

Неорганические компоненты. Они представлены различными минеральными включениями и примесями, которые переходят в золу при сжигании. В клареновых углях преобладают аутигенные, а в дюреновых – терригенные минеральные включения.

Физические свойства углей. Физические свойства отражают внутреннюю структуру угольного вещества. В понятие «физические свойства углей» входят: цвет, блеск, отражательная способность, плотность, твердость (или вязкость), излом и др.

Блеск – служит одним из главных диагностических признаков классификации углей. Различают оттенки блеска: смолистый (жирный), стеклянный, алмазный и шелковистый. Смолистый блеск у кларена, стеклянный у витрена, шелковистый у фюзена, матовый у дюрена. По мере увеличения степени углефикации блеск углей усиливается.

Цвет ископаемых углей варьирует от серо-коричневого до черного. Бурый цвет характерен для углей низкой степени углефикации. Каменные угли имеют черный или темно-серый цвет, антрациты – черный с желтоватым или сероватым оттенком.

Плотность – одна из основных физических характеристик угля и выражается в кг/м³. Плотность непрерывно возрастает от рыхлого торфа к антрациту.

Отражательная способность – основной оптический показатель углефикационных изменений, который определяется обычно

макроскопически путем сравнения серии образцов, а также фотометрами с графическим изображением результатов измерения.

Хрупкость углей определяют по степени их сопротивления раздавливанию, истиранию и удару. Наиболее хрупкие фюзеновые угли, а наиболее стойкие – дюреновые. Хрупкость углей в значительной мере связана также и со степенью метаморфизма: от антрацитов к газовым углям она понижается.

Твердость измеряется в полевых условиях путем царапания угля эталоном. У бурых углей она составляет 2 (по шкале Мооса), увеличивается у каменных углей, а у антрацитов достигает 3,5–4.

Излом углей раковистый, землистый, занозистый, зернистый, листоватый, волокнистый и неровный. Раковистый излом характерен сапропелевым углям (иногда антрацитам), землистый и неровный – бурым, зернистый – каменным углям.

Трещиноватость углей по генетическому признаку разделяется на первичную, вторичную и гипергенную. Первичная трещиноватость вызвана сокращением объема угольного вещества в процессе метаморфизма («трещины усыхания»), вторичная – возникает при тектонических процессах, гипергенные трещины образуются при выветривании углей.

Люминесценция – характер излучения под действием ультрафиолетовых лучей. Для люминесцентного анализа используются битумы, извлекаемые из углей бензолом.

Классификация углей. Существует несколько направлений классификации углей: генетическое, геолого-генетическое, петрографическое, технологическое и др.

Генетическая классификация. Эта классификация была разработана немецким палеоботаником Г. Потонье. Она достаточно проста и основывается на природе и происхождении твердых горючих ископаемых:

- Биолиты: 1) акаустобиолиты;
2) каустобиолиты: сапропелиты, гумусовые породы, липтобиолиты.

Акаустобиолиты представляют собой неорганический остаток, образующийся после полного разложения ОВ растительных и животных организмов. Гумусовые каустобиолиты образуются в результате разложения остатков высших растений (торф, большинство углей). Сапропелиты возникают при восстановительном

разложении в основном низших организмов. К ним относятся богхеды и битуминозные сланцы. Липтобиолиты (от греческого слова лейптос – оставлять, остаточный) образуются в проточных болотах, где течение обеспечивает повышенный по сравнению с обычными условиями доступ кислорода. В результате возникают условия для быстрого разложения лигнино-целлюлозных тканей и выноса этих продуктов с одновременным скоплением наиболее стойких форменных элементов – спор, кутикул, коровых элементов и др.

Геолого-генетическая классификация. Разработана Ю. А. Жемчужниковым на основе усовершенствования классификации Г. Потонье. В своей классификации он учел исходный материал и условия его превращения. Согласно этой классификации выделяются две группы твердых горючих ископаемых: 1) гумолиты (происходят из высших растений) и 2) сапропелиты (происходят из низших растений и зоопланктона). Гумолиты разделяются на два класса: 1) собственно сапропелиты и 2) сапроколиты. Сапроколиты – это угли, образовавшиеся из низших растений, которые в процессе углефикации полностью разложились.

Технологическая классификация. При исследовании углей появилась необходимость их классификации по параметрам, отвечающим запросам промышленности. Такие классификации основаны на степени углефикации углей и включают показатели, имеющие большое практическое значение (содержание углерода, выход летучих веществ, теплоту сгорания, спекаемость и др.) В СНГ наиболее широкое распространение имеет технологическая классификация донецких углей (табл. 1).

Таблица 1

Схема донецкой (марочной) классификации углей [10]

Стадия углефикации	Влага лаборатор- ная, %	На беззольное и безводное вещество, %				Теплота сгорания , МДж/кг	Спекае- мость, мм
		Выход летучих веществ	Содержание				
			Углерода	Водорода	Кислоро да		
Буроугольная, Б	10–25	39–67	58–67	4,5–5,9	20–29	< 23,9	0
Длиннопламен ная, Д	4–10	35–46	76–80	4,9–5,6	15,7	32,2–33,5	0–14

Газовая, Г	1,3–2,5		80,0–84,5	5,4–5,8	Последовательное уменьшение до 0,2–1,5	33,0–35,7	0–30
Жирная, Ж	0,4–1,7	25–40	84–89	4,9–5,7		35,5–35,9	9–40
Коксовая, К	0,3–0,9	18–28	88,5–90,5	4,5–5,0		35,7–36,6	5–32
Отощено-сжигающаяся, ОС	0,5–0,8	14–19	90–91,7	4,5–4,9		36,4–36,8	–
Тощая, Т		7–14	90,7–92,7	3,7–4,3		35,7–36,4	0–25
Полуантрацитовая, ПА	0,7–0,8	5–6	92,2–92,5	3,3–3,5		35,7–35,9	0
Антрацитовая, А	0,9–3,2	1–2	95,1–97,5	0,8–1,9		33,5–34,5	0

Лекция 4. ГЕОЛОГИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Строение и состав угленосных толщ. Под угленосной толщей понимается комплекс осадочных пород, содержащих угольные пласты. Типы угленосных толщ выделяются по многим признакам: вещественному составу, условиям образования, геоморфологическому, стратиграфическому, и в соответствии с этим толщам даются названия: морская, континентальная, озерно-болотная, паралическая, глинистая, песчаная и т. д. Образование угленосных отложений происходит по общему для всех осадочных формаций принципу чередования нисходящих и восходящих движений на общем фоне погружения площади. Многократно сменяющиеся обстановки осадко- и накопления углеобразующей растительности обусловили изменчивость строения угленосных толщ, состав пород, количество, мощность и строение угольных пластов.

Обычно угленосная толща представлена чередованием песчаных, песчано-глинистых и глинистых пород. Реже встречаются известняки, мергели, конгломераты и вулканогенные породы. Песчаники составляют основную часть разреза угленосных толщ. В ряде бассейнов наблюдаются тонштейны, залегающие в виде небольших прослоев. Эти глинистые образования содержат вулканогенный пепел, имеют широкое распространение по площади, занимают четкое стратиграфическое положение и поэтому являются хорошими маркерами.

Коэффициент угленосности. Угли в разрезе угленосной толщи занимают обычно около 1 % ее мощности. Насыщенность угленосной толщи определяется коэффициентом угленосности, который представляет собой выраженное в процентах отношение суммарной мощности всех пластов угля к общей мощности угленосной толщи. Коэффициент угленосности рассчитывается по каждой конкретной скважине. В разных бассейнах этот коэффициент имеет разную величину (%): в Донецком 0,4–0,6, Кузнецком 1,6–1,8, Экибастузском около 25, в Канско-Ачинском доходит до 45. Углеплотность – величина запасов угля на 1 км² горизонтальной поверхности месторождения.

Угольный пласт. Угольным пластом называется геологическое тело, сложенное углем и неорганическими включениями, ограниченное более или менее параллельными друг другу поверхностями напластования.

Строение угольного пласта. Угольные пласты обычно бывают сложены из нескольких пачек угля, разделенных углистыми слоями пород, называемых прослойками пустой породы. Строение угольных пластов меняется от простого (без прослоев пустой породы), умеренно сложного (с одним или несколькими породными прослоями) до очень сложного (переслаивание в разрезе многочисленных угольных и породных прослоев и слоев). Одной из характерных форм угольной залежи являются мощные угольные пласты, расщепляющиеся в определенном направлении на серию относительно тонких пластов до полного их исчезновения – выклинивания.

Мощность угольного пласта. По мощности угольные пласты разделяются на весьма тонкие (до 0,5 м), тонкие (0,5–1,3 м), средней мощности (1,3–3,5 м), мощные (3,5–15 м) и весьма мощные (более 15 м). В пластах сложного строения выделяют мощность трех видов: 1) общую; 2) полезную; 3) рабочую. Общая мощность – это мощность пласта от почвы нижней пачки угля до кровли верхней пачки угля со всеми породными прослоями. Полезная мощность – это суммарная мощность пачек угля, составляющих пласт, т. е. суммарная мощность угольной массы в пласте. Рабочий пласт – это часть разреза пласта (или весь пласт простого строения), подлежащая выемке. Бурые угли разрабатываются при мощности пласта более 2 м, а каменные – 0,5–0,7 м и более. На земном шаре в угольных бассейнах развиты пласты различной рабочей мощности – от 0,5–1 до 200 м. Выявлены два пласта сверхгиганта: 420-метровый на месторождении Хет Крик в Канаде и 300-метровый на месторождении Латроб-Велли в Австралии.

Сопутствующие полезные ископаемые угленосных толщ. В угленосной толще и в углях содержится комплекс сопутствующих полезных ископаемых, промышленная ценность которых в ряде случаев не уступает ценности заключенных в этой толще углей. По стратиграфическому положению, характеру распространенности и ценности полезных ископаемых выделяют три зоны: 1) доугленосную с корами выветривания (огнеупоры, бокситы, каолины и др.); 2) угленосную, в которой присутствуют уран, рений, германий и другие элементы; 3) надугленосную – с относительно бедным комплексом полезных ископаемых в виде песков, гравийного материала, легкоплавких глин и других строительных материалов.

В собственно угольных пластах особый интерес представляют малые элементы. Наибольшее практическое значение, кроме урана, имеют германий и галлий.

Германий – по существу единственный элемент, для которого угли являются основным источником его получения. Содержание германия в углях колеблется от 1 г до 2 кг на 1 т сухого топлива. В большинстве случаев германий в повышенных концентрациях сосредоточен в нижней и верхней частях пласта, а в пределах месторождений – в периферийных их частях. При прочих равных условиях наибольшее количество германия наблюдается в углях более низких стадий метаморфизма.

Галлий в углях находится в различных формах и связан как с ОВ, так и с минеральной частью угля. Главным носителем галлия являются глины. Основное накопление галлия связано с привнесением его в торфяники. Концентрации галлия не коррелируются ни с геологическим возрастом углей, ни со степенью их метаморфизма.

Угленосные бассейны, месторождения, районы, провинции. В геологии угля основной таксономической единицей является понятие «месторождение». Под *угольным месторождением* понимается естественное скопление угленосных отложений с пластами угля, занимающих определенное стратиграфическое положение в осадочной толще земной коры и разработка которых в настоящее время экономически рентабельна.

Угленосный бассейн – это обширная площадь сплошного, часто непрерывного развития угленосных отложений с подчиненными им пластами угля, связанных единством процессов образования и последующих изменений.

Угленосный район – это совокупность угольных месторождений, обычно разобщенных в результате интенсивного проявления

тектонических или эрозионных процессов и приуроченных к какому-либо административному району.

Угленосные провинции – обширные сплошные или прерывистые площади, попадающие в одну и ту же возрастную фазу благодаря основным сходствам геологических условий образования угленосной толщи. По масштабу распространения и положению на земном шаре провинции разделяются на три ранга: 1) мегапровинции; 2) мезопровинции; 3) локальные провинции. Мегапровинция включает разобщенные в настоящее время гондванские угленосные площади Бразилии, юга Африки, Индии, Австралии и Антарктиды, характеризующиеся аналогией стратиграфического положения угленосной толщи, ее вещественного состава и условий образования. К такому же рангу относится позднекайнозойская Тихоокеанская угленосная провинция Тихоокеанского подвижного пояса, располагающаяся по восточному и западному побережьям океана вдоль американского и евроазиатского континентов и на южных островах последнего.

Классификация угленосных бассейнов. Первая классификация угленосных бассейнов была разработана более 100 лет тому назад и основывалась на признаках фациального состава угленосных толщ. В соответствии с этой классификацией выделялись бассейны двух типов: паралический (прибрежный) и лимнический (озерный).

Широкое признание и практическое применение получила классификация угольных бассейнов, разработанная Г. А. Ивановым еще в 1930-е гг. Согласно этой классификации по характеру тектонических движений бассейны разделены на три типа: геосинклинальный, переходный и платформенный.

Бассейны геосинклинального типа характеризуются большой мощностью угленосных отложений (до 10–15 км), частым переслаиванием пород различного состава, значительным числом пластов каменного угля (до 100–150 и более), выдержанностью их по латерали, а также отчетливо выраженной линейной складчатостью и интенсивным проявлением разломной тектоники. В таких бассейнах обычно наблюдается зональность метаморфизма углей по вертикали (правило Хильта – Скока) и по площади.

Бассейны платформенного типа. Мощность угленосной толщи невелика – редко до первых сотен метров. Фациальный состав угленосной толщи почти исключительно наземно-континентальный. Образование углей происходит в озерно-болотных условиях. В разрезе

угленосной толщи характерно преобладание песчаных пород над глинистыми. Пласты угля не выдержаны по мощности: они выклиниваются и расщепляются на коротких расстояниях. Химический состав их также непостоянен, особенно по содержанию золы. Залегание угленосных отложений горизонтальное или слабонаклонное.

Бассейны переходного типа. Они как бы совмещают в себе черты двух вышеуказанных типов. В таких бассейнах наблюдаются промежуточные значения мощности угленосной толщи и пластов угля, а также их количество и степень выдержанности по сравнению с бассейнами геосинклинального и платформенного типов. Нередко отмечается смена типов углеобразования: формирование углей некоторых бассейнов иногда начиналось в одних условиях, а затем в связи с изменившейся палеогеографической обстановкой заканчивалось в других. К этому типу относится большинство пермских, мезозойских и кайнозойских бассейнов.

Предлагавшиеся позже советскими геологами классификации угольных бассейнов (Ю. А. Жемчужников, П. В. Васильев, Г. Ф. Крашенинников, А. К. Матвеев и др.) строились, как правило, также на тектонической основе, но в большинстве случаев количество типов бассейнов сводилось к увеличению их числа (до 16 и более).

Газы угольных месторождений. Современный газ в угленосных толщах состоит как из газа, оставшегося частично от торфяной стадии, так и из газа, образовавшегося в условиях погружения пластов углей и перекрытия их надугольной осадочной толщей. В составе газов угольных месторождений присутствуют метан, углекислый газ, азот, водород, тяжелые углеводороды и др.

Метан. Он является основным среди газов угольных месторождений (от 60 до 98 %). Образуется главным образом при биохимических процессах разложения растительного вещества. Из 1 т растительных остатков, содержащих целлюлозу, выделяется до 230–465 м³ метана. Основное и наиболее опасное его свойство – образование с воздухом при соответствующих соотношениях взрывчатой смеси. Смесь с содержанием метана 0–5 % сгорает без взрыва, при содержании его от 5–6 до 14–16 % смесь, соприкасаясь с пламенем, дает взрыв. Наибольшая сила взрыва наблюдается при 9,3 % метана в рудничном воздухе.

Углекислый газ. Содержание его в газах угольных месторождений достигает иногда 25 %. Образуется в результате превращения

растительного вещества при углеобразовании. Несмотря на его большую растворимость в воде, все же при определенных геологических условиях углекислый газ мог сохраниться и накопиться в значительных объемах в угленосных толщах. Кроме того, он частично обязан своим генезисом процессам сорбции атмосферного кислорода с окислением углерода до углекислого газа, а также привносу его циркулирующими водами из верхних горизонтов биосферы. Поступление этого газа в угленосную толщу в определенных бассейнах (Донецкий, Кузнецкий и др.) может быть связано с магматическими процессами.

Азот. В угольных месторождениях он имеет в основном воздушное происхождение за счет привноса его в растворенном состоянии подземными водами. Частично азот мог образоваться в результате биохимических процессов. Показателем происхождения азота может служить отношение аргона к азоту в газе из углей к такому же отношению их в воздухе. Азот не имеет цвета, запаха и вкуса, инертен, не поддерживает горение. Он ослабляет взрывчатость метана.

Присутствие газа в угленосных толщах значительно осложняет подземную разработку месторождений. Несоблюдение техники безопасности горных работ приводит к серьезным авариям. Так, за последние 5–10 лет произошли крупные аварии на шахтах Донбасса и Кузбасса, приведшие к гибели людей.

Основные закономерности распространения углей на Земле. Распространение углей на земном шаре подчинено закономерностям его геологического развития и может быть отражено как в количественном выражении, так и в геолого-географическом плане. Основанные на сочетании этих двух критериев закономерности распространения углей впервые были установлены П. И. Степановым, выделившим в 1939 г. площади преобладающего в каждом геологическом периоде угленакопления, а для карбона – протягивающийся через Евразию и Северную Америку в широтном направлении так называемый «карбоновый пояс». В 1960 г. Н. М. Страхов установил распространение на земном шаре благоприятных для углеобразования гумидных зон.

Угли, как бурые, так и каменные, развиты во всех геологических системах, начиная с девона, и на всех континентах. Они занимают большую площадь, особенно в странах на долю которых приходится более 75 % его запасов: в России, США и Китае. В распределении этих запасов по бассейнам наблюдается резкая диспропорция. Выделяется семь бассейнов-гигантов с запасами более 500 млрд т. Это – Тунгусский, Ленский, Таймырский, Канско-Ачинский, Кузнецкий, Алта-Амазона и Аппалачский.

Далее следуют четыре бассейна с запасами угля 200–500 млрд т (Донецкий, Печорский, Нижнерейнско-Вестфальский и Иллинойс). Преобладающее большинство бассейнов и самостоятельных месторождений обладает запасами менее 0,5 млн т.

Стратиграфические закономерности. Впервые стратиграфические закономерности распределения углей в осадочной оболочке Земли были установлены П. И. Степановым. Он выделил три максимума углеобразования: поздний карбон–пермь (I), юра (II), поздний мел–неоген (III) и три минимума, совпадающие с ранним карбоном (I), триасом (II) и поздним мелом (III). Полученные во второй половине XX в. новые данные свидетельствуют о том, что стратиграфическое распределение углей в осадочной оболочке несколько иное, чем представлялось, в частности, П. И. Степанову. Так, по новым данным, выделяются три максимума углеобразования: пермь (26,8 % мировых ресурсов угля), карбон (20,5 %) и мел (20,5 %).

Тектонические закономерности. Сопоставление размещений угольных бассейнов с положением основных геотектонических элементов земного шара указывает на ведущее влияние структурно-тектонического фактора не только на пространственное положение бассейнов, но и на сложность их геологического строения. Палеозойские угленосные бассейны, по Г. Ф. Крашенинникову, в тектоническом отношении принадлежат главным образом к краевым и внутренним прогибам геосинклинальных областей. В них обычно развиты толщи паралического характера. Типичные примеры – Донецкий и Печорский бассейны. Нижне- и среднемезозойские угленосные бассейны, как правило, приурочены к межгорным тектоническим впадинам (восточный склон Урала, месторождения Киргизии и др.). Формы залегания углей – линзовидные, сложно построенные залежи, достигающие значительной мощности. В кайнозое, за исключением альпийской зоны складчатости, углеобразование происходило в платформенных условиях.

Ресурсы, запасы, добыча

Ресурсы. Мировые прогнозные ресурсы угля до настоящего времени полностью не учтены, а оценки их весьма противоречивы. По оценке ГНПП «Аэрогеология» (1998), ресурсы угля в мире составляют около 32,5 трлн т. На суше прогнозные ресурсы достигают 24,5 трлн т (в том числе бурых углей – 8,44 трлн т). Наиболее крупными прогнозными ресурсами угля обладают следующие страны (трлн т, в скобках бурый

уголь): Китай – 6,5 (1,44), Россия – 4,45 (1,32), США – 3,6 (2,31), Австралия – 1,5, Канада – 0,58, Великобритания – 0,38.

Запасы. Запасы подтвержденные (промышленные) углей всех типов (УВТ) в мире составляют 1 747,2 млрд т, в том числе углей каменных (УК) – 1353,4 млрд т, углей бурых (УБ) – 393,8 млрд т. Крупнейшими запасами углей обладают следующие страны (млрд т): США УВТ – 444,8, УК – 403,9, УБ – 40,9; Китай УВТ 296,0, УК – 257,5, УБ – 38,5; Россия УВТ – 200,6, УК – 97,5, УБ – 103,1; ЮАР УВТ – 115,5, УК – 115,5; Австралия УВТ – 114,0, УК – 68,0, УБ – 46,0; Германия УВТ – 105,5, УК – 44,0, УБ – 61,5; Канада УВТ – 77,3, УК – 71,0, УБ – 6,3; Великобритания УВТ – 45,4, УК – 45, УБ – 0,4.

Добыча. Мировая добыча углей всех типов в 1993 – 2000 гг. составляла 4,5–4,9 млрд т, в том числе бурых углей – 0,9–1,0 млрд т. Странами-лидерами по добыче углей являются Китай и США. В 1996 г. добыча (в млрд т) составила в Китае УВТ – 1,35, в том числе УК – 1,30, УБ – 0,05; в США – УВТ – 1,04, УК – 0,96, УБ – 0,08. В Индии, Австралии, России, Германии, ЮАР и Польше добыча углей всех типов составляет в пределах 200–300 млн т.

В Китае одним из приоритетных проектов является освоение месторождений Шеньфу-Доншен (провинция Шаньси). Планируется строительство новых шахт в восточных и центральных районах Китая (провинции Шаньдун и Аньхой). В США в 1995–2000 гг. добыча угля производилась на 1018 углеразрезах и 885 подземных шахтах в 26 штатах. Наиболее значительная добыча осуществлялась в штатах Вайоминг (около 250 млн т), Западная Виргиния (155 млн т) и Кентукки (135–140 млн т).

Углепроявления и месторождения угля в Беларуси. Углепроявления в Беларуси связаны с отложением нижнего и среднего карбона, средней юры и неогена. Территориально они приурочены в основном к двум крупным отрицательным структурам – Припятскому прогибу и Подляско-Брестской впадине. Наиболее широкое распространение углепроявления имеют в кайнозойских отложениях: кроме двух вышеотмеченных структур, они выявлены также в пределах Полесской, Жлобинской, Брагинско-Лоевской седловин и на южных склонах Белорусской антеклизы. В юго-западной части Припятского прогиба разведаны два месторождения бурых углей – Житковичское и Бриневское.

Житковичское месторождение расположено в Гомельской области и в тектоническом отношении приурочено к зоне сочленения Туровской депрессии и Микашевичско-Житковичского выступа кристаллического

фундамента. Угленосными являются олигоцен-миоценовые континентальные терригенные отложения. На месторождении выделяются четыре разобщенные залежи бурого угля. Форма залежей линзовидная, мощность от 0,3 до 15,6 м, средняя глубина залегания 21,2–44,4 м. По качеству угли Житковичского месторождения гумусовые, низкой степени метаморфизма, относятся к бурым углям Б₁. Запасы угля по категориям А+Б+С₁ составляют 69,1 млн т и по категории С₂ – 1,9 млн т.

Бриневское месторождение находится в Петриковском районе Гомельской области. Мощность угленосной толщи колеблется от 6,2 до 47,9 м, коэффициент угленасыщенности в среднем составляет 25–30 %. Развита одна залежь угля мощностью от 0,4 до 19,9 м, глубина залегания 39,7–82,8 м. По данным предварительной разведки, балансовые запасы углей оценены в 38 млн т. По качеству угли относятся к гумусовым марки Б₁. Теплота сгорания на сухой уголь составляет 10,88–20,13 МДж/кг, зольность – 20,1–31,7 %, выход летучих веществ на горючую массу – 52,0–60,1 %, содержание серы – 0,6–1,4 %. По условиям залегания угольная залежь Бриневского месторождения пригодна для разработки карьерным способом.

Лекция 5. ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ

Горючие сланцы – это карбонатно-глинистые, глинистые, известковые или кремнистые породы с содержанием 10 % и более керогена, обладающие способностью загораться от спички, издавая при этом специфический запах горячей резины. В отличие от битумов, которые эпигенетически пропитывают песчаные породы, битумы в собственно горючих сланцах сингенетичны вмещающим породам. Содержащееся в горючих сланцах ОВ низших растений в процессе преобразования сохраняет иногда их клеточное строение, образуя так называемые талломоальгиниты, или же теряет его, переходя в коллоидоподобную массу – коллоальгиниты. В горючих сланцах нередко содержатся гумусовые компоненты преимущественно в диспергированном виде.

Условия образования сланценосных формаций. Горючие сланцы являются чисто водными образованиями. В отличие от угленосных толщ, формирующихся в основном в условиях влажного климата, при образовании горючих сланцев климат не играет решающей роли.

Фациальные условия образования горючих сланцев определяются в основном двумя факторами – накоплением в осадках достаточного

количества ОВ и наличием восстановительной среды, обеспечивающей сохранность (не окисление) в илах отмерших растительных организмов с последующим их превращением в кероген. Горючие сланцы образуются в разнообразных условиях: 1) открытые морские бассейны во время медленных региональных трансгрессий; 2) лагуны и большие лиманы; 3) пресноводные озера – от небольших водоемов до обширных внутриконтинентальных или межгорных бассейнов (например, эоценовые сланцы формации Грин-Ривер в США).

Сопоставление микроэлементов горючих сланцев показало, что главная масса их накапливалась в краевых участках морских бассейнов в обстановке сероводородного заражения, определявшей восстановление многих металлов из вод с последующей их сорбцией донными илами.

Месторождениям горючих сланцев несвойственна избирательная способность по отношению к глобальным геоструктурам: они приурочены в одинаковой степени и к различного типа платформам, и к внешним областям геосинклиналей, и к переходным между ними областям, но в целом тяготеют к древним устойчивым платформам. Оптимальные обстановки для накопления горючих сланцев существовали во время стабилизации морских трансгрессий, следовавших за фазами складчатости.

Строение и состав сланценосных формаций. Сланценосные формации представлены в основном глинисто-алевролитово-терригенными и известково-мергелистыми отложениями с сапропелевым органическим составом. Песчаный и другой, более грубый, материал в них, как правило, отсутствует. В сланценосных формациях, в особенности в известняках и мергелях, нередко присутствует разнообразная морская фаза – остатки рыб, брахиоподы, пелециподы, аммониты, белемниты и др. В породах часто наблюдаются неорганические включения, преимущественно в виде карбонатных конкреций (Прибалтийский бассейн). В горючих сланцах карбонового возраста и более молодых встречаются также остатки высших растений в виде спор, пыльцы, стеблевых тканей, гелифицированные и фюзенизированные компоненты и гумусовые угли.

Ограниченный набор слагающих сланценосных формаций литологических типов пород, в основном пелитовых и органических с очень тонким переслаиванием, создает характерную для этих формаций очень мелкую, на первый взгляд слабо выраженную ритмичность.

Классификация сланценосных формаций. Сланценосные формации отчетливо подразделяются на две группы – платформенные и геосинклинальные. Платформенные формации характеризуются широким распространением по площади, относительно малой

мощностью (десятки метров, реже – больше), небольшим количеством пластов горючих сланцев.

Геосинклинальные сланценосные формации выделяются большой мощностью (от нескольких сотен метров до 1000 м и реже более), большим числом (до 20) достаточно мощных пластов горючих сланцев, которые не выдержаны по простиранию (Карпаты, Кавказ, Гиссарский хребет и др.).

По происхождению и промышленному значению сланценосные формации разделяют также на две группы: лагуно-морского происхождения и озерно-пресноводного. Основное промышленное значение имеют месторождения первой группы.

Пласты горючих сланцев. Пласты горючих сланцев в отличие от угольных менее четко выделяются во вмещающих их породах. Они представляют собой более или менее частое чередование слоев горючего сланца мощностью 10–20 см (изредка до 1 м) и прослоев пустых пород мощностью от единиц до десятков сантиметров. В рабочие слои горючего сланца объединяются наиболее мощные и сближенные слои, которые в сумме составляют от 1–1,5 до 2–3 м. В маломощных сланценосных формациях обычно выделяются 1–3 рабочих пласта.

Пласты горючих сланцев обычно хорошо выдержаны по мощности и строению в пределах отдельных месторождений и прослеживаются по латерали на десятки километров. В платформенных бассейнах они имеют, как правило, пластовую форму залегания, а в геосинклинальных обычно сильно дислоцированы. В пластах горючих сланцев, залегающих в карбонатных толщах, нередко наблюдаются нарушения и замещения, обусловленные карстовыми явлениями (Прибалтийский бассейн).

Макроскопически пласты горючих сланцев имеют тонкослоистое строение и ленточную структуру. Цвет их – от светло-коричневого, желтоватого до темно-коричневого, от темно-серого до почти черного. Как правило, это плотная и компактная порода. Микроскопически органическая часть почти всех горючих сланцев характеризуется наличием гомогенной, часто хлопьевидной, основной массы (коллоальгинит), светло-желтой или коричневой. В основной массе часто наблюдаются одиночные ярко-желтые тела или их скопления, представляющие относительно сохранившиеся остатки микроводорослей (альгинит). В керогене горючих сланцев присутствуют также микрокомпоненты группы витринита, липтинита и реже фюзенита.

Элементный состав керогена. В зависимости от генетического типа горючих сланцев горючий состав керогена варьирует в широких пределах: $C^Г$ 56–82 %, $H^Г$ 5,8–11,5 %, $O^Г$ 9–10 %, $S_{общ}$ 1,5–9 %, $N^Г$ 1–6

%. По М. Бертрану, химическая формула керогена, в зависимости от содержания водорода, изменяется от $C_{10}H_{15}O$ до $C_6H_{10}O$.

Для качественной характеристики горючих сланцев, кроме элементного анализа, определяется также в расчете на горючую массу содержание ОВ, выход смолы, химический состав золы и соотношение типов слагающего материала – органического, карбонатного, обломочного, реже вулканогенного.

Горючие сланцы с содержанием керогена от 15 до 30–68 % формировались в открытых морях в раннем палеозое. В сланцах, образовавшихся в кайнозойских пресноводных озерах, содержание органического вещества более низкое (5–50 %). Максимальное количество керогена (30–90 %) характерно для сланцев Восточно-Австралийской провинции. Наиболее высокий выход смолы (в расчете на сухое вещество) имеют горючие сланцы Восточно-Австралийской и Восточно-Европейской платформ (39–54 %), в сланцах других провинций он составляет 12–21 %.

Глобальные закономерности распространения. Горючие сланцы встречаются в больших количествах в разных регионах мира. Особенно широко они распространены в Северной Америке и Евразии. Основные массы горючих сланцев связаны с отложениями верхнего девона – нижнего карбона (более 2,3 млрд т в расчете на сланцевую смолу), верхней перми (более 1,2 млрд т) и палеогена (более 1,2 млрд т). Образовавшиеся в протерозое горючие сланцы практически не сохранились, поскольку превращены в высокометаморфизованные углеродсодержащие породы и графит.

Горючие сланцы промышленного значения обычно занимают небольшие отрезки стратиграфической шкалы, но распространены на обширных площадях в десятки и сотни тысяч квадратных километров. На земном шаре выделяется двенадцать крупных провинций: Оленекская, Прибалтийская, Аппалачская, Западно-Североамериканская, Бразильская, Восточно-Австралийская (палеозойские); Волжско-Печорская, Западно-Европейская, Центрально-Африканская (мезозойские); Центрально-североамериканская, Карпатская, Туранская (кайнозойские).

Ресурсы. По произведенным в США в 1973 г. подсчетам, мировые геологические ресурсы горючих сланцев с нижним пределом получения нефти в сланцах в 4 % составляют 53 трлн т. Ресурсы сланцевой смолы оценены в 335 млрд т, из которых к доказанным извлекаемым относятся лишь 42 млрд т. Месторождения горючих сланцев эксплуатируются в

Эстонии, России, Китае и некоторых других странах. Разработка их осуществляется открытым и шахтным способами.

Геология сланцевых месторождений. В Прибалтийской сланцевой провинции разведаны Эстонское, Ленинградское, Веймарнское и Чудово-Бабинское месторождения, из которых первые два разрабатываются. В 1970–1990-х гг. добыча составляла около 30 млн т горючего сланца. Промышленными являются сланценозные отложения кукерского горизонта среднего ордовика мощностью 10–20 м. В разрезе этого горизонта насчитывается 20–30 прослоев и слоев горючего сланца суммарной мощностью 3–5 м. Промышленный интерес представляет так называемый «промпласт», состоящий из 4–6 сближенных слоев сланца, разделенных слоями известняка. Мощность «промпласта» составляет 1,8–3,2 м. На Эстонском месторождении слои горючих сланцев в разрезе «промпласта» (снизу вверх) обозначаются латинскими буквами А, В, С, D, Е и F, а на Ленинградском – римскими цифрами I, II, III и IV (сверху вниз разреза).

На Эстонском месторождении разрабатывается пять слоев сланца: подземным способом – слои А–Е суммарной мощностью 2,0–2,2 м. Рабочая мощность по этим слоям составляет на шахтах 2,35 м и на карьерах 2,7 м. По качеству эстонские сланцы считаются одними из лучших в мире. Элементный состав эстонского сланца следующий: $C^Г$ 77,1–77,8 %, $H^Г$ 9,5–9,8 %, $O^Г$ 9,7–10,2 %, $N^Г$ 0,3–0,4 %, $S_{общ}$ 1,7–2,0 %, Cl 0,6–0,9 %. Теплота сгорания керогена 36,4–38,5 МДж/кг. При термическом разложении сланца характерен высокий выход летучих веществ – 80–85 % исходного керогена; выход жидких продуктов при полукоксовании достигает 65–70 % органической массы. Негорючая часть сланца состоит в основном из минеральной золы и углекислоты карбонатов. Содержание золы в сухой массе колеблется по отдельным слоям сланца в пределах 40–55 %, углекислоты 22–23 % и влаги 9–13 %.

Теплота сгорания горючего сланца на сухую массу в пределах рабочих слоев А–Е составляет 14,65 МДж/кг и слоев А–F – 12,56 МДж/кг. При валовой выемке (вместе с породными прослойками) всей мощности пласта теплота сгорания составляет 9,21 МДж/кг, а на рабочее топливо – 7,53 МДж/кг.

Горючие сланцы Беларуси. В платформенном чехле на территории Беларуси выявлено 14 уровней сланцеобразования. Промышленный интерес имеют сланценозные отложения верхнего девона в Припятском прогибе. Мощность сланценозных отложений составляет 100–150 м. Разрез представлен переслаиванием мергелей, глин с подчиненными

прослоями алевролитов и песчаников. Разведаны два месторождения – Любанское и Туровское. Основная проблема месторождений горючих сланцев Беларуси – это низкое их качество, и в частности невысокая теплотворная способность (5,32–8,58 МДж/кг) и высокое содержание золы (65–85 %).

ЧАСТЬ II

МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лекция 6. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. КАМЕННАЯ СОЛЬ

Общие сведения о неметаллических полезных ископаемых. К неметаллическим полезным ископаемым относится обширная группа минералов и горных пород, которые, как правило, не являются сырьем для извлечения металлов и не обладают горючестью. Определить, что, собственно, нужно включать в группу неметаллических полезных ископаемых, нелегко. Так, еще в 1930-х гг. бокситы в бывшем СССР считались нерудным сырьем. В американских справочниках к неметаллам обычно причисляют пирит, марганцевые руды, гафниево, бериллиево и литиевое сырье.

Область применения неметаллических полезных ископаемых чрезвычайно широка: практически нет ни одной отрасли хозяйства, где бы в той или иной степени не использовалось это природное минеральное сырье. В настоящее время насчитывается более 130 видов неметаллических полезных ископаемых, используемых в естественном или переработанном виде.

Важнейшей особенностью многих неметаллических полезных ископаемых является изменчивость их физико-химических и технических свойств, учитываемых при геолого-экономической оценке месторождений. Эта изменчивость может проявляться не только в пределах одного месторождения или участка, но даже и в одной горной выработке.

В отличие от металлических полезных ископаемых состав и физические свойства нерудного сырья очень сильно сказываются не только на технологии переработки, но и в конечных промышленных изделиях. Такие особенности состава и свойств неметаллического минерального сырья могут играть главную роль в использовании его в том или ином производстве.

Неметаллическое минеральное сырье в силу тождественности тех или иных свойств нередко взаимозаменяемо. Например, барит, каолин, тальк, пирофиллит могут частично заменять друг друга в качестве наполнителей.

Рассмотренные особенности неметаллических полезных ископаемых требуют специального подхода к изучению их месторождений. Поэтому при проведении геологоразведочных работ геолог должен в совершенстве знать конкретные особенности, состав и свойства сырья, технологию переработки, возможности его использования, экономику и конъюнктуру рынка.

В сводной генетической классификации месторождений полезных ископаемых, разработанной В. И. Смирновым, неметаллические полезные ископаемые фиксируются во всех сериях и группах. Поэтому обычно распространены классификации неметаллического минерального сырья, учитывающие использование его в промышленности (Р. Л. Бейтс, П. М. Татаринев, Н. И. Еремин и др.).

Нами принята классификация Н. И. Еремина, в соответствии с которой все рассматриваемые полезные ископаемые исходя из практического их применения разделены на четыре группы. Первая из них – химическое и агрохимическое сырье – включает калийные и калийно-магниевые соли, каменную соль, апатиты, фосфориты, серу и бор. Во вторую группу («индустриальное сырье») входят асбест, слюды, графит, флюорит, барит и виверит, цеолиты, магнезит и брусит, тальк и пирофиллит. Третья группа, объединяющая «индустриально-каменсамоцветное сырье», включает пьезооптическое сырье (кварц, оптический флюорит, исландский шпат), алмазы, цветные камни. Наконец, к четвертой группе – «строительно-конструкционные материалы и сырье для их производства» – отнесены карбонатные, глинистые, кремнистые породы, гипс, каолины, фарфоровые камни, пески, песчаники, гравий, кварциты, естественные строительные камни, активные минеральные добавки, породы для каменного литья и др.

Каменная соль. Среди неметаллических полезных ископаемых значительную роль играет группа природных минеральных солей, в составе которой наиболее распространенной является каменная соль – осадочная порода химического происхождения, сложенная в основном галитом (до 99%).

Галит (NaCl) кристаллизуется в кубической сингонии, форма кристаллов кубическая, реже октаэдрическая и столбчатая. В плотных массах зерна галита обычно обладают неправильными ограничениями и имеют размеры (от долей до нескольких сантиметров). Твердость его 2, удельная масса $2,3 \text{ г/см}^3$. Галит является постоянным компонентом всех соляных пород, образующихся в процессе галогенеза начиная с галитовой стадии и кончая эвтоникой. В трещинах и мелких пустотах несоляных пород он образует прожилки с волокнистым строением. Чистый галит прозрачен и бесцветен, обладает стекляннным блеском. Примеси

окрашивают его в различные цвета – серый, желтый, розовый, красный и др.

Применение в промышленности. Около 60–65 % мировой добычи каменной соли используется в пищевой промышленности для разнообразных пищевых целей (засолка рыбы, мяса, растительных продуктов и т. д.). Человек потребляет в год 7–8 кг поваренной соли. Вплоть до XVII в.

в бедных солью странах она ценилась дороже золота. «Об абиссинской горной соли упомянем, – писал в 1763 гг. М. В. Ломоносов, – которая там вместо денег употребляется, так что за три или пять брусков, сделанных наподобие кирпича, холопа купить можно».

Каменная соль находит широкое применение в химической промышленности, где служит исходным материалом для всех соединений, в состав которых входят натрий или хлор. Она перерабатывается на соду, путем электролиза из нее получают газообразный хлор и затем соляную кислоту. Применяется также в анилино- и лакокрасочной промышленности, кожевенном, мыловаренном производстве и др. Используется также в коммунальном хозяйстве.

Общетехнические условия оценки соли поваренной. Общие технические условия оценки соли поваренной выполняются на основе ГОСТа 13830–91. Пищевую поваренную соль подразделяют по способу производства и обработки на каменную, самосадочную, садочную и выварочную соль, с добавками и без добавок; по качеству – на экстра, высший, первый и второй сорта.

Органолептические показатели соли поваренной пищевой должны отвечать следующим требованиям: 1) внешний вид – кристаллически сыпучий продукт без посторонних механических примесей; 2) вкус – соленый без постороннего привкуса; 3) цвет – белый или белый с сероватым, желтым, розоватым и голубоватым оттенками; 4) запах – отсутствует.

Физико-химические показатели соли поваренной пищевой без добавок должны соответствовать нормам, указанным в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели соли пищевой поваренной без добавок (ГОСТ 13830–91)

Наименование показателя	Норма для сорта в пересчете на сухое вещество			
	экстра	высшего	первого	второго

1	2	3	4	5
Массовая доля хлористого натрия, %, не менее	99,70	98,40	97,70	97,00
Массовая доля кальций-иона, %, не более	0,02	0,35	0,50	0,65
Массовая доля магний-иона, %, не более	0,01	0,05	0,10	0,25

Окончание табл.

1	2	3	4	5
Массовая доля сульфат-иона, %, не более	0,16	0,80	1,20	1,50
Массовая доля калий-иона, %, не более	0,02	0,10	0,10	0,20
Массовая доля оксида железа (III), %, не более	0,005	0,005	0,01	0,01
Массовая доля сульфата натрия, %, не более	0,20	Не нормируется		
Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более	0,03	0,16	0,45	0,85
Массовая доля влаги, %, не более: выварочной соли	0,10	0,70	0,70	—
каменной соли	—	0,25	0,25	0,25
самосадочной и садочной соли	—	3,20	4,00	5,00
pH раствора	6,5–8,0	Не нормируется		

Содержание токсичных элементов (Pb, Cu, Cd, Zn, As, Hg) в соли пищевой поваренной не должно превышать предельно допустимых уровней (ПДК), установленных «Медико-биологическими требованиями и санитарными нормами качества продовольственного сырья и пищевых продуктов».

Геолого-промышленные типы месторождений. Все промышленные месторождения минеральных солей относятся к химическим, образовавшимся из истинных растворов. Среди них выделяют: 1) ископаемые или древние; 2) современные месторождения. Неисчерпаемым резервом солей следует также рассматривать морскую воду. Ископаемые месторождения солей образовались в прошлые геологические эпохи и, как правило, погребены под толщей молодых отложений. Они представлены как твердыми солями (галит), так и рассолами. Основные формы залегания соляных тел: пласты, линзы, купола, штоки. В районах интенсивного проявления соляного тектогенеза вершины соляных куполов нередко выходят на земную

поверхность (месторождения каменной соли в Северной Африке, в Закарпатье и др.).

Месторождения подземных соляных вод и рассолов образуются в результате растворения ископаемых залежной каменной соли подземными водами. По условиям залегания они могут быть пластовыми, трещинными и трещинно-карстовыми, по химическому составу – чаще всего хлориднонатриевыми.

Современные соляные месторождения представляют собой разнообразные соляные озера или лиманы с концентрацией солей в воде более 3,5 % и наличием в донных отложениях залежей каменной соли.

Условия образования. Промышленные месторождения каменной соли (ископаемые залежи) образовались из морской воды в процессе ее испарения в полуизолированных бассейнах (лагуны, заливы и т. д.) и в усыхающих реликтовых озерах. Процесс образования солей называется галогенезом. Еще в 1855 г. в вышедшем учебнике «Физическая и химическая геология» Г. Бишоф, развивая идеи М. В. Ломоносова, утверждал, что образование солей могло осуществляться только в водоемах на поверхности Земли в аридной зоне, где в результате испарения сначала выпадали менее, а затем более растворимые соли. Теория галогенеза в дальнейшем наиболее полное развитие получила в трудах советских геологов (В. И. Николаева, П. И. Преображенского, Н. М. Страха, М. Г. Валяшко и др.)

Глобальные закономерности распространения. Соленосные отложения, с которыми связаны залежи ископаемых солей, имеют исключительно широкое распространение на древних платформах и зонах сочленения их со складчатыми областями. Особенно широко они развиты в Северной Америке и Евразии. Стратиграфически соленосные отложения связаны с отложениями всех геологических систем. Максимумами соленакопления выделяются кембрий, пермь, триас, юра и неоген.

Геология месторождений каменной соли. В мире крупнейшие месторождения каменной соли сосредоточены в США, Китае, Германии и в странах Северной Африки (Марокко, Алжир, Тунис). Странами-лидерами по добыче и производству поваренной соли являются Китай и США. В СНГ по запасам и добыче этого вида минерального сырья лидирующие позиции занимает Украина.

Славянско-Артемовская группа месторождений каменной соли расположена в Донецкой области и приурочена к Бахмутской котловине.

Размеры ее 45 х 35 км. Залежи каменной соли связаны с нижнепермскими отложениями. В разрезе перми здесь выделяются четыре свиты (снизу вверх): 1) картамышская (свита медистых песчаников); 2) никитовская; 3) славянская; 4) краматорская.

Промышленный интерес представляют три пласта каменной соли в разрезе славянской свиты (подбрянцевский, брянцевский и надбрянцевский пласты). Мощность пластов каменной соли составляет 22–45 м. Залегают они на глубине 220–550 м от земной поверхности. Качество каменной соли удовлетворительное. Среднее содержание основных компонентов составляет (%): в надбрянцевском пласте – NaCl 98,2, Н.О. 0,36, Ca^{2+} 0,44, Mg^{2+} 0,03, SO_4^{2-} 1,02; в брянцевском – NaCl 97,7, Н.О. 0,32, Ca^{2+} 0,68, Mg^{2+} 0,03, SO_4^{2-} 1,64. Месторождения разрабатываются ПО «Артемсоль» шахтным способом.

Месторождения каменной соли Беларуси. Разведаны три месторождения каменной соли: Давыдовское, Мозырское и Старобинское. *Давыдовское месторождение* открыто в 1941 г. Утвержденные запасы каменной соли составляют по категориям: А – 267,6 млн т, В – 324,9 млн т и C_1 – 20 087,6 млн т. Запасы этого месторождения относятся к неактивным, т. е. имеющим минимальную вероятность быть востребованными в обозримой перспективе.

Мозырское месторождение приурочено к субширотной антиклинальной структуре, вытянутой на 10 км. Соленосный разрез представлен сильно дислоцированными отложениями галитовой подтолщи (D_3^2fm). Запасы каменной соли этого месторождения, утвержденные ГКЗ СССР, составляли 588,9 млн т по категории C_1 . Месторождение эксплуатируется методом подземного растворения через скважины с земной поверхности ступенями снизу вверх. Предельная глубина отработки – 1500 м, ежегодное производство пищевой поваренной соли «Экстра» составляет 180 – 355 тыс т.

При разведке калийных солей *Старобинского месторождения* было выделено и изучено 6 пластов каменной соли мощностью 4–28 м, залегающих в интервале глубин 631,5–844,0 м. В настоящее время на шахтном поле 1 рудоуправления РУП ПО «Беларуськалий» разрабатывается пласт – 305 м, залегающий ниже II калийного горизонта. Каменная соль соответствует 1–2-му пищевым сортам. Ежегодные объемы производства каменной соли (пищевая, кормовая и техническая) составляют 300–550 тыс. т.

Лекция 7. КАЛИЙНЫЕ И КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫЕ СОЛИ

Основным элементом калийных и калийно-магниевых солей является калий. Калий впервые был выделен в 1807 г. химиком Г. Дэви, который назвал его «потассий». Название «калий» (от арабского аль-кали, что значит – поташ) предложил Л. Гильберт. Углубленное изучение калия и калийных соединений началось в 40-х гг. XIX в. Особый интерес к калию появился после обоснования важной роли этого элемента в питании растений и необходимости внесения его в почву для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В 1840 г. вышла книга Юстуса Либиха «Химия в приложении к земледелию». В ней были сформулированы основные положения новой теории минерального питания растений, в которой обосновывалось положение о том, что главные питательные вещества растения получают за счет неорганических соединений.

Минералогия и геохимия. Калий – один из весьма распространенных элементов в земной коре. Кларк калия – 2,6 вес.%. Различают три большие группы калийсодержащих минералов: 1) алюмосиликатная; 2) сульфатная; 3) галогенная. Наибольшее практическое значение представляют минералы сульфатной и галогенной групп.

Галогенная группа калийных минералов выделяется по присутствию галогенных элементов – хлора или фтора. Среди них бывают чисто калийно-хлоридные, например минерал сильвин (KCl), либо в них присутствуют также магний или кальций, реже железо, марганец и медь. В залежах калийных солей наряду с сильвином широко распространен калийно-магнезио-хлоридный минерал – карналлит ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). В составе галогенной группы имеются смешанные минералы: хлоридно-сульфатный калийный минерал – каинит ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) и хлоридно-сульфатно-содовый минерал – ганксит ($\text{KCl} \cdot 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 9\text{Na}_2\text{SO}_4$).

Сульфатная группа калийных минералов характеризуется присутствием сульфат-иона (SO_4^{2-}). Среди них различают легко растворимые в воде минералы: калийно-натриево-сульфатные – глазерит ($3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$); калийно-магнезио-сульфатные – лангбейнит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$), леонит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), шенит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); калийно-кальциево-сульфатные – сингенит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и гергейт ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). К малорастворимым относится калийно-магнезио-кальциево-сульфатный минерал полигалит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Применение в промышленности. Основным потребителем калийных и калийно-магниевых солей является туковая промышленность: свыше 90 % их добычи идет на производство различных удобрений и лишь 10 % в химическую промышленность. Производятся калийные удобрения с содержанием хлористого калия от 25–40 до 80–95 %. Вырабатываются и сложные калийсодержащие удобрения: «нитрофоска», содержащая азот, фосфор и калий, «потазот», представляющий смесь хлористого калия и хлористого аммония и др. На мировой рынок поступают также сульфатно-магневые калийные удобрения, важнейшим компонентом которых является K_2SO_4 .

Химическая промышленность выпускает свыше 30 различных веществ, в которых основной составляющей является калий. Главнейшие из них: каустический калий, хлористый калий, поташ (углекислый калий), сернокислый калий, калиевая селитра, бертолетова соль, цианистый калий, бромистый калий, йодистый калий и др. Соединения калия находят применение в фармацевтической, лакокрасочной, стекольной, кожевенной и шерстяной промышленности, а также в медицине, пиротехнике, электрометаллургии и т. д.

Металлический магний, извлекаемый из карналлита, применяется в составе различных сплавов, используемых в авиационной, автомобильной, металлургической и других отраслях промышленности.

Первой страной, в которой возникла калийная промышленность, была Германия. В 1861 г. в Стасфурте начала работать первая в мире фабрика по переработке карналлитовой породы на хлористый калий. В 1916 г. США приступили к производству хлористого калия из рассолов озера Серлз в Калифорнии. Добыча калийных солей в мире неизменно возрастала. Так, в капиталистических странах за период 1901–1968 гг. было добыто 197 млн т калийных солей (в пересчете на K_2O). Мировое производство калийных удобрений (в пересчете на K_2O) составило в 1960 г. – 9,9 млн т, 1970 г. – 17,6, 1995 г. – 24,3 млн т. В настоящее время лидирующее положение по добыче калийных солей и производству калийных удобрений занимают Канада, Германия, Беларусь и Россия, обеспечивающие около 70 % мирового производства.

Исходные данные для оценки месторождений калийных солей. Экономическую эффективность разработки месторождений определяют следующие горно-геологические параметры: 1) запасы калийных руд; 2) содержание хлористого калия в руде; 3) содержание глинистой примеси (нерастворимого в воде остатка – Н.О.); 4) устойчивость вмещающих пород; 5) глубина залегания продуктивных пластов; 6) мощность

продуктивных пластов; 7) условия залегания и особенности строения соленосной толщи.

По запасам полезного ископаемого калийные месторождения разделяются на весьма крупные (с разведанными запасами K_2O более 1000 млн т), крупные (300–1000 млн т) и мелкие (менее 100 млн т).

Содержание полезного компонента в промышленных рудах хлоридного типа разных месторождений варьирует от 11 % K_2O (Германия) до 25–27 % (Саскачеванское месторождение в Канаде). Для сульфатных и хлоридно-сульфатных солей характерны значительно более низкие содержания полезного компонента – 8–13 % K_2O (нижний предел свойственен для полигалитовых руд Жилянского месторождения, верхний – для каинитовых руд на о. Сицилия). Сульфатные и хлоридно-сульфатные руды Предкарпатя содержат в среднем 9–10 % K_2O .

Вредными примесями в калийных солях являются $MgCl_2$ и Н.О. При содержании в рудах $MgCl_2$ более 1,5 % и Н.О. свыше 3 % в технологические схемы обогащения калийных солей вводятся дополнительные операции по освобождению сырья от указанных компонентов. Руды с наиболее высоким содержанием Н.О. (до 20 %) эксплуатируются на Эльзасском месторождении во Франции. В СНГ добывают руды с содержанием Н.О. 1,6–7,2 %.

Устойчивость кровли является достаточно надежной при содержании в ней менее 5 % глинистых и глинисто-карбонатных пород. При содержании несоляных пород более 5 % (глинистая кровля) создаются менее благоприятные условия разработки.

Предельная глубина эксплуатации месторождений калийных солей шахтным способом составляет 1200 м. Методом подземного растворения через скважины с земной поверхности калийные соли добываются на глубине 1 585–2 000 м (Канада и США).

Геолого-промышленные типы месторождений. Калийные месторождения по составу солей подразделяют на три типа – хлоридный (бессульфатный), сульфатно-хлоридный и сульфатный. Наиболее широко распространены месторождения хлоридного типа (Старобинское, Верхнекамское, Саскачеванское, Эльзасское, Непское и др.). Это, как правило, весьма крупные и крупные месторождения. Месторождения сульфатного типа имеются в Предкарпатском прогибе (Калуш-Гольинское, Стебникское), на о. Сицилия и др. Состав руд этих месторождений преимущественно каинитовый, по масштабам запасов они мелкие, редко – средние.

В зависимости от сложности геологического строения калийные месторождения также подразделяют на три группы. К первой группе

относят месторождения, представленные пластовыми залежами протяженностью в десятки километров, выдержанные по мощности и качеству солей (Верхнекамское месторождение в Пермской области, Старобинское в Беларуси и др.).

Во вторую группу включены месторождения, состоящие из чередующихся линзообразных залежей солей различного состава, характеризующихся изменчивой мощностью и сравнительно выдержанным качеством солей в пределах отдельных линз (Стебникское, Калуш-Голыньское месторождения Украины, месторождения миоценового возраста Румынии и о. Сицилия).

К третьей группе отнесены месторождения, приуроченные к солянокупольным структурам и представленные залежами с резко изменчивой морфологией и исключительно не выдержанным распределением полезных компонентов и вредных примесей (Индерское и Эльтонское месторождения в Прикаспийской впадине).

Условия образования. Калийные породы сульфатной и галогенной групп образуются осадочным путем в основном из морских вод или их дериватов. Они формировались в солеродных бассейнах при интенсивном проявлении испарительных процессов. Калийные минералы начинали кристаллизоваться при концентрации солей в водах 33–34 % и более.

Калий, который участвует в составе соляных минералов сульфатной и галогенной групп, прошел большой и сложный путь. Сначала он был вынесен из недр Земли с магматическими алюмосиликатными породами, затем при их выветривании и разложении в зоне гипергенеза либо сразу поступил в воды морей, либо с поверхностными водами в растворенном состоянии был привнесен в океаны.

Калийные минералы сульфатной ветви осаждались из морских вод, а хлоридной (сильвин и карналлит) – из метаморфизованных вод, для которых характерна потеря сульфат-иона и эквивалентного ему количества иона магния. Метаморфизация – труднообратимый процесс, который осуществлялся в результате поступления бикарбоната кальция, привноса ветром и континентальными водами глинистого материала, бактериальной сульфатредукции, разгрузки подземных вод хлоркальциевого состава и др.

Основные закономерности распространения. Калийные соли крайне неравномерно распространены в различных регионах земного шара. В Европе расположены крупные калиеносные бассейны: Припятский, Верхнекамский, Верхнепечорский, Днепровско-Донецкий,

Прикаспийский, Среднеевропейский, Каталонский, Предкарпатский, Сицилийский. Крупные бассейны имеются в Северной Америке: Эльк-Пойнт и Фанди (оба в Канаде), Пермский бассейн и Парадокс в США. В Южной Америке известны два бассейна – Сержипи-Алагоас и Амазонский (оба в Бразилии), в Африке – три (Габонско-Конголезский, Северо-Африканский и Данакильский), в Азии – пять (Восточно-Сибирский, Среднеазиатский, Корат, Сакон Након и бассейн Соляной кряж).

Стратиграфически основные объемы калийных солей связаны с соленосными формациями, образовавшимися в кембрии, девоне и перми. Выделяется шестнадцать этапов калиенакопления: 1) вендский, 2) раннекембрийский, 3) позднесилурийский, 4) среднедевонский, 5) позднедевонский, 6) раннекаменноугольный, 7) среднекаменноугольный, 8) раннепермский, 9) позднепермский, 10) познетриасовый, 11) позднеюрский, 12) раннемеловой, 13) позднемеловой, 14) эоцен-олигоценый, 15) миоценовый, 16) плиоцен-четвертичный.

Геотектоническая позиция калиеносных бассейнов достаточно разнообразна: палеозойские связаны в основном с платформенными рифтовыми зонами, краевыми прогибами; мезозойские – с континентальными рифтовыми зонами, отрицательными структурами, заложенными на эпипалеозойских платформах, реже с краевыми прогибами; кайнозойские – преимущественно с межгорными впадинами, краевыми прогибами и рифтовыми зонами континентов.

Ресурсы и запасы. Мировые прогнозные ресурсы калийных солей оцениваются в 250 млрд т. Большая часть их сосредоточена в России, Канаде, Беларуси, США и Германии. Общие запасы калийных солей в мире оцениваются примерно в 40 млрд т, подтвержденные – в 8,4 млрд т. Основными странами-держателями как общих, так и подтвержденных запасов являются Россия, Канада, Беларусь и Германия (табл. 3).

Таблица 3

**Запасы калийных солей (млн т в пересчете на K_2O)
и среднее содержание K_2O в рудах, % [8]**

Страна, часть света	Запасы общие	Запасы подтвержденные	Их % от мира	Среднее содержание
1	2	3	4	5
Россия	19118	3658	31,4	17,8
Европа	3296	2178	18,5	–
Беларусь	1568	1073	9,1	16

Страна, часть света	Запасы общие	Запасы подтвержденные	Их % от мира	Среднее содержание
1	2	3	4	5
Великобритания	30	23	0,2	14
Германия	1200	730	6,2	14
Испания	40	20	0,2	13
Италия	40	20	0,2	11
Польша	10	10	0,1	12
Украина	375	292	2,5	11
Франция	33	10	0,1	15
Азия	2780	1263	10,8	–
Израиль	600	44	0,4	1,4
Иордания	600	44	0,4	1,4
Казахстан	102	54	0,5	8
Китай	320	320	2,7	12
Таиланд	150	75	0,6	2,5
Туркменистан	850	633	5,4	11
Узбекистан	159	94	0,8	12

Окончание табл.

Эфиопия	105	42	0,4	25
Америка	14915	4548	38,7	–
Аргентина	20	15	0,1	12
Бразилия	160	50	0,4	15
Канада	14500	4400	37,5	23
Мексика	10	–	0	12
США	175	73	0,6	12
Чили	50	10	0,1	3
Итого:	40288	11744	100	–

Геология месторождений калийных солей. Крупнейшими в мире месторождениями калийных и калийно-магниевых солей являются Саскачеванское (Канада) и Верхнекамское (Россия).

Саскачеванское месторождение расположено в бассейне Эльк Пойнт, который находится в западной части Канады, прослеживаясь частично на территории США. В тектоническом отношении он приурочен к западному склону Североамериканской платформы. Калиеносными являются отложения среднего девона – формация Прери Эвапорайт. Мощность этой формации колеблется от 15 до 220 м. В верхней части разреза формации Прери Эвапорайт выделяются три калийных горизонта (снизу вверх): Эстерхази, Белл Плейн и Пейшенс

Лейк. Мощность их варьирует от нескольких метров до 24,5 м. Калийные соли представлены сильвинитом и карналлитом. Эти минералы встречаются как отдельно, так и в тесной ассоциации друг с другом, образуя совместно с галитом породы смешанного состава. Калийные породы по внешнему виду бледно-окрашенные (светло-оранжевые, бледно-розовые, бесцветные, местами пестроцветные за счет синего галита), характеризуются низким содержанием Н. О. (1–3 %) и высоким содержанием полезного компонента (K_2O более 18 %). По оценке канадских геологов общие запасы калийных солей составляют 16–50 млрд т.

Калийные руды разрабатываются в районе между городами Эстерхази и Роканвилл, где эксплуатируется горизонт Эстерхази, и в районе городов Саскатун, Аллан и Ланиган (разрабатываются горизонты Белл Плейн и Пейшенс Лейк). Калийные горизонты эксплуатируются шахтным способом на глубине 1000–1200 м. Функционируют 10 крупных рудников. Компания «Kalium Chemical Ltd.» осуществляет разработку калийных солей в районе г. Реджайна на глубине 1585–1600 м методом подземного растворения через скважины с земной поверхности.

Верхнекамское месторождение расположено в Соликамской впадине, представляющей одну из отрицательных структур в системе Предуральяского прогиба. Калиеносные отложения (P_1 kg) распространены на площади около 3,5 тыс км². Они относятся к бессульфатному типу и представлены сильвинитом и карналлитовой породой. В калиеносной части разреза выделяются сильвинитовая и сильвинит-карналлитовая зоны.

Сильвинитовая зона (средняя мощность 21 м) представлена калийными пластами (сверху вниз): А, Кр. I, Кр. II и Кр. III. Все калийные слои, за исключением А, представлены красными слоистыми сильвинитами со слоями и прослоями каменной соли. В пласте полосчатого сильвинита А преобладают бледные и розовые разновидности сильвинита.

Сильвинит-карналлитовая зона мощностью 30–45 м расчленяется на две пачки: нижнюю карналлитовую (пласты от Б до Е) и верхнюю карналлит-галитовую (пласты (Ж–К). Калийные соли этой зоны на одних участках представлены карналлитовой породой, на других – пестрым сильвинитом.

Внутренняя тектоника сильвинитной зоны относительно сложная: калийные пласты образуют складки с линейно-слоистой текстурой в синклиналях и сложно-складчатым строением в ядрах антиклиналей.

Геологические запасы месторождения огромны и оцениваются по карналлитовой породе в 96,4 млрд т, по сильвинитам – 113,2 млрд т, по каменной соли – 4 650 млрд т. Разрабатываются два крупных участка – Березниковский (на юге месторождения) и Соликамский (на севере). В настоящее время функционируют шесть рудников (СПКРУ-1 – СПКРУ-3, БПКРУ-1, БПКРУ-2 и БПКРУ-4).

Месторождения калийных солей Беларуси. В настоящее время в Припятском прогибе разведаны три месторождения: Старобинское, Петриковское и Октябрьское. Наиболее крупным из них является Старобинское, открытое в 1949 г. На месторождении известны четыре калийных горизонта, из которых два – второй (II) и третий (III) – отрабатываются четырьмя рудоуправлениями РУП ПО «Беларуськалий».

Основным объектом эксплуатации является нижний сильвинитовый пласт III горизонта, залегающий на глубине 450–1000 м и более. Мощность продуктивного пласта 4–5,5 м. В его разрезе выделяются до шести сильвинитовых слоев, сложенных слоистыми микромелкозернистыми красноцветными сильвинитами с прослоями каменной соли и тонкими (от долей миллиметра до нескольких сантиметров) прослоями галопелитов. Выемке подлежат 2, 3 и 4-й сильвинитовые слои мощностью 0,60–1,53 м. Среднее содержание KCl составляет 29,4 (слой 4) – 45,2 % (слой 2).

Второй калийный горизонт распространен на меньшей площади и залегает на глубине 360–700 м. Мощность его – 1,3–2,8 м. Разрез горизонта состоит из двух сильвинитовых слоев, разделенных слоем каменной соли. Мощности сильвинитовых слоев примерно одинаковые (0,50–0,90 м). Содержание KCl в сильвинитовых слоях в среднем составляет (%): 1 РУ – 41,34 % (1-й слой) и 35,61 (2-й слой); 2 РУ – 40,43 и 36,74; 3 РУ – 37,81 и 33, 69; 4 РУ – 37,03 и 34,90. На четырех шахтных полях балансовые запасы сырых калийных солей составляют по категориям А+В+С₁ 2,7 млрд т и по категории С₂ – 0,57 млрд т. В 2002 г. начато строительство нового Краснослободского рудника, который будет разрабатывать калийные руды Краснослободского участка.

Лекция 8. ФОСФАТЫ

Минералогия и геохимия. Фосфор – один из важнейших химических элементов Вселенной. Он входит в число 20 наиболее распространенных элементов Солнечной системы и занимает по своей распространенности 11 место среди элементов земной коры. Элементарный фосфор существует в виде нескольких модификаций, главные из них – белая, красная и черная.

Среднее содержание пентоксида фосфора (P_2O_5) в земной коре составляет 0,25 %. Наиболее высокие концентрации P_2O_5 характерны для магматических щелочных (0,6–1,0 %) и основных (0,4 %) пород. Содержание P_2O_5 в осадочных породах варьирует от 0,04 до 0,17 %.

Известно более 200 фосфорсодержащих минералов. Однако свыше 95 % фосфора в земной коре связано в виде безводного фосфата кальция – апатита $Ca_5[PO_4]_3$ (F, Cl, OH), встречающегося в магматических породах в качестве акцессорного минерала. Кристаллическая решетка апатита весьма благоприятна для внедрения различных ионов, замещающих Ca^{2+} , PO_4^{3-} , OH^- или F^- . Этим обуславливается разнообразие состава минералов группы апатита и их разновидностей. Апатиты магматических и метаморфических пород представлены большей частью фторгидроксильными разновидностями. Апатиты осадочного происхождения, входящие в состав фосфоритов или целиком слагающие их, обычно содержат в своем составе CO_3 – ион. Их принято называть карбонатапатитами. Наиболее широко распространены фторсодержащие карбонатапатиты (карбонатфторапати-ты), среди них иногда различают франколиты (с низким содержанием CO_2) и курскиты (с высоким его содержанием, до 5–6 %).

Применение в промышленности. Практическое значение имеют два главных вида фосфатов – апатиты и фосфориты. Из-за более легкой обогатимости апатитовые руды являются более ценным сырьем, чем фосфоритовые. Однако в мировом балансе добываемого сырья основная роль принадлежит фосфоритовым рудам (около 80 %).

Области использования апатитовых и фосфоритовых руд одинаковые. Около 90 % фосфатного сырья применяется для производства фосфатных и комбинированных минеральных удобрений: суперфосфата, двойного суперфосфата, преципитата, аммофоса, нитрофоса, термофосфатов, фосмуки и др. В значительно меньших количествах апатит и фосфориты применяются для производства элементарного фосфора, фосфорной кислоты и различных солей, используемых в химической и пищевой промышленности, медицине, фотографии, металлургии и в других отраслях, а также в быту в качестве синтетических моющих веществ.

Общетехнические требования. Требования к фосфатному сырью определяются ГОСТами и ведомственными техническими условиями (ТУ). В фосфоритах, идущих для размолота на муку, содержание P_2O_5 должно быть не менее 19 % (низший сорт); в фосфоритной муке высшего сорта содержание этого компонента должно быть 30 % и выше.

Для производства суперфосфата (наиболее распространенный вид удобрения) пригодно фосфатное сырье или его концентраты с содержанием P_2O_5 не менее 28 %, а для наиболее богатых фосфором сортов – не менее 32 %. В сырье для переработки кислотами вредны оксиды (главным образом Fe_2O_3 и Al_2O_3), содержащиеся преимущественно в лимоните и глауконите, и карбонаты, представленные обычно кальцитом и доломитом. Количество Fe_2O_3 в фосфоритах, обрабатываемых серной кислотой, должно составлять не более 8 % от содержания пентоксида фосфора; содержание CO_2 желательнее не более 5–6 %. Вреден также магний, входящий в состав карбонатов и некоторых силикатов (талек, тремолит, серпентин и др.); количество MgO должно быть не более 7–8 % от содержания P_2O_5 .

При электротермическом способе переработки фосфоритов к сырью предъявляются менее строгие требования, лимитирующие лишь содержание P_2O_5 (не менее 23 %) и оксидов железа (не более 3 %).

Добыча фосфатного сырья производится подземным и открытым способами. При подземной разработке промышленными считаются апатитовые руды с содержанием P_2O_5 не менее 8 %, а при открытых работах – не менее 6 %. В фосфоритах минимальным считается содержание P_2O_5 3–5 %. Возможность рентабельной эксплуатации залежей в каждом конкретном случае обосновывается расчетами. Открытым способом разрабатываются месторождения с коэффициентом вскрыши не более 20 м и при минимальной мощности толщ апатитовых руд 10 м, пластов массивных фосфоритов – 1 м, фосфоритов желвакового типа – 0,5–1,0 м, ракушечниковых фосфоритов 0,3 м.

Ресурсы и запасы. Ресурсы фосфатного сырья (в расчете на P_2O_5) в мире оцениваются в 69,6 млрд т, из них на апатитовые руды приходится всего 5,2 млрд т, т. е. около 7,5 %. Наибольшими ресурсами P_2O_5 располагают США – 24,2 % мировых. Концентрация подтвержденных промышленных запасов P_2O_5 в мире очень высока: почти треть их принадлежит Марокко, далее следуют Казахстан, Россия и Западная Сахара (табл. 4). Промышленные запасы фосфатного сырья в мире составляют 5,70 млрд т, в том числе фосфоритов 4,95 млрд т и апатита 0,75 млрд т.

Крупными считаются месторождения с разведанными запасами (млн т) фосфатного сырья (их более 200), средними – от 50 до 200 и мелкими – менее 50.

Апатиты. Месторождения апатитов связаны с изверженными и метаморфическими породами и образуются в результате эндогенных

процессов. В апатитовых рудах фосфат обычно четко раскристаллизован, его индивиды гораздо крупнее, обособлены от фосфатных минералов. Среди промышленных руд апатита выделяют *собственно апатитовые руды*, в которых апатит является главным промышленным минералом, и комплексные апатитосодержащие руды, в которых апатит извлекают попутно с другими компонентами. Типизация апатитовых руд представлена в табл. 5.

Апатитоносные провинции. В настоящее время на различных континентах Земли установлено 18 апатитоносных провинций, в пределах которых обнаружено более 100 месторождений апатитовых руд. В СНГ выделено 10 апатитоносных провинций: Карело-Кольская, Украинская, Шорско-Кузнецкая, Восточно-Саянская, Енисейско-Чадобецкая, Байкальская, Маймеч-Котуйская, Уджинская, Алданская и Джугджуро-Становая. По запасам минерального фосфатного сырья крупнейшей из них является Карело-Кольская.

Таблица 4

**Ресурсы и запасы фосфатных руд (млн т)
и среднее содержание P_2O_5 в рудах, % [8]**

Страна, часть света	Продукт	Ресурсы	Запасы общие	Запасы подтвержд енные	Их % от мира	Среднее содержание
1	2	3	4	5	6	7
Россия	Апатиты	3410	807,2	276,6	4,85	12
	Фосфориты	1417,5	191,9	35,7	0,63	9
Европа		1647,1	328,9	248	4,35	—
Испания	Апатиты	—	32,8	5,3	0,09	20
	Фосфориты	—	0,5	—	0	25
Украина	Апатиты	130	79,1	66,7	1,17	3,5

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7
	Фосфориты	400	12,3	6,7	0,12	2
Эстония	Фосфориты	826	167,6	156,9	2,75	12,5
Азия		17996,1	3607,4	1427,1	25,02	—
Вьетнам	Апатиты	—	162	81	1,42	20
Ирак	Фосфориты	1320	770	108	1,89	23
Казахстан	Фосфориты	4276	1128,1	764	13,4	20
Китай	Апатиты	—	10	7	0,12	17,5
	Фосфориты	9520,4	57,5	57,5	1,01	27,4
Монголия	Фосфориты	450	445	67	1,17	20
Сирия	Фосфориты	—	348	105	1,84	25
Узбекистан	Фосфориты	190	89,5	57,7	1,01	19

Африка		20715,3	8270,4	2887,1	50,62	–
Алжир	Фосфориты	286	240	149	2,61	30
Египет	Фосфориты	–	749	225	3,95	23
Зап. Сахара	Фосфориты	1020	512	294	5,16	30
Марокко	Фосфориты	16230	5917,4	1799,5	31,55	30,5
ЮАР	Апатиты	275	221	221	3,88	8,8
Америка		23509,5	1993,5	600,6	10,53	–
Канада	Апатиты	75	48	11	0,19	17,7
	Фосфориты	–	162	94	1,65	24
Мексика	Фосфориты	4333	98	96	1,68	12
США	Фосфориты	16854,2	902	246	4,31	20,5
Океания и Австралия		927,6	300	228	4	–
Австралия	Фосфориты	741	209	209	3,66	7,4

Таблица 5

Типы апатитовых руд [8]

Группа	Класс	Тип апатитовых руд	Минеральный состав	Содержание P_2O_5 , %	Показатели обогащения, %		Примеры месторождений
					P_2O_5 в концентрате	Извлечение P_2O_5	
1	2	3	4	5	6	7	8
	Позднемагматический	Апатит-фелиновый	Апатит, нефелин, сфен, эгирин, титаномагнетит	4–18	38–39	90	Хибинская группа

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
Магматическая		Апатит-ильменит-титаномагнетитовый	Апатит, ильменит, титаномагнетит, приоксен, оливин, полевой шпат	3–8	34–39	65–75	Стремигородское, Кручинское, Джугджурская группа
		Апатитовые	Апатит,	3,5–6,0	35–37	75–85	Ошурк

		й	биотит, полевой шпат, амфибол, пироксен				овское, Укдусс кое
		Апатитмаг нетит- редкометал льнокарбо- натный	Апатит, магнетит, пирохлор, фергюсони т, флогопит, пироксен, полевой шпат	3,5–8,0	36–38	60–80	Ковдо рское апатит - магнит овое, Белози минско е апатит - редком еталль ное
		Апатит- карбонатн ый	Апатит, кальцит, доломит, полевой шпат	3,5–5,0	35–37	65–70	Ков- дорское апатит- карбона тное, Новопо

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
Метамор фогенна я	Гидротер мальном етасомат ический	Апатит- доломит овый	Апатит, доломит, кальцит, кварц, гематит (мартит)	6–7	35–37	65–70	Селигр адское, Хайчж оу, Синпх ун
Выветри вания	Оста- точно- инфильт- рационн ый	Апатит- фторкар бонат- апатито вый (штаффе линовый)	Апатит, фторкарбон атапатит, вермикулит , магнетит	14–20	34–38	60–70	Ковдо рское штафф елитов ое, Ыраас, Ессей
		Апатит- редкоме	Апатит, пирохлор,	10–15	36–38	70–80	Белози минско

		таллыны	фторкарбон				е, Сокли
		й	атапатит				

Фосфориты. Они являются продуктом литогенеза морских осадков, образовавшихся химическим, биологическим и механическим путем. Подчиненную роль играют остаточные и инфильтрационные образования в корях выветривания.

Основные разновидности фосфоритов. По составу минеральных компонентов, насыщенности фосфоритами и структурно-текстурным особенностям выделяют следующие основные разновидности фосфоритов: желваковые, зернисто-ракушечниковые, массивные и др. *Желваковые фосфориты* представляют собой скопления округлых, овальных и неправильных конкреций, состоящих из различных нефосфатных минералов, сцементированных аморфным или кристаллическим фосфатным веществом. Размеры конкреций варьируют от долей миллиметра до 10–15 см. Залегают они в песках, глинах, мелу, конгломератах и других породах. Конкреции иногда сливаются в сплошную массу – фосфоритовую плиту. Содержание P_2O_5 в исходной руде 8–14 %.

Зернисто-ракушечниковые фосфориты состоят из мелких отложений (оолитов) и галек фосфатов или из фосфоризированных раковин и их обломков, содержащихся в песках и песчаниках. Фосфориты этой разновидности легко обогащаются, и при содержании P_2O_5 более 5 % в руде они являются промышленными.

Массивные фосфориты представляют собой однородные осадочные породы темно-серого, бурого и черного цвета. Под микроскопом устанавливается, что фосфориты этой разновидности состоят из мельчайших оолитов или кристаллических зерен фосфатного вещества, сцементированных кремнисто-фосфатным веществом. Они характеризуются высоким содержанием P_2O_5 , достигающим 26–28 % и более.

Классификация фосфоритовых месторождений. Различают платформенные и геосинклинальные месторождения. Для платформенных месторождений характерно: 1) широкое площадное распространение фосфоритоносных отложений; 2) небольшая мощность фосфоритовых пластов (несколько метров); 3) присутствие в разрезе фосфоритоносной толщи обычно одного-двух фосфоритовых пластов; 4) определенный состав вмещающих отложений – пески, глины, мергели, мел и опоки; 5) горизонтальное или слабонаклонное залегание фосфоритовых пластов.

Месторождения геосинклинального типа сложены чередующимися пластами кремнистых пород, известняков и доломитов, а также фосфоритов. Мощность фосфоритоносных толщ достигает 50–75 м. В них выделяется обычно до 7–10 фосфоритовых пластов, причем отдельные из них имеют мощность до 10–14 м. Фосфоритоносные толщи отличаются сложными условиями залегания: смяты в складки, разбиты разломами, сдвигами, иногда прорваны интрузиями, на контакте с которыми фосфориты бывают метаморфизованными до кристаллических апатитов.

Закономерности распределения фосфоритов. В геологической истории развития Земли существовали эпохи значительного фосфоритообразования. А. Л. Яншин и М. А. Жарков выделили три глобальные эпохи фосфоритообразования – венд-раннекембрийскую, мел-палеогеновую

и пермскую. В венд-раннекембрийскую эпоху образовалось почти 20 % всей массы фосфора на Земле. В мел-палеогеновую эпоху фосфориты формировались на огромной территории – в Восточно-Средиземноморском, Египетском, Алжиро-Тунисском, Марокканском, Западно-Сахарском и других бассейнах. В этих бассейнах сосредоточено около 59 % мировых запасов фосфоритовых руд.

Геология месторождений фосфоритов. В СНГ наиболее крупные месторождения фосфоритов находятся в Казахстане в Каратауском бассейне. Он расположен в Джамбульской и Чимкентской областях и приурочен к северо-восточным отрогам хребта Малый Каратау, вытянут в северо-западном направлении на 120 км при ширине 20–25 км.

В строении бассейна принимают участие палеозойские и кайнозойские осадочные образования, залегающие на мощной докембрийской толще (метаморфические кварц-хлоритовые и тальк-хлорит-серицитовые сланцы, песчаники и др.). Протерозойские образования трансгрессивно с угловым несогласием перекрыты нижнепалеозойскими (нижний кембрий-средний ордовик) отложениями, в составе которых выделяются продуктивная кремнисто-карбонатная чулуктауская свита мощностью 50–100 м и перекрывающая ее карбонатная шабактинская свита. Чулуктауская свита подразделяется на четыре горизонта: нижних доломитов, кремневый, продуктивный и железистых доломитов (или железомарганцевый). Продуктивный горизонт в свою очередь расчленяется на три пачки – нижнюю фосфоритную (кондиционные фосфоритовые руды), среднюю фосфатно-сланцевую

(фосфатные глинисто-кремнистые сланцы) и верхнюю фосфоритную. Породы смяты в складки, имеют, как правило, моноклинальное залегание, местами поставлены вертикально, нарушены многочисленными продольными, поперечными и диагональными разломами.

В Каратауском бассейне известно несколько десятков месторождений микрозернистых фосфоритов. Наиболее крупными из них являются Чулактау, Аксай, Коксу, Джанатас и Кокджон. Число продуктивных пластов обычно один-два, а на месторождении Коксу – три. Средняя их мощность 3–17 м, содержание P_2O_5 23–27 %.

Месторождения фосфоритов Беларуси. В Могилевской области разведаны два месторождения – Мстиславльское и Лобковичское. Стратиграфически фосфориты связаны с отложениями сеноманского яруса верхнего отдела меловой системы.

На *Мстиславльском месторождении* мощность продуктивной пачки варьирует от 0,1 до 4,1 м (чаще 1,1–1,8 м). Содержание P_2O_5 по подсчетным блокам составляет 6,0–7,6 %. Запасы фосфоритовых руд по категориям C_1+C_2 оцениваются в 175 млн т. Средняя мощность вскрышных пород в пределах различных блоков изменяется от 27,9 до 36,2 м.

Лобковичское месторождение расположено в 10 км севернее г. Кричева. Полезное ископаемое залегает на глубине 20,6–79,0 м. Мощность продуктивной пачки в среднем 0,75–0,98 м. Содержание P_2O_5 в руде колеблется от 2,5 до 14,5 % (в основном 4,9–6,3 %). Запасы фосфоритовых руд по категориям C_1+C_2 составляют 245 млн т.

В конце 1990-х гг. выявлены два относительно небольших месторождения фосфоритов в Брестской области – Ореховское и Пограничное. Продуктивны палеогеновые отложения (желваковые фосфориты) и кора выветривания верхнемеловых образований (глинистые фосфориты).

Лекция 9. СЕРА

Геохимия и минералогия. Сера – неметаллический элемент с характерным ярко-желтым цветом. В природе она находится как в свободном состоянии, так и в виде неорганических и органических соединений, являясь 13-м элементом по распространенности. Среднее содержание ее в земной коре составляет $5 \cdot 10^{-2}$ %, а в морской воде –

0,08–0,09 %. Сера распространена преимущественно в виде соединений, представленных сульфидами (пирит, марказит, халькопирит, сфалерит, галенит и др.), сульфатами (гипс, ангидрит, лангбейнит, полигалит и др.), присутствует в естественных газах (H_2S , SO_2), нефтяных водах и водах некоторых минеральных источников, в сырой нефти и природном газе, входит в состав белков и содержится в организмах животных и в растениях.

Самородная сера бывает коллоидной (аморфной) и кристаллической. Известно шесть полиморфных модификаций ее, из которых только одна (альфа-сера), кристаллизующаяся в ромбической сингонии, устойчива в природных условиях. В составе серы преобладают изотопы ^{32}S и ^{34}S , отношение между которыми меняется от 21,61 до 22,60 и косвенно указывает на эндогенное или экзогенное ее происхождение.

Самородная сера встречается в виде зернистых или массивных скоплений. Твердость ее 1,5–2,5, плотность – 1,9–2,1 г/см³. Она плавится при температуре 110 °С, при температуре 248 °С воспламеняется и горит голубым пламенем с образованием SO_2 . Изоморфными примесями в ее составе являются селен, мышьяк, теллур, реже таллий. Основные механические примеси – карбонаты, глинистое вещество, ангидрит, гипс, твердые углеводороды. Сера нерастворима в воде и почти во всех кислотах, но легко растворяется в сероуглероде (CS_3), в нефти, керосине и анилине.

Применение в промышленности. Основным потребителем серы (около 80 %) является химическая промышленность, в которой наибольшее количество ее идет для получения серной кислоты, используемой для производства фосфорных удобрений. Для выработки 1 т суперфосфата необходимо около 400 кг серной кислоты. В химической промышленности серная кислота применяется для получения других кислот (фосфорной, соляной и др.), пластмасс, красителей и др. В нефтяной промышленности она используется для очистки нефтепродуктов, в металлургии – для травления металлов.

В элементарном виде она находит применение в резиновой, бумажной, текстильной, пищевой промышленности. Используется также для производства инсектицидов, стекла, взрывчатых веществ.

До начала XX в. мировое потребление серы покрывалось в основном за счет месторождений на о. Сицилия. В течение 100 лет Италия была монополистом на мировом рынке серы. В 1904 г. США начали разрабатывать месторождения серы на побережье Мексиканского залива.

При общем мировом уровне получения серы приблизительно 50–55 млн т более 40 % приходится на переработку нефти и природного газа и около 25 % – на разработку месторождений самородной серы. Сера также получают в процессе улавливания из газовых выбросов коксохимического производства и цветной металлургии, при переработке пирита, пирротина и других сульфидов и сульфатов. Тем не менее месторождения самородной серы и ныне остаются одним из ведущих источников ее получения.

Типы руд самородной серы. Рудами считаются сероносные породы с содержанием серы не менее 5–8 %. По литологическому составу среди них различают кальцитовые, кальцит-доломитовые, мергелистые, песчанистые, гипс-ангидритовые, опаловые, серные кварциты и др. В зависимости от текстурных особенностей выделяют руды вкрапленные, гнездово-прожилковые, полосчатые и иные. По агрегатному состоянию серы руды бывают дисперсные, скрытокристаллические и явнокристаллические.

Общетеchnические требования и способы добычи. Общетехнические требования к рудам самородной серы в значительной мере различаются в зависимости от способа добычи и технологии обогащения руд. Добыча серных руд осуществляется открытым или подземным способами, а также путем выплавки серы непосредственно в недрах по способу Фраша. Минимальная рабочая мощность пласта серных руд обычно составляет 0,5–1,0 м. При разработке открытым способом коэффициент вскрыши иногда достигает 20/1–40/1.

При разработке месторождений серы горными выработками обычно учитывают содержание серы в горной массе, степень ее дисперсности, состав вмещающих пород, наличие вредных примесей (селен, мышьяк, битумы и др.). По содержанию серы различают руды: богатые (более 25 %), средние (10–25 %) и бедные (5–10 %).

Одним из наиболее прогрессивных является метод подземного расплавления серы, впервые примененный при разработке месторождений в районе Мексиканского залива в США. Сущность этого метода заключается в нагнетании в сероносные породы через скважины сильно перегретой воды, водяного пара (температура до 163 °С) и сжатого воздуха, расплавлении серы и откачке ее на поверхность. В СНГ метод Фраша применяется при разработке руд самородной серы на Ново-Яворском месторождении во Львовской области Украины. Эксплуатационные скважины расположены по квадратной сетке 50 х 50 м. Глубина скважин около 200 м.

Генетические типы промышленных месторождений. Существуют две группы промышленных месторождений самородной серы –

эндогенная и экзогенная. Месторождения первой группы развиты в областях молодой и современной вулканической деятельности и связаны с вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами; месторождения второй группы приурочены к толщам осадочных пород (преимущественно эвапоритовые формации).

Эндогенная группа месторождений. С месторождениями этой группы связано не более 5–10 % запасов серы. В состав группы входят: 1) гидротермальные, 2) эксгаляционные, 3) вулканогенно-осадочные, 4) месторождения-потоки серы.

Гидротермальные месторождения образуются в результате деятельности горячих сернокислых вод, вызывающих интенсивную переработку вулканогенных пород (преимущественно андезитов), их туфов, туффитов и туфобрекчий. Сера выделяется как при химическом взаимодействии сернокислых растворов с силикатами, так и при неполном окислении сероводорода и при реакциях между сероводородом и сернистым газом. Рудные тела сложены сернистыми кварцитами, опалитами, алунитами. Залежи имеют пластообразную, линзовидную и штокверковую форму. Мощность их от 1–2 до 20–25 м. Содержание серы в рудах достигает 30–40 %.

Эксгаляционные месторождения возникают за счет газовых выделений и отложения серы в кратерах вулканов, в полостях, трещинах и т. д. Залежи этого типа невелики по размерам, но содержат руды высокого качества.

Вулканогенно-осадочные месторождения формируются в кратерных озерах, на дне которых по трещинам выходили горячие источники с сероводородом и сернистым газом. Выделявшаяся при этом элементарная сера оседала на дне озера в смеси с пепловыми и иловыми частицами. Залежи серных руд имеют форму плоских линз с размерами в поперечнике до нескольких сотен метров и мощностью до 25 м.

Месторождения-потоки серы возникают в результате излияния расплавленной серы через жерло и боковые трещины вулканов. Расплавленная сера заполняет небольшие трещины, полости и застывает. Залежи имеют неправильную и языкообразную форму. Образование их связано с переплавлением серы из серных руд других генетических типов.

Экзогенная группа месторождений. На месторождения этой группы приходится более 90 % разведанных в мире запасов серы. Среди них выделяют два типа – стратиформный и солянокупольный.

Стратиформный тип месторождений серы является основным в мире. Месторождения этого типа генетически и пространственно связаны с эвапоритовыми толщами (формациями). Известно шесть таких сероносных формаций: 1) верхнеказанская (P_2k) (месторождения Среднего Поволжья: Водинское, Алексеевское, Сюкеевское и др.); 2) очоанская (P_2) (месторождения Делаверского бассейна в США: Дувал, Калберсон и др.); 3) верхнеюрская (J_3) (месторождение Гаурдак в Туркмении); 4) тортонская (N_{1t}) (месторождения Предкарпатского бассейна: Тарнобжег, Гржибов, Езерко, Сташув в Польше, Немировское, Язовское, Любеньское, Подорожненское, Раздольское на Украине); 5) мессинская (N_1) (месторождение на о. Сицилия); 6) нижнефарская (N_1) (месторождение Мишрак в Ираке).

Солянокупольный тип месторождений – второй после стратиформного по промышленной значимости. Месторождения этого типа широко распространены в районе Мексиканского залива (США и Мексика). Сероносные залежи приурочены к кепракам соляных куполов, обнаруживая при этом тесную связь с углеводородами.

Основные закономерности распространения. Месторождения серы крайне неравномерно размещены на Земле. Это побудило А. С. Соколова еще в 1949 г. выделить шесть сероносных провинций: 1) Андийскую (западное побережье Южной Америки); 2) Восточноазиатскую (Камчатка, Курильские, Японские и Филиппинские острова, Индонезия); 3) Техас-Луизианскую, или побережье Мексиканского залива (США, Мексика); 4) Средиземноморскую (о. Сицилия, юг Франции, Испания, Предкарпатье); 5) Среднеазиатскую (Киргизия, Таджикистан, Узбекистан, Туркмения, Кавказ, Аравийский полуостров, Южная и Юго-Восточная Азия); 6) Восточноевропейскую (Среднее Поволжье, Республика Коми, Урало-Эмбинский район, Приуралье).

Общим для размещения на Земле эндогенных и экзогенных месторождений серы является то, что они не характерны для областей, переживающих современную стадию покоя или консолидации с эпейрогеническими движениями блоков, а также для древних геосинклинальных поясов – шовных зон, закрывшихся в разное время океанических бассейнов. Промышленных залежей серы нет на щитах, они редки и обычно невелики по масштабам в глубине плит платформ, в поясах доальпийской складчатости, особенно байкальской, каледонской и герцинской.

На Земле наблюдается стратиграфическая приуроченность большинства промышленных экзогенных месторождений самородной

серы к отложениям перми, юры и неогена. Эндогенные месторождения ее формировались в основном в кайнозое.

Ресурсы и запасы. Мировые запасы полезного компонента в месторождениях самородной серы оцениваются в 1,7–1,8 млрд т. Основные запасы ее сосредоточены в США, Мексике, России, Ираке, Италии. Более 50 месторождений самородной серы с разведанными запасами (млн т) считаются весьма крупными, 10–50 – крупными, 1–10 – средними, менее 1 – мелкими.

В связи с тем что в настоящее время основным источником получения серы являются углеводороды, отметим страны, обладающие наиболее крупными запасами этого вида минерального сырья. Странами-лидерами по подтвержденным запасам нефти и газоконденсата (млрд т) являются: Саудовская Аравия – 35,86 (23,1 % от мировых запасов), Россия – 21,25 (13,7 %), Ирак – 15,34 (9,9 %), Кувейт – 12,97 (8,4 %) и Иран – 12,40 (8,0 %). По подтвержденным запасам природного газа (трлн м³) лидируют следующие страны: Россия – 47,38 (33,9 %), Иран – 21,00 (15,07 %), Катар – 7,08 (5,08 %), ОАЭ – 5,80 (4,16 %), Саудовская Аравия – 5,36 (3,84 %) и США – 4,68 (3,36 %).

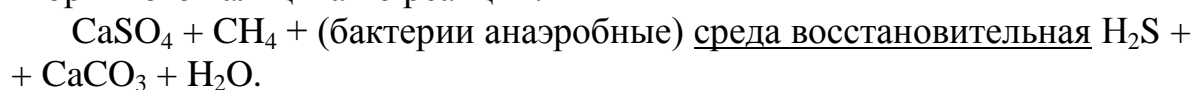
Геология месторождений самородной серы. Основное практическое значение имеет стратиформный тип месторождения, характерным представителем которого является месторождение Мишрак.

Месторождение Мишрак – одно из наиболее крупных в мире (запасы элементарной серы более 100 млн т). Оно расположено примерно в 300 км к северу от Багдада на левом берегу р. Тигр. В тектоническом отношении приурочено к складчатым образованиям Месопотамской депрессии – зоне шириной около 200 км, выполненной осадочными породами миоцена. Собственно месторождение контролируется Мишракской антиклиналью, вытянутой в северо-западном направлении на 11 км при ширине ее 3,5 км. В северо-западной части этой антиклинали имеются промышленные скопления природного газа.

Сероносными являются породы формации нижний фарс (средний миоцен, тортон), залегающие с несогласием на биогенных битуминозных евфратских известняках. В составе продуктивной толщи выделяются три рудные зоны, характеризующиеся преобладанием вторичного перекристаллизованного кальцита и самородной серы с битумом над первичными гипс-ангидритовыми породами. Мощность каждой из рудных зон около 30 м. Площадь контура промышленной минерализации составляет 10 км². Среднее содержание серы в рудах 23,14 %. По текстурным особенностям руды весьма разнообразны – полосчатые,

гнездовидные, рассеяно-вкрапленные, псевдобрекчиевые, прожилковые и рассеяно-прожилковые. Серные руды месторождения отличаются повышенной битуминозностью (до 10 %); другие примеси практически отсутствуют.

Образование Мишракского месторождения было обусловлено благоприятным сочетанием ряда факторов – наличием мощных сульфатных толщ, крупных скоплений УВ, благоприятных структурно-тектонических и гидродинамических условий. В результате взаимодействия углеводородов с сульфатными породами при участии сульфатредуцирующих бактерий произошло образование сероводорода и вторичного кальцита по реакции:



Образовавшийся сероводород, благодаря инфильтрации богатых кислородом поверхностных вод р. Тигр, окислялся и переходил в элементарную серу:



Руды месторождения разрабатываются методом Фраша. Ежегодная добыча составляет около 600 тыс. т элементарной серы.

Лекция 10. БОР

Геохимия и минералогия. Как химический элемент бор впервые был получен Ж. Гей-Люссаком в 1808 г. при нагревании борной кислоты с металлическим калием. Кларк бора (по А. П. Виноградову) в земной коре составляет $1,2 \cdot 10^{-3} \%$. Повышенные концентрации его наблюдаются в глинах и в глинистых сланцах ($1,1 \cdot 10^{-2} \%$), фосфоритах ($1,3 \cdot 10^{-2} \%$), железо-марганцевых конкрециях ($1,1 \cdot 10^{-2} \%$), а также в подземных водах вулканически активных районов и в нефтяных водах. Известны два стабильных изотопа бора ^{11}B и ^{10}B с соотношением примерно 4,2 : 1.

Бор входит в состав многих минералов, общее число которых достигает ста шестидесяти. Большинство из них являются боратами магния, кальция, натрия и калия. Известны также боросиликаты и боралюмосиликаты. Однако промышленное значение имеет сравнительно небольшое количество минералов (табл. 6).

Применение в промышленности. Основными потребителями бора являются стекольная и керамическая промышленность: оптические стекла, кислото- и огнеупорные изделия, теплоизолирующие стекловолокна, эмали, глазури и др. В значительных объемах (15–30 %)

борное сырье используется в мыловарении и производстве отбеливающих средств.

В небольшом количестве бор применяется в медицине, в металлургии как присадка к стали, в резиновой, парфюмерной, лакокрасочной и кожевенной промышленности. Используется он также и в сельском хозяйстве.

Особенно расширились области применения бора в последнее время. Бориды (соединения бора с металлами) используются при производстве особо прочных деталей газовых турбин и деталей реактивных двигателей. Карбид бора (B_4C) ввиду его способности поглощать нейтрон используется для регулирования работы атомных реакторов.

Типы руд. В зависимости от технологии переработки выделяются следующие промышленные типы руд: 1) бораты, растворимые в воде (бура, кернит, сассолин и др.); 2) бораты, растворимые в кислотах (пандермит, гидроборацит и др.); 3) боросиликаты, растворимые в кислотах (датолит); 4) боросиликаты, нерастворимые в кислотах (данбурит); 5) борсодержащие воды, рапа соляных озер, нефтяные воды, горячие источники.

Общетехнические требования. Боратовые руды (первый и второй типы) отличаются хорошими технологическими свойствами и при содержании B_2O_3 более 13 % идут в переработку без обогащения. Максимальное содержание B_2O_3 в них нередко составляет 20–30 %, а минимальное – 2–6%. Вредные примеси в рудах – кальций, магний, сульфаты железа и алюминия.

Боросиликатные руды (датолитовые и данбуритовые) по качеству делятся на высокосортные (содержание B_2O_3 более 10 %), среднесортные (5–10 %) и низкосортные (3–5 %). Эти руды требуют обогащения. Рапа соляных озер (солары) характеризуется относительно невысоким содержанием B_2O_3 (0,5–2,2 %). Однако в связи с простой технологией извлечения B_2O_3 из рапы эксплуатация таких месторождений экономически является рентабельной.

Ресурсы и запасы. Бораты до недавнего времени относились к стратегическому сырью, поэтому полной информации о ресурсах и запасах их не имеется. Подтвержденные запасы борного сырья в мире (без учета России, Китая и стран бывшего социалистического лагеря) составляют около 200 млн т B_2O_3 . Наиболее крупные запасы B_2O_3 (около 50 % от мировых) имеются в США и Турции (около 30 %). Значительными запасами этого вида минерального сырья обладают Аргентина, Чили, Боливия, Перу, а также Россия и Китай.

Уникальные месторождения с запасами руды более 10 млн т крайне редки (Крамер в США). Наиболее характерны средние (от 250 до 1000 тыс.т) и мелкие (менее 50 тыс т) месторождения.

Генетические типы промышленных месторождений. Известны следующие генетические типы промышленных месторождений боратов: 1) скарновый (контактово-метасоматический); 2) эксгаляционный; 3) вулканогенно-осадочный; 4) химический (галогеенный); 5) остаточный и инфильтрационный.

Скарновый тип месторождений бора подразделяется на известково-скарновый и магнезиально-скарновый подтипы. Известково-скарновые месторождения приурочены к скарнам, образовавшимся в результате метасоматического замещения карбонатных пород при воздействии на них гранитоидных интрузивов. Борсодержащие минералы представлены датолитом, данбуритом и аксинитом. Форма рудных тел – линзо- и пластообразные залежи, жилы, тела неправильной формы. Содержание B_2O_3 в рудах варьирует от 5 до 15 %. К месторождениям этого подтипа относятся Дальнегорское в Приморье и Золотой Курган на Кавказе (Россия), Лиштице (Чехия) и др.

Магнезиально-скарновые месторождения формируются на контакте доломитов с интрузивными породами, преимущественно с гранитами, гранодиоритами и диоритами. Скарны сложены в основном диопсидом, шпинелью, форстеритом. По составу боратов магнезиально-скарновые месторождения делятся на три группы: суанитовую, котоитовую и людвигитовую. Содержание B_2O_3 в котоитовых рудах составляет 6–8 %, людвигитовых – 4–10 %, суанитовых – 12–17 %. Месторождения этого подтипа известны в России (Таежное на Алданском массиве), КНДР (Холь-Гол), Казахстане, США, Италии, Турции и других странах.

Эксгаляционный тип – это бороносные термальные источники (фумаролы и сольфатары с температурой 90–200 °С). Они содержат борную кислоту (сассолин), количество которой колеблется от сотых долей процента до 0,5 %. Месторождения этого типа эксплуатируются в Италии (Тоскана).

Вулканогенно-осадочный тип месторождений образует пластовые и линзообразные залежи, сложенные вулканогенно-соленосно-глинистыми породами, содержащими большое количество боратов. Источником бора являются вулканические эксгаляции или вулканогенные породы обычно базальтового состава, из которых бор легко выщелачивался и накапливался в бессточных или слабо проточных котловинах (пресных или соленых озерах). Выпадение борных минералов происходило в

результате химических реакций, протекавших в водах озер, или частично путем замещения известковистых осадков борными минералами. На месторождениях этого типа базируется борная промышленность США, Турции, Аргентины и Чили.

Химический (галоженный) тип месторождений бора парагенетически связан с сульфатными залежами калийных солей. Бор осаждался в лагунах и усыхающих морских бассейнах при весьма высокой солености рапы. Он входил в состав калиборита, гидроборацита, борацита и других магниевых и кальциево-магниевых боратов. Залежи – пластообразной и линзообразной формы. Содержание B_2O_3 в первичных бедных рудах увеличивается до 10–25 % за счет выноса из вмещающих пород легкорастворимых солей натрия и калия.

Остаточные и инфильтрационные месторождения обычно приурочены к гипсовым шляпам соляных куполов. В результате проявления гипергенных процессов первично осажденные бораты замещаются улекситом, ашаритом и иньонитом. Содержание B_2O_3 в первичных бедных рудах увеличивается до 10–25 % за счет выноса из вмещающих пород легкорастворимых солей натрия и калия.

Бораты могут растворяться в грунтовых водах и переотлагаться в пределах гипсовой шляпы, образуя инфильтрационные залежи линзообразной формы. Бораты представлены вторичным гидроборацитом, улекситом, иньонитом и другими минералами.

Геология месторождений боратов. Одним их крупнейших в мире является месторождение боратов Крамер (Борон). Оно расположено в пустыне Мохаве (штат Калифорния) и относится к типу вулканогенно-осадочных. Приурочено к озерным отложениям миоценового возраста, залегающим со стратиграфическим несогласием на изверженных и метаморфических породах. С верхней частью разреза озерных отложений (слои Крамер) связано бороносное рудное тело, расположенное среди синих и зеленых сланцев.

Главное рудное тело представляет пластовую залежь мощностью 25–90 м, залегающую на глубине 40–340 м и распространенную на площади около 2 км². Рудное тело представлено переслаиванием пластов и прослоев боросодержащих пород мощностью до 10 см, а также линзами, желваками и включениями кернита, буры и тинкаконита. Изредка встречаются улексит, сирлезит и проберит. Бороносные пласты разделяются тонкими слоями монтмориллонитовых глин и вулканических туфов. На участках распространения богатых руд среднее содержание B_2O_3 составляет 25–30 %.

В восточной и южной частях месторождения выявлено несколько разломов типа сбросов. На участках спокойного залегания рудного тела

борная минерализация представлена в основном бурой, а в пределах тектонически осложненных зон – бурой, кернитом и тинкаконитом.

Запасы боратов этого месторождения составляют около 100–120 млн т. Оно разрабатывается с 1926 г. открытым способом. Руда (бура и кернит) после добычи здесь же измельчается, просеивается и растворяется с получением насыщенной бурой жидкости. Эта жидкость фильтруется; в процессе ее кристаллизации получают рафинированные кристаллы декагидрата и пентагидрата буры.

Дальнегорское месторождение боратов расположено в Приморье (Россия). В тектоническом отношении рудное поле с наложенным свинцово-цинковым и боросиликатным оруденением представляет собой горстовую структуру складчато-глыбового строения. Собственно Дальнегорское борное месторождение приурочено к тектонической структуре 2-го порядка (горст-антиклинали), вытянутой в северо-восточном направлении на 4,5 км при ширине ее 1–2 км. Промышленная залежь (скарнированные известняки триасового возраста) расположена в пределах юго-восточного крыла этой структуры.

Рудные тела имеют форму линзо- и пластообразных залежей. Структура руд – разнотекстурированная (преимущественно среднетекстурированная), текстура – пятнистая, полосчатая, друзовая, брекчиевидная. Основным промышленным минералом является датолит, подчиненное значение имеют данбурит и аксинит. В составе руд широко представлены волластонит, геденбергит, андрадит, кальцит, кварц и другие минералы. Содержание B_2O_3 в рудах составляет 2–11 %.

Дальнегорское месторождение боратов разрабатывается открытым способом более 40 лет ПО «Бор». Руда обогащается, и после разложения серной и угольной кислотами получают около десяти различных видов боропродуктов.

Таблица 6

Главнейшие минералы бора промышленных месторождений

Группа	Минерал	Химический состав	Содержание B_2O_3 , %
1	2	3	4
Натровые бораты	Борная кислота (сассолин)	$B(OH)_3$	56,4
	Бура (тинкал)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	36,5
	Тинкаконит	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	47,8
	Кернит	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$	51,0

Натрово-кальциевые бораты	Улексит	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	43,0
	Проберит	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	49,6
Кальциевые бораты	Иньюит	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	37,6
	Колеманит	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	50,8
	Пандермит	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	49,8
Кальциево-(калиево)-магниевые бораты	Курчавит	$\text{Ca}_6\text{MgMnB}_{12}\text{O}_{30}$	40,7
	Сахаит	$\text{Ca}_{12}\text{Mg}_4(\text{CO}_3)_4(\text{BO}_3)_7\text{Cl}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18,5
	Калиборит	$\text{KMg}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5]_2\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	57,0

Окончание табл.

1	2	3	4
Магниевые бораты	Борацит	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{C}$	62,2
	Ашарит	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	41,4
	Котоит	$\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$	35,5
	Суанит	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	46,3
	Преображенскит	$\text{Mg}_8[\text{B}_5\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$	51,2
	Людвигит	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Fe}(\text{BO}_3)\text{O}_2$	12–17
Боросиликаты	Датолит	$\text{Ca}_2\text{B}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})_8$	21,8
	Данбурит	$\text{CaB}_2(\text{SiO}_4)_3$	28,3
Боралюмосиликаты	Аксинит	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{BSiO}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$	5–8
	Турмалин	$(\text{Na,Ca})(\text{MgAl})_6[\text{B}_3\text{Al}_3\text{Si}_6(\text{O,OH})_{30}]$	7–12

Лекция 11. АСБЕСТ

Общие сведения об индустриальном сырье. Многие виды неметаллического минерального сырья представлены вполне определенными минералами с их специфическими физическими свойствами и химическим составом и непосредственно используются в промышленности в своем естественном виде. Такое сырье обычно принято называть индустриальным, или индустриально-техническим. Его переработка сводится к извлечению из горной массы промышленно ценных минералов и осуществляется механизированным способом (флотация, воздушная, магнитная, электромагнитная сепарация и т. п.) либо вручную. Наиболее характерными представителями этой группы минерального сырья являются асбест, графит, слюды, барит, магнезит, флюорит и др.

Минералогия. Асбестами называются минералы, которые легко расщепляются на тончайшие прочные и гибкие волокна, выдерживающие высокие температуры. К ним относятся хризотил-асбест, крокидолит, амозит, антофиллит, иногда тремолит, актинолит, режикит и др. По своей атомной структуре хризотил-асбест принадлежит

к минеральной группе серпентина, а все остальные – к группе амфиболов.

Хризотил-асбест («белый асбест») – волокнистая разновидность водного силиката магния – серпентина. Состав его отвечает формуле $\text{Mg}_6[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_8$ или $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В качестве изоморфной примеси, замещающей оксид магния, присутствует FeO , а механическими примесями являются Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO , NiO , CaO , Na_2O и H_2O . Элементарные кристаллы-волокна обладают трубчатым строением и имеют форму полых цилиндров с внешним диаметром 260 Å, внутренним – 130 Å и толщиной стенок 65 Å. Хризотит-асбест слагает жилки в темно-зеленых серпентинитах. Характеризуется высокой температурой плавления (1521°C), при температуре 700°C теряет конституционную воду и становится хрупким. Твердость его 3–3,5, средняя плотность – $2,5\text{ г/см}^3$. Хризотит-асбест щелочеустойчив, но мало устойчив к воздействию кислот, обладает высокими сорбционными, тепло-звуко- и электроизоляционными свойствами. Волокна его имеют длину от сотых долей миллиметра до 250–300 мм, обычно до 6–7 мм.

Крокидолит («голубой или синий асбест») – волокнистая разновидность рибекита. Кристаллизуется в моноклиальной сингонии. Химический состав крокидолита выражается формулой $\text{Na}_2\text{Fe}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ или $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Встречается в поперечно-волокнистых жилах. Температура плавления – 1193°C . По механической прочности не уступает хризотил-асбесту, но теряет конституционную воду при температуре 200–500 °C. Обладает высокими тепло- и электроизоляционными свойствами. Обычная длина волокна 1,5–30 мм, максимальная – 75 мм.

Амозит («коричневый асбест») – это водный магнезиальный силикат сложного и непостоянного состава с большим содержанием глинозема. Его химический состав $\text{MgFe}_3[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ или $\text{MgO} \cdot 6\text{FeO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Цвет амозита пепельно-серый до коричневого, после извлечения из породы – белый. Температура плавления – $1100\text{--}1200^\circ\text{C}$, устойчив к воздействию кислот и щелочей. Для него характерна большая длина волокна, в среднем 100–175 мм.

Применение в промышленности. Асбесты широко применяются во многих отраслях промышленности. Использование их основано на охарактеризованных выше свойствах асбестовых минералов, а также в зависимости от длины волокна. Существует два класса асбестов – текстильное волокно и группа строительных сортов.

Особенно широкое применение имеет хризотил-асбест. К текстильному асбесту относят сорта с длиной волокна более 8 мм. Асбестовое волокно используется в производстве пряжи и тканей, идущих для изготовления защитных огнестойких костюмов, брезентов, тормозных лент, дисков сцепления, электроизоляционных лент, прокладок, фильтров и других видов продукции.

В шиферно-картонно-бумажном производстве хризотил-асбест применяется для изготовления шифера, асбоцементных труб для канализации, водопровода, для получения асбестовой бумаги и картона, а также в производстве тепло- и электроизоляционных смесей и теплостойких пластмасс. Сорта асбеста с короткой длиной волокна в смеси с цементом широко используются в производстве строительных материалов (асбоцементные плиты, листы для внутренней облицовки зданий и т. п.).

Амфибол-асбесты (крокидолит, амозит и др.) применяются в химической промышленности для производства различных кислото-щелочных изделий (фильтров, прокладок, пластмасс и др.), а их длиноволокнистые сорта являются текстильным сырьем.

Типы руд. В природе волокна асбеста встречаются в агрегатах трех типов. Наиболее часто наблюдаются *поперечно- и косоволокнистые агрегаты*, слагающие жилы, в которых волокна асбеста ориентированы строго параллельно друг другу, но располагаются или перпендикулярно к стенкам жилы (поперечно-волоконистые жилки), или под косым углом (косоволокнистые жилки). Они характерны в основном для хризотил-асбеста, крокидолита и амозита. Выделяются четыре типа жилкования: 1) простые отороченные жилы (нередко с просечками в центре их); 2) сложные отороченные жилы (серия взаимно параллельных жилок); 3) жилы типа крупной сетки, представленные разнообразно ориентированными поперечно-волоконистыми жилами, иногда пересекающимися между собой, но чаще плавно сопряженными друг с другом; 4) мелкопрожил – серия взаимно параллельных поперечно-волоконистых жилок мощностью 2–3 мм, реже 5–6 мм.

Продольно-волоконистые агрегаты образуют жилки, в которых волокно располагается параллельно стенкам. Это обычно длинное волокно, но в основном низкого качества. Продольно-волоконистый асбест встречается в месторождениях хризотил-асбеста и антофиллита. Типичный представитель этой группы – Карачаевское месторождение асбеста на Северном Кавказе.

Спутанно-волокнистые агрегаты образованы разно ориентированными пучками, радиально-лучистыми гнездами или тончайшими жилками радиально расположенных иголок и волокон асбеста. Под микроскопом мельчайшие пучки, гнезда и тончайшие жилки волокон представляют так называемое волокно массы («mass fiber»). Агрегаты этого типа свойственны антофиллиту, родуситу и режикиту.

Общетехнические требования и способы добычи. Ценность асбеста помимо огнестойкости и устойчивости к воздействию кислот определяется также длиной его волокна и прочностью. По длине волокна выделяют восемь групп: от 0 (нулевой) до 7-й. Для нулевой группы длина волокна превышает 13 мм, а для седьмой составляет менее 1 мм.

По прочностным свойствам выделяют следующие разновидности асбеста: 1) высокой прочности (прочность на растяжение около 300 кг/мм²); 2) полумомкий, или пониженной прочности; 3) ломкий, или слабой прочности (прочность на растяжение 110–220 кг/мм²).

Асбестовые руды, как правило, разрабатываются с помощью открытых работ. Высокосортное волокно «крюд» нередко добывают вручную. При добыче хризотил-асбеста производят валовую выемку асбестоносных пород. Поскольку содержание волокна в них составляет лишь немногие проценты, приходится при этом перерабатывать огромные объемы горной породы. В настоящее время в мире (Канада, США и др.) наблюдается тенденция к переходу на подземные работы с применением системы отработки с магазинированием или более производительной системы с массовым поэтажным обрушением.

Ресурсы и запасы. Запасы (общие) асбестового волокна всех минеральных видов в мире (без России и Китая) составляют около 100 млн т, из них на хризотил-асбест приходится около 95 %. В странах СНГ общие запасы хризотил-асбеста превышают 180 млн т. Основные ресурсы и запасы этого минерального сырья сосредоточены в России и Канаде.

Крупными считаются месторождения хризотил-асбеста с запасами волокна (млн т) более 5, средними – 0,5–5, мелкими – менее 0,5. Для месторождений амфибол-асбеста принято следующее деление (тыс. т): крупные – более 50, средние – 5–50 и мелкие – менее 5.

Генетические типы промышленных месторождений. В настоящее время выделяются четыре главнейших геолого-промышленных типа месторождений асбеста.

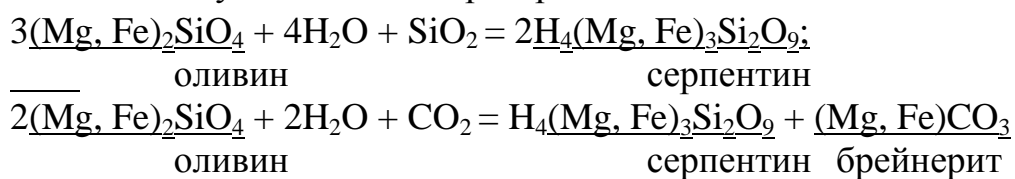
Первый тип – линзо- и трубообразные залежи и жилы с хризотиловой минерализацией в серпентинизированных ультрабазитах. С этим типом связаны наиболее крупные месторождения хризотил-асбеста (Баженовская группа на Урале, Тетфордский пояс в провинции Квебек в Канаде и др.). По характеру жилкования (строению жил асбеста) выделяются три подтипа – баженовский, лабинский и карачаевский.

Месторождения баженовского подтипа представляют собой крупные (до 600 м) крутопадающие тела, характеризующиеся концентрически-зональным строением, обусловленным различными типами асбестоносности: мелкопрожила, мелкой и крупной сеток, простых и сложных жил. К этому типу относится большинство месторождений Урала (Баженовское, Киембаевское, Джетыгаринское), Сибири (Саянское, Молодежное и др.), Канады (Джеффри, Блэк-Лейк, Клинтон-Крик и др.), Зимбабве (Машаба, Шабани) и других стран.

Месторождения лабинского подтипа представлены простыми или сложными жилами поперечно-волокнистого асбеста. Наиболее типичные представители – месторождение Лабинское на Северном Кавказе, Нью-Амиантус в ЮАР и др.

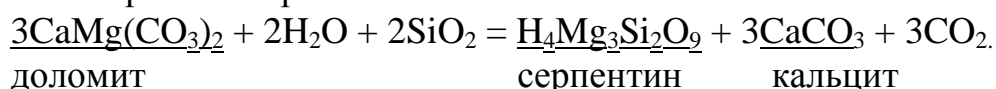
Месторождения карачаевского подтипа характеризуются продольно-волокнистым жилкованием по плоскостям трещин и скольжением в серпентинитах (Карачаевское месторождение в России, Ешкеульмесское в Казахстане, Ист-Броутон в Канаде и др.).

Образование хризотил-асбеста в серпентинизированных и стратиформных массивах ультрабазитов связано с воздействием гидротермальных растворов, природа которых дискуссионна. Процесс серпентинизации ультраосновных пород происходил под действием кремнекислых либо углекислых гидротерм:



Второй тип – пластовые и жилообразные зоны серпентинизации с хризотиловой минерализацией в метаморфизованных магнезиальных карбонатных толщах. Встречаются значительно реже месторождений первого типа. Для них наиболее характерны единичные жилы (Аспогашское месторождение в России, месторождения в штате Аризона). Иногда наблюдаются сетчатые жилы, мелкопрожил, просечки

(Вангырское месторождение на Полярном Урале, месторождения в Китае и др.). Все месторождения этого типа считаются контактово-метасоматическими. Они локализованы в магнезиальных карбонатных породах вблизи контакта с изверженными основными или кислыми породами. Серпентинизация и асбестообразование происходили в гидротермальную стадию контактового метасоматоза по доломитам в условиях привноса кремнекислоты:



Достоинством асбестового волокна месторождений этого типа является исключительно низкая железистость, что предопределяет использование его в электротехнической промышленности.

Третий тип – пластовые жилы с крокидолитом и амозитом в железокремнистых породах типа железистых кварцитов и яшм близ контактов с доломитами. Месторождения этого типа известны в ЮАР (Трансвааль и Капская провинция), в Западной Австралии.

Четвертый тип – гнездо-, линзо- и штокообразные тела с антофиллит-асбестовой минерализацией в метаморфизованных ультрабазитах амфиболито-гнейсовых комплексов. Характерна тесная связь месторождений этого типа с метаморфизованными ультраосновными породами в составе амфиболито-гнейсовых комплексов регионального метаморфизма. Типичные представители – Сысертское месторождение на Урале, Бугетысайское в Мугоджарах, месторождения Финляндии, США и других стран.

Геология месторождений асбеста. В СНГ крупнейшим по запасам и экономическому значению является *Баженовский асбестоносный район*, находящийся в Свердловской области. Здесь выявлен ряд месторождений, крупнейшим из которых является Баженовское (близ г. Асбест), открытое в 1885 г. русским землемером А. П. Лодыженским. Это месторождение приурочено к Баженовскому массиву гипербазитов, входящему в состав полосы габбро-перидотитов Среднего Урала, простирающейся в субмеридиональном направлении примерно на 180 км. Баженовский гипербазитовый массив также имеет субширотное простираие, длина его составляет около 30 км, ширина – 1,1–3,5 км, площадь – 75 км².

Тектоническими разломами гипербазитовый массив разбит на ряд блоков. Вдоль зон разломов гипербазиты (гарцбургиты, пироксениты и др.) подверглись гидротермальным преобразованиям и превращены в серпентиниты, тальк-карбонатные, кварц-карбонатные и другие породы.

На месторождении выявлено 28 промышленных залежей хризотил-асбеста. Форма их эллипсоидальная, штоко- и линзообразная. Простираение всех залежей субмеридиональное, падение – от крутого (70–80°) до вертикального.

Для залежей характерно зональное строение. Центральные (ядерные) части представлены перидотитами и не содержат промышленной асбестизации. По направлению к периферии от них сначала появляется зона простых и сложно отороченных жил, затем зона крупной сетки, далее – зона мелкой сетки, зона мелкопрожила и зона просечек с единичными жилами асбеста.

Месторождения Баженовского асбестоносного района являются крупнейшими в мире, эксплуатируются рядом крупных карьеров. Карьеры имеют размеры в длину до 4 км при ширине до 1,5 км. Глубина отдельных из них достигает 200 м. Ежегодно добыча составляет 1,5–2 млн т минеральной массы.

Месторождения амозита и крокидолита ЮАР. Основные месторождения амозита сосредоточены в провинции Трансвааль в пределах обширного рудного поля, представляющего дугообразную полосу длиной 100 км, окаймляющую северо-восточное окончание Бушвельдского интрузивного комплекса. В геологическом строении рудного поля принимают участие породы трансваальской супергруппы докембрия (кварциты, доломиты, железистые кварциты, яшмы, сланцы и др.). Амозит-асбестовая минерализация приурочена к толще железистых кварцитов и яшм, перекрывающей доломиты и смятой в пологие синклинальные и антиклинальные складки. Максимальная мощность этой толщи достигает 700 м.

Амозит-асбест синевато-серый, поперечно-волокнистый, образует серию согласных прожилков, содержащих крупные кристаллы грюнерита и скопления графита. Амозитсодержащие слои подстилаются и перекрываются железистыми кварцитами. В пределах каждого их слоев фиксируется до 5–6 параллельных прожилков со средней длиной волокна 10–12 см. Несколько слоев с амозит-асбестовой минерализацией образуют четко стратифицированную продуктивную пачку. В разрезе железистых кварцитов яшм наблюдаются четыре такие пачки мощностью до 10 м каждая.

Месторождения крокидолита находятся в Капской провинции и сосредоточены в пределах полосы, вытянутой на 400 км и шириной до 45 км. Они связаны с образованиями той же трансваальской супергруппы докембрия. Крокидолитовая минерализация приурочена к группе гхаап, сложенной преимущественно доломитами с пачками полосчатых

железистых кварцитов. Главная промышленная зона представляет чередование грубо- и тонкослоистых магнетитовых кварцитов с согласными жилами поперечно-волокнистого крокидолита. Выделяется до восьми асбестоносных жил со средней длиной волокна 15–20 мм. Зона промышленной крокидолитовой минерализации имеет прерывистый характер. Разработка осуществляется посредством небольших открытых горных выработок.

Лекция 12. БАРИТ И ВИТЕРИТ

Геохимия и минералогия. Барий не имеет широкого распространения в земной коре. Кларк его равен 0,05 %. Генетически барий связан с кислыми магматическими породами. Он входит в состав многих минералов – полевых шпатов, биотита, мусковита и др. Промышленное значение имеют только два минерала – барит и витерит.

Барит – сульфат бария, или тяжелый шпат (BaSO_4), встречается в виде зернистых масс и хорошо очерченных кристаллов нередко крупных размеров. Кристаллизуется в ромбической сингонии, образует таблитчатые призматические кристаллы. Характерны зернистые, пластинчатые, лучисто-волокнистые, столбчато-волокнистые и другие агрегаты. Обычно он имеет белую или светло-серую окраску, но может также обладать голубоватым, коричневатым или почти черным цветом. В барите барий иногда замещается стронцием (баритоцелестин, целестобарит), свинцом (хокутолит, англезиобарит) и кальцием (кальциобарит). Твердость его – 2,5–3,5.

Основным технологическим свойством барита является большая его плотность (4,3–4,6 г/см³). Из других свойств характерны высокая адсорбционная способность к рентгеновскому излучению, нерастворимость в воде и слабых кислотах, прозрачность крупных кристаллов, высокое содержание бария, белизна, ядовитость бариевых соединений.

Витерит – карбонат бария (BaCO_3), содержит 77,7 % BaO. Кристаллизуется в ромбической сингонии, характерны короткопризматические, табличные и дипирамидальные кристаллы. Основными примесями являются стронций и кальций. В природе встречается в виде зернистых, столбчатых, почковидных, волокнистых и листоватых агрегатов. Блеск стеклянный. Твердость витерита 3–3,5, плотность – 4,3 г/см³, легко растворяется в соляной кислоте.

Применение в промышленности. Основным потребителем барита является нефтедобывающая промышленность (около 55–70 %). Барит используется в буровых растворах в виде порошкообразной добавки при

бурении нефтепоисковых, разведочных и эксплуатационных скважин. Применение барита в этих целях объясняется его высокой плотностью, инертностью, чистотой и относительной дешевизной.

На втором месте по потреблению барита и витрита находится химическая промышленность. Химически осажденный сульфат бария представляет пигментирующий наполнитель красок, бумаги, резины, линолеума. Хлористый барий применяется в кожевенном и текстильном производстве; карбонат бария – в керамических глазурях и эмалях; оксид бария – в сигнальных ракетах и детонаторах.

Дробленый барит используется в качестве заполнителя бетона в покрытиях подводных нефте- и газопроводов в тех случаях, когда желательны высокий вес и химическая инертность данных конструкций. Этот вид использования барита будет, несомненно, возрастать по мере развития сети планируемых подводных нефте- и газопроводов.

Типы руд. Сырьевая база баритдобывающей промышленности представлена как собственно баритовыми, так и комплексными рудами. По минеральному составу среди собственно баритовых руд выделяют: 1) мономинеральные; 2) кварц-баритовые; 3) флюорит-баритовые; 4) глинисто-баритовые; 5) песчано-баритовые; 6) сульфидно-баритовые. Комплексные руды разделяются на барит-полиметаллические, редкометалльно-барит-флюорит-железорудные, барит-колчеданные. Барит из этих руд извлекается попутно.

Витеритовые руды встречаются редко. Обычно витерит в том или ином количестве присутствует в баритовых рудах, возникая в результате метасоматического замещения барита. Наиболее характерны барит-витеритовые руды.

Общетеchnические требования. Руды барита и витерита (за исключением мономинеральных) не отвечают требованиям промышленности по содержанию BaSO_4 и вредных примесей и подвергаются обогащению. Основными вредными примесями в них являются SiO_2 , Fe_2O_3 и растворимые в воде соли. Наиболее легко обогащаются песчано-баритовые и глинисто-баритовые руды, труднее всего – барит-кварцевые и барит-флюоритовые руды (особенно при тонком взаимном прорастании этих минералов и повышенном содержании оксида железа). Переработка этих руд рентабельна при содержании барита более 35–40 %.

В результате обогащения получают концентрат, кусковой и молотый товарный барит. Товарный барит делится на четыре сорта: высший, первый, второй и третий – с содержанием BaSO_4 не менее 95, 90, 85 и 80 % соответственно.

Различные отрасли промышленности предъявляют особые требования к качеству барита. Требования к бариту в нефтехимической промышленности: плотность – 4,0–4,2 г/см³, содержание водорастворимых компонентов не более 0,35 %. Барит, используемый в химической промышленности, по качеству должен быть не ниже второго сорта, а витеритовые руды должны содержать (%): BaCO₃ – не менее 36, BaSO₄ – не более 56, R₂O₃ – до 1,5 и CaO – до 7. Тонкоразмолотый барит, служащий инертным наполнителем твердой резины, белой бумаги и картона, должен содержать: BaSO₄ – 98–99 %, CaO – до 36 %, следы R₂O₃ и SiO₂ при полном отсутствии Fe, Mn Cu, Pb и высокой его белизне.

Ресурсы и запасы. Мировые прогнозные ресурсы барита оцениваются примерно в 2 млрд т. Более половины их сосредоточено в странах Азии, главным образом в Казахстане и Китае. Запасы барита общие разведаны в 61 стране мира и составляют около 628 млн т, а запасы подтвержденные – 364 млн т. Наиболее крупные запасы барита подтвержденные сосредоточены в Азии и Америке, и среди стран лидирующие позиции занимают Казахстан, Китай, США и Россия (табл. 7).

В настоящее время мировая добыча барита составляет более 6 млн т. Основной объем добычи (более 65 %) обеспечивают Китай, США, Индия и Мексика.

Генетические типы промышленных месторождений. Генетически преобладающее большинство баритовых и комплексных баритсодержащих месторождений являются гидротермальными. Выделяются еще месторождения, образовавшиеся в процессе осадконакопления (хемогенные) и выветривания. Месторождения барита магматического типа отсутствуют. Это обусловлено тем, что в процессе магматической дифференциации барий, поступающий из глубинных очагов, рассеивается, изоморфно замещая калий в породообразующих и акцессорных минералах, не образуя промышленных скоплений.

Среди всего разнообразия баритовых месторождений выделяются три основных типа: 1) жильный; 2) стратиформный; 3) песчано-валунный в корах выветривания.

Жильный тип объединяет эпигенетические гидротермальные жилы, неправильные тела, линзы и зоны брекчирования, образовавшиеся путем выпадения барита из гидротермальных растворов. Отдельные жилы прослеживаются по простиранию до 1–2 км. Мощность жил и линз варьирует от сантиметров до нескольких метров, изредка до 10–20 м. Минерализованные зоны брекчирования представлены обломками

вмещающих пород, сцементированных баритом и витеритом. Наиболее характерны баритовые, барит-витеритовые, барит-сидеритовые, кварц-баритовые и кварц-кальцит-баритовые жилы. Классическими представителями этого типа являются месторождения Елы-Су и Арпакленское в Туркмении, Дрожжак, Златник и Запаленица в Чехии, Чордская и Кутаисская группа месторождений в Грузии и др.

Стратиформный тип представлен согласными пластовыми и линзовидными залежами барита в осадочных и вулканогенных породах. Среди них имеются месторождения как хемогенно-осадочного, так и гидротермально-метасоматического генезиса. Размеры баритовых залежей достигают нескольких квадратных километров, мощность – до 15–20 м, содержание барита высокое (50–95 %). К рассматриваемому типу принадлежат месторождения в штатах Невада и Арканзас (Магнет-Ков), Баллино (Ирландия), Апшринское (Грузия), Джалаирское (Казахстан) и др.

Песчано-валунный тип месторождений кор выветривания включает остаточные залежи элювиальных и делювиальных глин с обломками барита. Величина баритовых обломков по размерности колеблется от песчаных до валунных и глыбовых. Месторождения этого типа широко распространены в штатах Миссури и Джорджия, в России данный тип представлен Медведевским месторождением на Урале.

Геология месторождений барита. В СНГ одним из крупнейших является *Апшринское месторождение* барита. Оно расположено в Грузии, в пределах Абхазского хребта (севернее г. Сухуми). Приурочено к юго-западному крылу Апшринской антиклинали. Центральная часть этой структуры выполнена вулканогенно-осадочными породами байоса (порфириты, туфы, туфопесчаники), а юго-западное крыло – терригенно-карбонатными отложениями верхней юры.

Продуктивными являются массивные известняки, в которых неравномерно развита баритовая минерализация и сопровождающая ее доломитизация. В пределах рудного поля эти известняки обнажаются в виде полосы, вытянутой на 5 км. На месторождении мощность рудной толщи составляет 20–40 м, она прослеживается по простиранию на 800 м и по падению на 250 м (под углом 15–30 °). Рудная залежь осложнена крутопадающими сбросами с амплитудами смещения блоков в десятки метров.

Руды преимущественно барит-карбонатные. Главные минералы – барит и доломит, второстепенные – сидерит, халцедон, кварц, кальцит, редкие – арагонит, гематит, пирит, марказит, халькопирит, киноварь.

Среднее содержание $BaSO_4$ в промышленных рудах составляет 48,6 %, количество стронция варьирует от 0,006 до 1,0 %. Месторождение разрабатывается открытым способом. Руды подвергаются флотационному обогащению.

Месторождение Магнет-Ков является наиболее крупным в США. Оно расположено в штате Арканзас близ восточного окончания гор Уошито. Приурочено к восточной части синклинальной складки, опрокинутой на северо-запад. Породы интенсивно трещиноваты, наблюдаются также малоамплитудные тектонические нарушения. Возраст развитых на месторождении пород складчатой толщи – ордовикско-пенсильванский. Пластово-метасоматические тела барита приурочены к нижней части формации глинистых сланцев Стэнли (пенсильваний-миссисипий). Разрез формации Стэнли сложен темноцветными тонкорассланцованными глинистыми сланцами с многочисленными прослоями тонкозернистых песчаников в нижней ее части.

В плане месторождение барита имеет подковообразную форму с протяженностью от вершины этой подковы до любого конца ее около 1,2 км. На крыльях складки мощность баритоносной зоны составляет 9–17 м, но в замке синклинали она увеличивается до 35 м и более. Нижний контакт баритоносной зоны с глинистыми сланцами или песчаниками резкий, тогда как в кровле баритоносная зона постепенно сменяется вышележащими породами.

Мощность отдельных пластов барита, которые разделены незаместившимися прослоями глинистых сланцев или песчаников, колеблется от 2 до 7,5 см. В свежем состоянии барит имеет серую окраску, обладает плотным сложением, напоминая плотный кристаллический известняк. Барит, залегающий неглубоко от земной поверхности, имеет характерную пластинчатость, ориентированную параллельно поверхности напластования. К плоскостям напластования приурочена рассеянная вкрапленность мелких кристаллов пирита. Содержание его в баритовых рудах на отдельных участках достигает 4 %.

В качестве источника магматогенных гидротермальных растворов предположительно рассматривается округлый шток нефелиновых сиенитов (интрузив Магнет-Ков), расположенный примерно в 3 км к западу от баритового месторождения. В составе исходных пород этого интрузива содержание BaO составляет около 0,3 %.

Месторождение разрабатывается открытым способом. Производится валовая выемка горной массы, в которой содержится около 70 % барита. Пустые породы представлены кварцем, глинистыми сланцами и

оксидами железа. После тонкого помола и флотации получают порошок с содержанием барита 98 % и плотностью 4,4 г/см³.

Таблица 7

Запасы барита (млн т) и среднее содержание BaSO₄ в рудах (%) [8]

Страна, часть света	Запасы общие	Запасы подтвержденные	Их % от мира	Содержание в баритовых рудах	Содержание в комплексных рудах
Россия	24,70	16,50	4,5	51	14,5
Европа	32,30	16,31	4,5	—	—
Греция	4,00	2,00	0,5	58	—
Италия	2,00	2,00	0,5	65	—
Франция	2,50	2,00	0,5	65	35
Азия	447,49	25,27	69,5	—	—
Грузия	8,00	6,00	1,6	60	42
Индия	29,50	20,50	5,6	92	—
Индонезия	3,10	3,08	0,8	33	—
Казахстан	192,00	154,00	42,3	—	35
Китай	150,00	35,00	9,6	80	—
Малайзия	4,00	2,00	0,5	80	—
Таиланд	14,00	9,00	2,5	90	—
Турция	17,00	4,00	1,1	80	—
Узбекистан	11,00	10,00	2,7	—	—
Япония	3,00	2,00	0,5	—	24
Африка	32,78	20,55	5,7	—	—
Алжир	7,00	2,00	0,5	70	—
Марокко	11,00	10,00	2,7	80	25
Тунис	5,00	3,20	0,9	—	—
Америка	86,45	55,60	15,3	—	—
Канада	13,00	11,00	3,0	—	—
Мексика	8,00	7,00	1,9	80	—
Перу	5,00	4,00	1,1	94	—
США	50,00	28,00	7,7	80	55
Чили	8,00	4,00	1,1	97	—
Океания и Австралия	4,50	2,00	0,5	—	—
Австралия	4,50	2,00	0,5	95	—

Лекция 13. ГРАФИТ

Минералогия и физические свойства. Графит – мягкая, черная, жирная на ощупь модификация элементарного углерода. Он кристаллизуется в гексагональной сингонии и встречается нередко в виде шестигранных таблитчатых кристаллов. Чаще всего графит

образует мельчайшие чешуйки или листочки, слагая листоватые агрегаты или неправильные скрытокристаллические массы. Кристаллическая структура его характеризуется весьма крепкой ковалентной гомеоплярной связью атомов углерода в пределах слоя, но весьма слабой межслоевой молекулярной ван-дер-ваальсовской связью. Твердость графита – 1, плотность – 2,2–2,3 г/см³. Природный графит редко бывает химически чистым. В нем постоянно присутствуют примеси – кальцит, мусковит, биотит, глинистое вещество, пирит, кварц, органический углерод, вода, битумы и газы (CO₂, CO, H₂, CH₄, N₂ и др.).

Особенность строения кристаллической решетки графита, в частности наличие в ней свободных электронов, обуславливает его специфические физические свойства: 1) совершенную спайность по одному направлению; 2) низкую твердость; 3) огнеупорность (температура плавления 3800–3900 °С); 4) высокую электро- и теплопроводность; 5) химическую инертность (растворяется лишь в расплавленных силикатах или металлах, образуя карбиды); 6) высокую жирность и пластичность; 7) высокую кроющую способность; 8) непрозрачность и др.

Применение в промышленности. Основная масса графита используется в качестве огнеупоров, производстве высокоуглеродистой стали и в литейном деле. Значительное количество его идет на производство всевозможных смазок, токопроводящей резины, сухих батарей, электродов, скользящих контактов, карандашей, туши и других изделий.

Особо чистый графит используется как замедлитель при ядерных реакциях в атомных котлах, применяется для изготовления деталей ракет в реактивной технике. Он является основным сырьем для промышленного синтеза технических алмазов, находит широкое применение в порошковой металлургии и в производстве полупроводников.

Типы руд. Графитовые руды в зависимости от величины зерна (кристаллов) подразделяют на: 1) руды чешуйчатых графитов (кристаллический чешуйчатый графит, flak graphite); 2) плотнокристаллические графиты (кристаллически кусковой графит, lump graphite); 3) скрытокристаллические или «аморфные» графиты (amorphous graphite). Руды чешуйчатых графитов по диаметру кристаллов разделяются на крупночешуйчатые (более 0,1 мм) и мелкочешуйчатые (0,001–0,1 мм). Они чаще всего встречаются в месторождениях метаморфогенного и контактово-метасоматического происхождения,

реже в пегматитовых. В плотнокристаллических рудах размер кристаллов тот же, что и в мелкочешуйчатом графите, однако они не ориентированы, что затрудняет расщепление агрегата. Такие руды формировались в магматических и пневматолитовых месторождениях. Величина зерен в скрытокристаллических («аморфный» графит) рудах обычно менее 0,001 мм. Графиты этого типа формировались в метаморфизованных углях.

Общетехнические требования и способы добычи. Наиболее ценны и легко обогатимы руды чешуйчатого и плотнокристаллического графита. Они относятся к промышленным при содержании графита более 2–3 %. Эти руды легко обогащаются флотацией с получением концентрата, содержащего 60 % графита и более. Руды скрытокристаллического графита трудно обогатимы. Без обогащения используется руда с содержанием графита более 70 %.

Различные отрасли промышленности предъявляют свои специфические требования к качеству графитового сырья (руда и концентрат). Состав его варьирует в значительных пределах: графит 40–97 %, летучие компоненты 0,7–7,5 %, зола 1,75–26,5 %. Так, для графита, используемого для производства карандашей, предусмотрены марки ГК-1, ГК-2, ГК-3; зольность его не должна превышать соответственно 1, 3 и 5 %, и выход летучих компонентов – 0,5, 1 и 1,5 %. Для графита марки ГСС (графит специальных сталей) допустимы следующие максимальные содержания (%): зола 10, сера 0,3, медь 0,1, фосфор 0,1, влажность 1, выход летучих 1.

Добыча графита производится как открытым, так и подземным способами. При разработке шахтным способом за минимальную рабочую мощность графитового тела принимается 0,8–1,0 м. Возможность разработки открытым способом зависит от условий залегания графитовых тел и мощности вскрышных пород.

Ресурсы и запасы. В опубликованных источниках нет информации о мировых прогнозных ресурсах и разведанных запасах графита. Крупными запасами скрытокристаллического графита обладают Россия, Мексика, Индия, Республика Корея, КНДР и Австрия, а кристаллического графита – Малагасийская Республика, Германия, Чехия, Шри Ланка, Норвегия и др. Крупными считаются месторождения с запасами графита более 10 млн т, средними – 1–10 млн т и мелкими – менее 1 млн т.

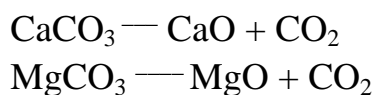
Генетические типы промышленных месторождений. Выделяются четыре типа промышленных месторождений графита: 1) магматический;

2) контактово-метасоматический; 3) высокотемпературный гидротермальный; 4) метаморфический.

Магматические месторождения графита связаны с интрузивными и эффузивными породами разного состава – от кислых и щелочных до ультраосновных. Графит в этих породах обычно рассеян в виде чешуек, встречаются также скопления плотнокристаллического графита в виде штоков, гнезд и жил. Источником углерода для образования графита служат как газообразные составляющие части исходной магмы, так и углерод, ассимилированный магмой из вмещающих пород.

Классическим представителем месторождений этого типа является Ботокольское месторождение чешуйчатого и плотнокристаллического графита в Восточном Саяне. Оно приурочено к массиву щелочных и нефелиновых сиенитов.

Контактово-метасоматические месторождения графита приурочены к зоне контакта карбонатных и глубинных изверженных пород. В процессе их взаимодействия в зоне контакта образуются скарны. При этом происходит диссоциация молекул карбонатов



с образованием силикатов кальция и магния (тремолит, волластонит, гранат, скаполит и др.). Освободившийся углекислый газ в условиях высоких температур при наличии водорода может восстанавливаться до углерода: $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Для месторождений этого типа характерен крупночешуйчатый графит, рассеянный среди скарнированных пород. Иногда возникают значительные скопления в виде тел жило- и штокообразной формы. Содержание графита в рудах достигает 10–20 %. Месторождения этого типа известны в Канаде (Блэк Дональд), Узбекистане (Тас-Казган) и в других странах.

Высокотемпературные гидротермальные месторождения графита обычно связаны с гнейсами и кристаллическими сланцами. Они образовались в результате кристаллизации графита из высокотемпературных гидротермальных растворов, обогащенных летучими компонентами и циркулировавших в открытых трещинах. Рудные тела имеют форму жил и линз мощностью до 2–5 м. Характерен плотнокристаллический графит. К этому типу относятся месторождения Шри Ланки, Малагасийской Республики, Канады (провинции Онтарио и Квебек) и др.

Метаморфические месторождения представляют обычно залежи и линзы богатых руд скрытокристаллического (аморфного) графита в стратифицированных осадочных толщах различного возраста. Образуются они в основном в процессе контактового метаморфизма угольных пластов. При региональном метаморфизме за счет рассеянных в осадочных породах органических остатков формировались месторождения плотно кристаллического или чешуйчатого графита. Наиболее характерны месторождения, образовавшиеся при контактовом метаморфизме углей: Курейское, Ногинское и другие в Красноярском крае, месторождения штата Сонора в Мексике и др.

Геология месторождений графита. В СНГ крупнейшей по запасам является *Тунгусская графитоносная провинция*, расположенная на западной окраине одноименного каменноугольного бассейна. Здесь широко распространены триасовые трапповые силлы и секущие дайки диабазов, вызвавшие графитизацию угольных пластов. Пласты скрытокристаллического графита развиты по правым притокам Енисея – рекам Бахте, Фатьянихе, Нижней Тунгуске и Курейке. На площади около 48 тыс км² выявлено 15 месторождений и промышленных объектов. Наиболее крупным среди них является *Курейское месторождение*. Оно находится по обоим берегам р. Курейки примерно в 110 км от ее устья. Приурочено месторождение к отложениям бургуклинской свиты нижней перми, в разрезе которой известно 6 пластов каменного угля и один пласт графита средней мощностью 15 м. Графитовый пласт прослеживается по обрыву реки на протяжении 500 м. Внутреннее строение графитового пласта достаточно сложное: он состоит из слоев скрытокристаллического графита различного качества и содержит многочисленные линзы и прослои терригенных пород, а также апофизы и жилы диабазового состава. В составе руды, помимо доминирующего скрытокристаллического графита, наблюдаются его мелко- и крупночешуйчатые разновидности, минеральные примеси (кальцит, цеолиты, апатит, хлорит, серицит, магнетит, циркон, силикаты и др.). Текстура руды массивная и сланцеватая. Местами присутствуют графитизированные остатки растений. Руды месторождения содержат (%): углерода 8,45–90,6, золы 5,7–14,3, летучих 0,9–3,0, воды 0,3–0,5. Разведанные запасы графита, пригодные для разработки открытым способом, оцениваются в 10 млн т.

Месторождение Блэк Дональд расположено в Канаде (провинция Онтарио). Оно приурочено к кристаллическим известнякам

протерозойской группы Гренвилл. Промышленная залежь чешуйчатого графита мощностью 3–10 м имеет пластообразную форму и залегает в виде асимметричной синклинальной складки. Южное крыло этой складки прорвано крутопадающими дайками и жилами аплитов и пегматитов, а центральная часть ее осложнена малоамплитудным взбросом. Графитовая залежь подстилается силифицированными, а перекрывается скарнированными известняками. Основные силикатные минералы – полевые шпаты, скаполит и диопсид. В составе пород в небольших количествах присутствуют пирит, слюда, кварц.

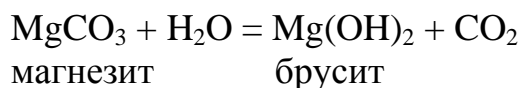
Наиболее богатые участки месторождения, ныне полностью отработанные, содержали до 70–85 % графита, (в среднем 55–65 %). Среднее содержание графита в рядовых рудах – 25 %. В последние годы отрабатывались бедные руды с содержанием графита в среднем около 15 %. По мнению канадских геологов, месторождение Блэк Дональд относится к типу контактово-метасоматических и образовалось на контакте гренвиллских известняков с секущими жилами и дайками аплитов и пегматитов.

Лекция 14. МАГНЕЗИТ И БРУСИТ

Минералогия. Магнезит представляет собой карбонат магния MgCO_3 . Как член изоморфной группы минералов, в которую входят кальцит и доломит, он кристаллизуется в гексагональной сингонии и обладает спайностью по ромбоэдру. Теоретически магнезит состоит из 47,8 % MgO и 52,2 % CO_2 . Практически в нем всегда содержатся разные количества оксидов железа, кальция, алюминия, марганца и кремния. Иногда в ассоциации с магнезитом присутствует гидромагнезит – $\text{Mg}[(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Выделяются два типа природного магнезита: кристаллический и криптокристаллический (аморфный). Кристаллический магнезит образует обычно зернистые агрегаты с размерами кристаллов от долей миллиметра до 1 см. Характерны полосчатые, радиально-лучистые и массивные текстуры. Цвет его белый, серый и желтоватый, твердость 3,5–4,0, плотность 3,02 г/см³. Криптокристаллический магнезит обычно белого цвета и фарфоровидного облика. Образует, как правило, натечные гроздевидные формы, имеет раковистый излом. В отличие от кристаллического магнезита обладает более высокой твердостью (3,5–5,0) и меньшей плотностью 2,9–3,0 г/см³).

Брусит – гидроксид магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$, частично замещается Fe^{2+} (ферробрусит) или Mn^{2+} (манганбрусит). Он кристаллизуется в тригональной сингонии, габитус кристаллов таблитчатый и игольчатый. Твердость – 2,5, плотность – 2,4 г/см³. Слагает почти мономинеральные волокнистые, листоватые и зернистые агрегаты белого цвета с зеленоватым или коричневатым оттенками. Образуется за счет магнезита под воздействием низкотемпературных гидротермальных растворов:



Применение в промышленности. Сырой магнезит используется в основном для получения «каустического магнезита» и огнеупорной магнезии («намертво обожженный магнезит»). В результате обжига при температуре 700–1000 °С магнезит теряет большую часть углекислоты и превращается в порошкообразную массу («каустический магнезит»). При повышении температуры обжига до 1450–1750 °С углекислота исчезает полностью и образуется так называемый «намертво обожженный магнезит» (металлургический магнезит, зинтермагнезит, искусственный периклаз).

«Каустический магнезит» применяется в производстве магнезиального цемента (цемент Сореля). Этот цемент служит связкой для таких органических добавок, как опилки и пробка, и обладает повышенной эластичностью, устойчивостью к абразивным воздействиям, маслам и кислотам, легко поддается распиловке и разделке. Каустическая магнезия используется в производстве огнестойких красок, служит в качестве флюсовой добавки в керамике, необходима в производстве сахара, вискозы и т. д.

«Намертво обожженный магнезит» применяется в качестве металлургического магнезитового порошка для наварки пода и стенок мартеновских печей и изготовления магнезитовых, хромито-магнезитовых и форстеритовых огнеупорных кирпичей для сталелитейного, сернокислотного и цементного производства.

Типы руд. Выделяются руды, сложенные кристаллическим магнезитом, и руды, представленные аморфным магнезитом. Бруситовые руды сложены бруситом (до 80–90 %) с примесью доломита, кальцита и серпентина. Наиболее широкое распространение имеют руды кристаллического магнезита (содержание MgCO_3 до 95–98 %, основные примеси – доломит, кальцит, тальк, кварц и др.).

парагенезис магнезита с опалом. К этому типу относятся месторождения на восточном склоне Среднего и Южного Урала (Халиловское), в Закавказье (Севанская группа месторождений), в Казахстане (Северное Прибалхашье), Канаде, Китае.

Важнейшим геолого-промышленным *типом месторождений брусита* являются неправильные тела бруситов и бруситовых мраморов контактово-метаморфического генезиса среди толщ доломитов вблизи контактов с интрузивами гранитоидов (Кульдурское месторождение в Хабаровском крае, месторождения бруситовых мраморов в Канаде).

Геология месторождений магнезита и брусита. Саткинская группа месторождений кристаллического магнезита является основной базой огнеупорной промышленности России. Она включает 14 месторождений, расположенных на западном склоне Южного Урала близ г. Сатка. Крупнейшие из них – Саткинское, Березовское, Никольское и Ельничное месторождения. Приурочены они к саткинской свите известково-доломитовых пород верхнего протерозоя мощностью 300–500 м. Разрез свиты сложен мергелями, известняками, доломитами, глинистыми сланцами. Стратиформные магнезитовые залежи связаны с карагайским горизонтом верхнесаткинской подсвиты. Промышленные залежи магнезита образуют линейно вытянутую в северо-восточном направлении зону, приуроченную к северо-западному пологому крылу Саткинской синклинали.

В разрезе карагайского горизонта магнезитовые породы прослеживаются на трех стратиграфических уровнях; нижний из них, включающий пластовые неправильной формы залежи, является промышленным, а два верхних представлены небольшими линзами, гнездами, прожилками и вкрапленностью магнезита. Промышленные пластовые залежи по простиранию прослеживаются от 50 до 1700 м, по падению – от 40 до 950 м, средние мощности их – от 13 до 30 м.

Промышленные рудные тела на Карагайском участке Саткинского месторождения на 94–98 % сложены кристаллическим магнезитом. Внутри них наблюдаются прослои, линзочки и гнезда доломита. Рудные тела рассечены разломами и дайками диабазов. Магнезит в приконтактных частях с этими дайками иногда обнаруживает маломощные зоны доломитизации и серпентинизации. В промышленных рудных телах преобладает средне- и крупнозернистый магнезит с размерами зерен 3–10 мм. Мелкозернистые разновидности встречаются в основном в виде маломощных прослоев и гнезд.

Генезис месторождений кристаллического магнезита Саткинской группы является дискуссионным. По мнению А. Н. Заварицкого, они образовались в результате метасоматического замещения доломитов под действием гидротермальных растворов. М. И. Гарань высказал представления об осадочном раннедиагенетическом образовании магнезита. Существуют и иные точки зрения. Месторождения находятся в выгодных горно-технических условиях и разрабатываются открытым способом.

Кульдурское месторождение брусита расположено в Хабаровском крае и приурочено к докембрийскому ядру Хинган-Буреинского антиклинория. Это единственное в СНГ эксплуатируемое месторождение брусита. Ядро этого антиклинория сложено осадочно-метаморфическими образованиями позднепротерозойского возраста, смятыми в опрокинутую складку. На юге площади месторождения породы прорваны палеозойским интрузивом гранитоидов.

Бруситовая минерализация приурочена к экзоконтакту гранитоидного интрузива (плагиограниты и гранодиориты) с магнезиальными карбонатными породами (мурандавская свита). Карбонатные породы превращены в доломитовые мраморы, магнезиальные скарны, кальцифиры и брусититы. Главная промышленная залежь локализована в ядре складки, имеет линзовидную форму длиной до 500 м и шириной до 220 м. Мощность ее около 120 м. Внутреннее строение этой залежи осложнено прослоями, гнездами и линзами карбонатных пород. Собственно брусититы на 80–95% сложены бруситом. Основными примесями в них являются магнезит, доломит, кальцит, серпентин, изредка присутствуют кристаллы форстерита и периклаза. Брусит представлен пластинками и табличками размером до 0,1 мм. По содержанию MgO на месторождении выделяют четыре сорта промышленных руд. Образование брусита связано с процессом контактового метаморфизма под воздействием интрузии гранитоидов.

Лекция 15. СЛЮДЫ

Минералогия. Слюды представляют собой группу диметасиликатов слоистой структуры. Все они кристаллизуются в моноклиальной сингонии, обладают совершенной спайностью по пинакоиду, что позволяет расщеплять их на тончайшие пластинки. Окраска их варьирует от бесцветной до зеленовато-коричневой и почти черной. Плотность слюд – 2,7–3,1 г/см³, твердость – 2–3. Несмотря на относительно широкое распространение слюд в природе, в том числе биотита

(магнезиально-железистой слюды), циннвальдита, лепидолита (литиевых слюд), основное промышленное значение имеют мусковит (калиево-алюминиевая слюда) и флогопит (калиево-магнезиальная слюда). В промышленности используется также гидрослюда – вермикулит.

Мусковит $\text{KAl}_2 [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] (\text{OH}, \text{F})_2$ – белая слюда, кристаллизующаяся в моноклиальной сингонии в виде таблитчатых и столбчатых кристаллов. Характерны чешуйчатые и листовато-зернистые агрегаты. Мусковит обычно бесцветный, зеленоватый и красный. В качестве примесей содержит Fe (1–4 %), Mg (0,2–1,1 %), Na (0,1–0,7 %), а также незначительное количество Mn, Rb, Li, Ba, Ca, W, Ti, и V. Мелкочешуйчатая разновидность мусковита – жильбертит (диаметр пластинок – первые миллиметры), тонкочешуйчатая – серицит (диаметр пластинок – десятые и сотые доли миллиметра).

Флогопит $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3 [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] (\text{OH}, \text{F})_2$ – (флогопит) – огнеподобный (по красноватому оттенку). Минерал окрашен в коричневато-янтарный, зеленовато-коричневый и другие цвета. Основными примесями в нем являются Na, Mn, Cs, Ba, Rb, Li.

Вермикулит $(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3 \cdot [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ характеризуется переменным количеством железа, алюминия и магния. Цвет бронзовый, желтовато-коричневый до темного. В нем наблюдается примесь Ca, Mn и Ti, а также следы Na, K, Ni, Cr, Ba и других элементов. Твердость вермикулита – 2,1–2,8, плотность – 2,5 г/см³.

Физические свойства. Важнейшими физическими свойствами мусковита и флогопита, обуславливающими их промышленное применение, являются: 1) весьма совершенная спайность, позволяющая получать тончайшие (до нескольких микронов) и прочные гибкие листочки; 2) относительно высокая химическая стойкость (особенно у мусковита); 3) термическая стойкость, т. е. способность сохранять при нагревании физические свойства (у мусковита достигает 500–600 °, у флогопита – 1000 °C); 4) высокая электрическая прочность, определяемая напряжением, при котором происходит пробой диэлектрика; 5) прозрачность мусковита и некоторых разновидностей флогопита.

Основным промышленным свойством вермикулита является его способность вспучиваться при нагревании свыше 200 °C с увеличением объема в 8–12 раз (предельно в 30 раз). Кроме того, важным свойством его является высокая способность к катионному обмену.

Применение в промышленности. Главными потребителями мусковита и флогопита являются электротехническая и радиотехническая промышленность. В этих отраслях промышленности

используется около 85–90 % всей добычи качественного сырья (листовая слюда, слюдяные изделия из щипаной слюды). Литовая слюда применяется также в качестве вставок в окна плавильных печей, бытовых приборов, в очках.

Отходы от обработки слюды (скрап), дробленая и молотая слюда используются при изготовлении толя, рубероида и других мягких кровельных изделий, для производства слюдинита и слюдопласта, огнестойких материалов, красок, смазок и т. д.

Вспученный вермикулит находит применение в строительстве как наполнитель звуко- и теплоизоляционных штукатурок и легких бетонов, используется в авиационной и автомобильной промышленности, а также для очистки промышленных вод и улавливания газов.

Типы руд. Состав руд определяется присутствием основных минералов – мусковита, флогопита, вермикулита и др. Они могут быть преимущественно мусковитовыми, флогопитовыми, вермикулитовыми или литиевыми.

Многие месторождения слюд являются комплексными: одновременно со слюдами могут добываться полевые шпаты, кварц, пегматит и др.

Общетехнические требования. При оценке качества слюд исключительное значение придается физическим свойствам минералов и определению выхода отдельных сортов. Ведущим признаком при этом является размер кристаллов слюды, наличие и характер дефектов в кристаллах, особенности химического состава и другие показатели. Из дефектов кристаллов слюды особенно часто встречаются: 1) мелкие включения других минералов; 2) газовой-жидкие включения; 3) волнистость, морщинистость и зажимистость (сплетение слоев, затрудняющих их расщепление); 4) ельчатость (волнистость и трещиноватость в радиальном направлении); 5) трещиноватость; 6) клиновидность (постепенное утолщение пластинок).

Оценка содержания слюды в рудах производится по промежуточным продуктам, получаемым в процессе добычи (забойного сырца) и первичной ее переработки – промышленному сырцу и колотой слюде. *Забойным сырцом* называются отделенные от породы кристаллы слюды с площадью пластин не менее 4 см². Содержание забойного сырца выражается в килограммах на кубический метр породы.

На горных предприятиях в результате очистки забойного сырца от поверхностных загрязнений получают так называемый *промышленный сырец* – кристаллы слюды любой толщины (но не менее 0,1 см),

имеющие с обеих сторон полезную (бездефектную) площадь не менее 4 см². Полученные пластины разделяют на три группы: площадью более 100, от 50 до 100 и от 4 до 50 см². Выход промышленного сырца выражается в процентах от массы забойного сырца.

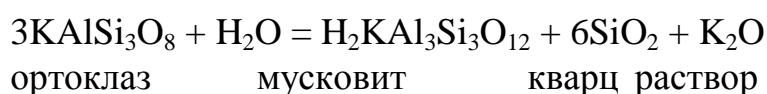
В процессе дальнейшей обработки слюду раскалывают на пластины или подвергают щипке. Полученный продукт называют *листовой слюдой* (sheet mica). Отходы производства листовой слюды – *скрап* (ground mica). Рудничный и фабричный скрап переводят в дробленую (диаметр частиц 160–15 000 мкм) или молотую (диаметр частиц около 300 мкм) слюду.

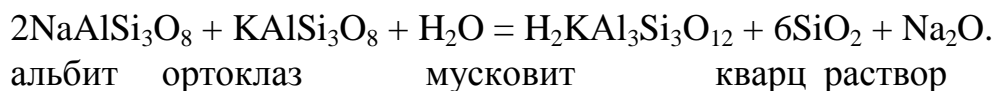
Добыча. Месторождения слюд эксплуатируются, как правило, открытым способом. Основные запасы этого вида минерального сырья сосредоточены в России, Индии, Малагасийской Республике, США, Канаде, Бразилии и ЮАР. Общемировая добыча слюд составляет около 300 тыс т/год, в том числе доля листовой слюды менее 7 тыс т. Крупнейшим мировым продуцентом скрапа является США. Мировая добыча вермикулита находится на уровне 500 тыс. т. Причем более 90 % приходится на долю США и ЮАР.

Условия образования месторождений слюд. Мусковит и флогопит являются продуктами эндогенных процессов, характеризовавшихся высокими температурами, большим давлением и различным химизмом сред. В условиях высокой активности глинозема происходило формирование мусковита, а в условиях повышенной активности магния и железа – флогопита и биотита.

Образование *мелкочешуйчатого мусковита* осуществлялось обычно при кристаллизации различных магматических пород. Однако промышленные месторождения связаны только с телами аляскитовых гранитов (содержание слюды до 15 % и более).

Крупнокристаллический листовой мусковит формировался, как правило, в составе тел гранитных пегматитов, распространенных в полях метаморфических докембрийских толщ амфиболитовой фации регионального метаморфизма. Крупные кристаллы мусковита являются результатом воздействия постмагматических пневматолито-гидротермальных флюидов, метаморфизовавших пегматиты с разрушением полевых шпатов и появлением так называемого кварц-мусковитового комплекса:





Формирование промышленной *флогопитовой минерализации*, связанной с массивами ультраосновных щелочных пород, происходило в результате инфильтрационного замещения ультрабазитовых пород и окружающих их магматических метасоматитов.

Вермикулит образовывался в процессе гидратации флоготипа и биотита в зоне гипергенеза при формировании коры выветривания.

Геолого-промышленные типы месторождений. Несмотря на многообразие условий формирования, промышленные типы месторождений слюд немногочисленны. В настоящее время главное значение имеют следующие геолого-промышленные типы месторождений:

1. Согласно пластовые и четковидные залежи, жильные и неправильной формы тела мусковитовых плагиоклазовых и плагиоклаз-микроклиновых гранитных пегматитов в древних высокометаморфизованных толщах. Размеры этих рудных тел по простиранию достигают до сотен – первых тысяч метров, по мощности – от 2–5 до 30–50 м. К этому типу относятся месторождения Мамско-Чуйской и Карело-Кольской провинций в России, в штатах Бихар, Раджастан и Андхра-Прадеш в Индии, в Бразилии, Зимбабве и других странах.

2. Линзы, гнезда, жилы, неправильной формы метасоматические залежи крупнокристаллического флогопита в карбонатных комплексах ультраосновных щелочных пород. Размер рудных тел и залежей составляет десятки и сотни метров. Руды нередко являются комплексными; наряду с флогопитом из них могут извлекать апатит, магнетит, бадделеит и другие виды минерального сырья. Наиболее характерные месторождения – Ковдор, Гулинское, Маган в России, Якупиранга в Бразилии, Лулекоп в ЮАР и др.

3. Линзовидные, пластообразные, гнездовые, жильные и столбообразные залежи крупнокристаллического флогопита среди диопсидовых, кварц-диопсидовых, скаполит-диопсидовых пород, пироксен-роговообманковых сланцев, доломитов, кальцифиров в составе древних высокометаморфизованных гранито-гнейсовых комплексов. К этому типу принадлежат месторождения Алданской слудоносной провинции в России, Памирской провинции в Таджикистане, ряд месторождений в пределах Канадского кристаллического щита.

4. Пластовые, линзовидные, жило- и штокообразные залежи вермикулита в корях выветривания массивов ультраосновных (пироксенитовых) и ультраосновных щелочных пород (месторождение Ковдор в России, Либби в США и др.).

Геология месторождений слюд. В США основные месторождения слюды расположены в штате Северная Каролина. Одним из наиболее крупных среди них является *месторождение мелкочешуйчатого мусковита Спрус Пайн*. Оно разрабатывается с 1863 г. Район месторождения сложен слюдистыми и амфиболитовыми гнейсами и сланцами, а также подчиненными доломитовыми сланцами докембрийского возраста. Все эти породы рассечены небольшими раннепалеозойскими телами аляскитовых гранитов и пегматитов.

Источником слюды являются в основном пегматиты. Слюдоносные пегматиты здесь более мелкие, чем в других регионах мира, и в среднем составляют 1,5–10,0 м в поперечнике. Они приурочены к кристаллическим сланцам, а не к аляскитам. Иногда пегматитовые тела расположены близко друг от друга и, как правило, залегают согласно простиранию пластов кристаллических сланцев. Пегматиты характеризуются зональным строением. Пегматитовые тела с размером в поперечнике менее 2 м разрабатываются целиком (производится валовая выемка), а более крупные – разрабатываются выборочно по зонам. Содержание слюды в добытом минеральном сырье составляет 2–6 %, на богатых участках достигает 30–40 %. Только 5–8 % добытой слюды пригодно для получения листовой слюды, а остальные 92 % или более используются в виде слюдяного скрапа.

На этом месторождении объектом отработки являются также аляскитовые граниты, которые в приповерхностных условиях подверглись каолинизации. В качестве побочных продуктов получают полевой шпат, кварц и каолин. Запасы мелкочешуйчатого мусковита до глубины 15 м оцениваются в 50 млн т, а полевого шпата – в 200 млн т. Основная масса мелкочешуйчатого мусковита, добываемого на месторождении Спрус Пайн, используется в качестве инертных наполнителей промывочных жидкостей при бурении скважин.

Мамско-Чуйская слюдоносная провинция находится на севере Иркутской области и связана с гигантским поясом докембрийских кристаллических гнейсов и сланцев. Длина этого пояса около 150 км, ширина – 20 км. Здесь широко распространены пегматиты, проявлены дайки гранит-аплитов и аплитов. В разрезе мамской свиты, вмещающей слюдоносные пегматиты, главную роль играют кварциты, биотитовые и

гранат-слюдяные плагиогнейсы и сланцы, известково-силикатные породы, графитовые и скаполитовые сланцы, а также мраморы. Все эти породы смяты в брахиформные и линейные складки северо-восточного простираения.

Морфология слудоносных пегматитовых тел весьма разнообразна: жилы, линзы, штоки, всевозможные неправильные тела. Размеры их могут достигать нескольких сотен метров в длину при мощности от нескольких метров до первых десятков метров. Минеральный состав пегматитов следующий: плагиоклаз, микроклин-пертит, кварц, биотит и мусковит.

Выделяется несколько разновидностей мусковита. В пегматитах блоковой (пегматоидной) структуры обычно развит крупнокристаллический мусковит-I с размерами кристаллов пластин от 0,2–0,3 до 1–1,5 м. Такие кристаллы имеют, как правило, дефекты (ельчатость, трещиноватость и др.). По границам зон в пегматитовом теле либо в виде отдельных гнезд появляется мусковит-II, тесно связанный с так называемым кварц-мусковитовым комплексом. Характерны кристаллы пластинчатой и столбчатой формы размером до 15–30 см. Эта разновидность мусковита является наиболее ценным сырьем. Мусковит-III (трещинная слюда) образуется по биотиту, обычно выполняет трещины и характеризуется относительно невысоким качеством.

Содержание забойного сырца на участках, обогащенных мусковитом-I, достигает 100–300 кг/м³, а мусковитом-II – 50–30 кг/м³. В пегматитовых телах постоянно присутствует полевой шпат, который является ценным и весьма дефицитным керамическим сырьем.

Лекция 16. АЛМАЗЫ

Минералогия. Алмаз – природная полиморфная модификация углерода, кристаллизующегося в кубической сингонии. Характерны октаэдрические, кубические и тетраэдрические кристаллы. Грани кристаллов алмаза редко бывают плоскими и гладкими, чаще они выпуклые и покрыты фигурами роста или растворения в виде разнообразной формы выступов и углублений. Имеет идентичный с графитом химический состав. Алмаз, благодаря более плотному расположению своих атомов в кристаллической решетке, резко отличается от него своими свойствами: обладает наибольшей твердостью из всех известных в природе минералов (10 по шкале Мооса), высоким

показателем преломления (2,42), сильной дисперсией (0,057–0,063) и углом полного внутреннего отражения ($24^{\circ} 50'$). Алмаз обладает совершенной спайностью по октаэдру, что обуславливает его хрупкость. Благодаря своим оптическим свойствам он имеет так называемый алмазный блеск и исключительную игру цветов.

Алмаз нерастворим в кислотах и щелочах, а поэтому является весьма устойчивым минералом. Он хорошо проводит тепло и плохо – электричество. Плотность алмаза составляет $3,52 \text{ г/см}^3$, температура плавления – $3\,700\text{--}4\,000^{\circ}\text{C}$, температура сгорания на воздухе – $850\text{--}1\,000^{\circ}\text{C}$. При нагревании до $1\,200\text{--}1\,500^{\circ}\text{C}$ без доступа воздуха алмаз переходит в графит. В ультрафиолетовых и рентгеновских лучах и при ионной бомбардировке он люминесцирует.

Алмазы бывают бесцветные и прозрачные («чистой воды»), бесцветные с голубым, зеленым, желтым, розовым, коричневым и другими оттенками и окрашенные («фантазийные») – синие, зеленые, желтые, красные. В кристаллах алмаза нередко наблюдаются различные примеси: твердые, жидкие и газообразные. Наиболее часто встречающиеся твердые примеси – графит, пироп, магнезит, оливин и др.

В метеоритах и импактитах иногда наблюдается редкая мелкокристаллическая гексагональная разновидность алмаза – *лонсдэлит*. Цвет его сероватый, блеск алмазоподобный, плотность $3,2 \text{ г/см}^3$.

Виды алмазного сырья. Существует два вида алмазного сырья: ювелирные и технические алмазы. *Ювелирные алмазы* – это относительно крупные кристаллы совершенной формы, окраски, исключительной прозрачности, без трещин, включений и т. д. Масса их измеряется в каратах (1 карат равен 0,2 г). Минимальная масса ювелирных алмазов составляет 0,05 карата. Крупными считаются камни более 10 каратов. Если масса алмаза превышает 50 каратов, то ему присваивается название. Самый крупный в мире алмаз Куллинан (масса 3 106 карат, размеры 10 x 6,5 x 5 см) голубого цвета был обнаружен в 1905 г. в южноафриканской трубке Премьер.

Алмазы технические разделяются на четыре сорта: борт, баллас, карбонадо и конго. Борт – это мелкие, сильноокрашенные, трещиноватые или разрушенные кристаллы, которые непригодны для ювелирных изделий. Баллас – очень прочные и крепкие зернистые агрегаты темных кристаллов с радиальной структурой. Карбонадо («уголь» или «черный алмаз») – очень крепкий, прочно связанный агрегат мелких (обычно

черного цвета) кристалликов алмаза. Конго – наиболее низкосортные мелкие алмазы, пригодные лишь в качестве абразивного материала.

Дефицит алмазного сырья привел в 1950-х гг. к появлению их синтетических аналогов. Мелкие зерна технических алмазов получают из графита при высокой температуре и давлении в присутствии металлических катализаторов. Производство их в значительных масштабах налажено в США, России, ЮАР, Японии, Швеции и некоторых других странах.

Применение в промышленности. Ювелирные алмазы используются для изготовления всевозможных ювелирных изделий. Крупные алмазы распиливают, подвергают огранке и шлифовке. Наиболее распространенные формы огранки – бриллиантовая, ступенчатая и др. Ограненные алмазы носят название бриллиантов.

Технические алмазы применяются для изготовления буровых коронок, необходимых при бурении твердых горных пород. Они используются для изготовления всевозможных сверл, резцов, подшипников, фильер для волочения проволоки и т. д. В настоящее время более 75 % всех технических алмазов идет на получение порошка и на изготовление шлифовальных кругов, дисковых пил и др. Объемы и области применения алмазов в технике возрастают из года в год. Они используются в электронной, авиационной, космической и других отраслях.

Ресурсы и запасы. Ресурсы алмазов в мире (без России) на 1.01.1997 г. составляют, по данным ГНПП «Аэрогеология» Министерства природных ресурсов Российской Федерации, более 4,8 млрд каратов. Ресурсы России достигают не менее половины мировых.

Данные по запасам алмазов как в целом по миру, так и по отдельным странам крайне ограничены и всегда носят самый общий характер. По оценке «Аэрогеологии», общие запасы алмазов в мире составляют более 1,2 млрд каратов. Наиболее крупными запасами этого вида минерального сырья обладают Ангола, Ботсвана, ЮАР, Канада и Австралия (табл. 8).

Добыча и производство. Основная часть алмазов добывается из кимберлитов посредством шахт и открытым способом из россыпей. В Намибии организована добыча алмазов из подводных морских россыпей.

В настоящее время около 70 % стоимости добытых в мире алмазов приходится на Африку. Странами-лидерами по добыче природных алмазов (млн кар) являются: Австралия – 41,99; Заир – 22,24; Ботсвана – 17,71; ЮАР – 9,88.

Генетические типы промышленных месторождений. Алмазы встречаются в месторождениях двух генетических типов: 1) собственно магматических и 2) россыпях.

Таблица 8

Ресурсы и общие запасы природных алмазов (АП), в том числе ювелирных (АЮ) (млн каратов), и среднее содержание АП в рудах коренных месторождений (кар/т) и россыпях (кар/м³) [8]

Страна, часть света	Ресурсы	Запасы общие АП	Их % от мира	Запасы общие АЮ	Их % от мира	Содержание в коренных	Содержание в россыпях
1	2	3	4	5	6	7	8
Азия	52	5,5	0,45	2,38	0,56	—	—
Индия	1	0,2	0,02	0,18	0,04	0,12	0,2
Индонезия	1	0,3	0,02	0,2	0,05	—	0,4
Китай	50	5	0,41	2	0,47	1	0,3
Африка	3243,1	893,85	73,95	343,9	81,36	—	—
Ангола	800	240	19,85	120	28,39	0,2	0,5
Ботсвана	700	400	33,09	120	28,39	0,8	—
Габон	0,1	0,05	0	0,04	0,01	—	—
Гана	20	14	1,16	2	0,47	—	1,15
Гвинея	50	1	0,08	0,8	0,19	—	0,22
Заир	300	50	4,14	4	0,95	—	20–72
Зимбабве	20	9	0,74	5,5	1,3	0,28	—
Кот д'Ивуар	5	0,5	0,04	0,4	0,09	—	0,34
Лесото	30	8	0,66	4	0,95	0,3	—
Либерия	10	1,5	0,12	1	0,24	—	0,25
Мали	10	0	0	0	0	—	—
Намибия	1000	12,5	1,03	12	2,84	—	0,05

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
Сьерра-Леоне	15	5	0,41	4	0,95	0,4	0,05
Танзания	50	4	0,33	3	0,71	0,1	—
ЦАР	30	3	0,25	2	0,47	—	0,36
ЮАР	200	145	12	65	15,38	0,85	0,15
Америка	817	130,75	10,82	46,4	10,98	—	—
Бразилия	50	11	0,91	4	0,95	—	0,5
Венесуэла	30	5	0,41	1	0,24	—	0,2
Гайана	5	0,5	0,04	0,2	0,05	—	0,2
Канада	700	112	9,27	40	9,46	1,9	—
Колумбия	2	0,5	0,04	0,2	0,05	—	0,2
США	30	1,75	0,14	1	0,24	0,1	—
Австралия	705	178,1	14,78	30	7,1	3	0,8

Собственно магматические месторождения алмазов тесно связаны с продуктами платформенного магматизма – кимберлитами и лампроитами, представляющими своеобразные изверженные породы ультраосновного состава. Они выполняют так называемые трубки взрыва – конусообразные тела, которые в плане обычно имеют эллипсовидную форму. В строении трубок взрыва различают кратерную, диатремовую и канальную части. Кратерные части трубок обычно выполнены обломочным материалом, поступившим с их бортов. В разрезах многих трубок они обычно эродированы. Диатремовые части нередко сложены кимберлитами или лампроитами нескольких генераций и их туфами, а также обломками самых различных пород, прорванных трубками взрыва. Канальные части выполнены массивными или флюидальными кимберлитами с отчетливым ороговикованием в экзоконтактах.

Кимберлиты обычно представляют собой серпентинизированную и карбонатизированную ультраосновную породу с повышенным содержанием щелочей (калий преобладает над натрием), глинозема и титана и имеющую порфировую либо кластически порфировидную структуру с вкрапленниками оливина в окружении тонкозернистого агрегата серпентина, талька, кальцита, перовскита, флогопита, магнетита, ильменита и других минералов. Характерно присутствие ксенолитов – вмещающих пород, автолитов – округлых включений кимберлитов ранних генераций, а также типоморфных акцессорных минералов (пиропы, хромдиоксида, хромшпинелида, пикроильменита, энстатита и др.). В лампроитах значительно повышается роль калия и появляется лейцит.

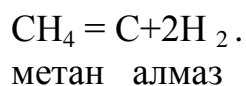
Вблизи земной поверхности кимберлит подвергается выветриванию и в условиях теплого влажного климата разрушается, гидратируется и приобретает при этом темную синевато-зеленоватую окраску («синяя земля»). В процессе дальнейшего разрушения и окисления кимберлит превращается в дезинтегрированную землистую массу, окрашенную гидрооксидами железа в желтоватый цвет («желтая земля») с зернами граната, хромшпинелидов и других устойчивых минералов, в том числе алмаза. В южноафриканских трубках мощность зоны «синей земли» может достигать 60 м, а зоны «желтой земли» – до 20 м. В условиях арктического климата элювий кимберлитов представлен слоем щебенки мощностью до 3–5 м.

Размеры кимберлитовых трубок разнообразны – от нескольких десятков до нескольких сотен метров в поперечнике. Самой крупной

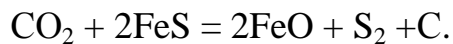
является кимберлитовая трубка Мвадуи в Танзании, размер которой на поверхности составляет 2,52 x 1,07 км. Глубина разработки кимберлитовых трубок составляет сотни метров, изредка до 1000 м. Очень богатые трубки содержат 3–4 карата на 1 т кимберлита. Содержание алмазов в трубках с глубиной, как правило, снижается. В ЮАР минимальное промышленное содержание алмазов в трубках составляет около 0,1 кар/т. Наиболее высокие концентрации алмазов обычно наблюдаются в самой верхней выветрелой зоне («желтой земле»). Промышленные алмазоносные трубки известны в ЮАР (Премьер, Де-Бирс, Кимберли, Ягерсфонтейн, Хелам и др.), Лесото (Као, Летсенг-ла-тераи), Ботсване (Орапа), России (Мир, Зарница, Удачная и др.), Австралии (АК-1, Эллендейл-6, Калвиньярдах, Скерринг, Хадфилс и др.) и ряде других стран.

Россыпные месторождения алмазов более широко распространены, чем месторождения кимберлитовых трубок. Среди них выделяются современные и древние россыпи. Основное промышленное значение имеют современные аллювиальные и морские россыпи. В аллювиальных россыпях алмазы концентрируются в галечниках, гравелитах и песках. Протяженность таких россыпей может достигать нескольких десятков километров, концентрации алмазов – десятки каратов в 1 м³ песков. Классическим районом распространения современных россыпей являются Касаи-Лунда (верхнее и среднее течение р. Касаи и ее притоков в Анголе и Заире), Западная Африка (Гана, Сьерра-Леоне, Гвинея, Мали), долины рек Смоук-Крик и Лаймстон-Крик в Западной Австралии.

Условия образования. Вопрос об образовании алмазов в трубках взрыва является пока не полностью решенным. По экспериментальным и теоретическим данным инверсионная кривая графит-алмаз достигает значений в 35 кБар и 800 °С, что соответствует глубинам около 100–110 км на континентах (это принимается за верхнюю границу кристаллизации алмаза). В связи с этим большинство геологов связывает образование алмазов с мантийными условиями за счет углеводородов:



Ряд геологов (В. С. Трофимов и др.) полагает, что кимберлиты могли формироваться на глубине 3–5 км в промежуточных магматических камерах щелочно-ультраосного магматизма, а алмазы в них кристаллизовались за счет свободного углерода либо углекислоты с участием сульфидов железа в качестве катализаторов:



алмаз

Эпохи кимберлитового магматизма. В докембрийскую эпоху алмазоносные кимберлиты не получили широкого распространения. В Африке рифейскими считаются трубки Премьер и аналогичные, но менее известные Шуллер, Мотрез, Франспорт и некоторые другие. Кимберлиты трубки Премьер имеют возраст 1,4 млрд лет. Рифейскими являются крупнейшие трубки Западной Австралии (Аргайл), Индии (Инота, Маджгаван).

В раннепалеозойскую эпоху алмазоносные магматиты формировались на Сибирской, Южно-Китайской и Африканской платформах. На Сибирской платформе в «салаирскую» фазу мощного корообразования и кимберлитового магматизма образовались трубки Монтчеллитовая и Дружба, в «таконскую» фазу – трубки Мир, Коллективная, Светлая, Загадочная, Комсомольская, Новинка, Рассвет и др. На Южно-Китайской платформе раннепалеозойские диатремы и дайковые тела кимберлитов достоверно установлены в среднем течении р. Янцзы. В Африке известно кимберлитовое поле Венеция Северного Трансвааля (ЮАР). Две трубки этого поля разрабатываются, содержание алмазов в них – около 1 кар/т.

В позднепалеозойскую эпоху выделялись два пика алмазоносного магматизма: 1) средне-позднедевонский и 2) раннекаменноугольный. В среднем и позднем девоне формировались диатремы Золотицкого поля Архангельской области, Приазовья, большинства районов Сибирской платформы, а также кимберлитовые тела Китайско-Корейской и Южно-Китайской платформ. В пределах Китайско-Корейской платформы выявлено девять кимберлитовых полей. В раннем карбоне продолжал проявляться кимберлитовый магматизм на севере Архангельской области, в Якутской алмазоносной провинции и в пределах Китайско-Корейской платформы (Восточно-Китайский палеорифт).

В мезозойскую эпоху установлены три пика кимберлитового магматизма: 1) поздне триасовый-раннеюрский; 2) раннемеловой; 3) поздне меловой. В позднем триасе–ранней юре проявился кимберлитовый магматизм в Калахарийской алмазоносной провинции (трубки Финш, Свартрюгенс, возраст их 130–170 млн лет). Юрскими являются многочисленные трубки в Сьерра-Леоне, Гвинее, Либерии, Кот д'Ивуаре, большинство диатрем Канады (в том числе алмазоносная площадь Лак-ле-Гра). В позднем триасе-юре формировались диатремы Средне-Оленекского района. С раннемеловым магматизмом связано образование кимберлитовых трубок в Конго, ЮАР (трубки Робертс

Виктор, Нью-Эландс и др.), Канаде (провинция Саскачеван), России (Бееичиме-Куойкское поле в Якутской алмазоносной провинции). В позднем мелу формировалась часть диатрем в Зимбабве, ЮАР, США и Китае.

В *кайнозойскую эпоху* интенсивно проявлялся кимберлитовый и лампроитовый магматизм на западе Австралии. Возраст алмазоносных лампроитов калий-аргоновым методом датируется в 18–23 млн лет. Известно около 100 интрузивов. Часть диатрем алмазоносна. На Южно-Китайской платформе с «гималайским орогенным циклом» связано становление кимберлитовых жил группы Тумен (провинция Хунань).

Геология алмазоносных провинций. Одной из крупнейших в мире является *Западно-Австралийская алмазоносная провинция*. Она находится в пределах Северо-Австралийского щита – в зоне складчатых структур, окаймляющих с юго-запада и востока архейский кратон Кимберли. Здесь выявлены три рудных района: Северный Кимберли, Восточный Кимберли (Аргайл) и Западный Кимберли.

Особенностью этой провинции является широкое развитие промышленно алмазоносных диатрем, представленных лампроитами – щелочными породами, в составе которых помимо оливина, флогопита и лейцита присутствуют диопсид, шпинелиды переменного состава, ильменит, циркон и другие минералы. Гранаты в лампроитах исключительно редки. Лампроиты в отличие от кимберлитов характеризуются повышенной калиевоcтью (K_2O от 4 до 12 %) и кремнекислотностью, но пониженной магнезиальностью.

Основное промышленное значение имеет Восточный Кимберли (Аргайл). Здесь выявлены как лампроитовые, так и кимберлитовые тела. Морфологически они представляют трубки (штоки, силлы, дайки), прорывающие метаморфические протерозойские толщи, а также палеозойско-мезозойские образования. Площадь трубок на земной поверхности достигает до 10,01–1,3 км². Они, как правило, не эродированы. В разрезе трубки обычно имеют форму «бокала шампанского».

В Восточном Кимберли находится главное промышленное месторождение алмазов Австралии – трубка АК-1. В плане она вытянута на северо-восток: длина ее – 1,6 км, ширина – от 50 до 600 м, площадь выхода на поверхность – 0,45 км². Кратерная часть ее эродирована. Большая часть трубки выполнена песчаным туфом – плотной литокристаллокластической породой, содержащей обломки лампроита и

округлые зерна ксеногенного кварца из вмещающих протерозойских пород. Наблюдаются также внутритрубочные жильные лампроиты. Наиболее высокая алмазоносность (6,1–6,8 кар/т) свойственна песчаным туфам в южной части трубки. Среднее содержание алмазов в приповерхностной зоне составляет 5,55 кар/т, с глубиной возрастает до 12,4 кар/т. Достоверные запасы руды до глубины 200 м оцениваются в 61 млн т при среднем содержании алмазов 6,8 кар/т. Качество алмазов трубки АК-1 невысокое: средняя масса алмазов составляет 0,08 карат, на долю ювелирных алмазов приходится лишь около 5 %. Самый крупный алмаз имел массу 14,34 карата. Бесцветных кристаллов немного, доминируют коричневые и желтые разновидности.

С трубкой АК-1 пространственно связаны две промышленные алмазоносные аллювиальные россыпи в долинах рек Смоук-Крик и Лаймстон-Крик. Эти россыпи прослеживаются на расстояние до 35 км. Мощность продуктивных аллювиальных отложений составляет 1–5 м, содержание алмазов – до 10–12 кар/м³ песка.

Перспективы алмазоносности территории Беларуси. Впервые алмазы на территории Беларуси были обнаружены в середине 1970-х гг. в семилукских отложениях франского яруса в Барсуковской скв. 32 (размер зерна алмаза 0,10 х 0,15 мм). В 1980-х гг. были выявлены локальные магнитные аномалии «трубчатого» типа (около 100) в пределах Северо-Припятского плеча. Трубки взрыва в плане представляют изометричные тела с широким кратером (250 х 500, 400 х 900 м) и узким жерлом (80 х 200 м). Все они сгруппированы в Жлобинское, Уваровичское, Светиловичское, Стрешенское и Стародорожское поля. Диатремы Жлобинского поля изучены буровыми работниками и комплексом аналитических исследований. В его пределах установлены четыре куста: Рогачевский, Лучинский, Гадиловичский и Антоновский, включающие от 3 до 7 трубок и одну обособленную трубку – Сеножатку. В сложении трубок принимают участие породы щелочно-ультраосновной и щелочно-базальтоидной серий. В породах диатрем выявлены хромшпинелиды, пиропы, хромдиопсиды. По данным БелНИГРИ, в трубках Антоновская, Веточка и Цупер обнаружены единичные зерна алмазов розового цвета.

Л е к ц и я 17. КАМНЕСАМОЦВЕТНОЕ СЫРЬЕ

Общие сведения. Под термином «цветные камни», или «камнесамоцветное сырье», понимается разнообразная и обширная группа минералов и горных пород (в том числе органического происхождения и синтетические аналоги), обладающих специфическими эстетическими, техническими и экономическими свойствами, предопределившими их практическое использование. К этой группе относятся все минералы и породы, которые в литературе известны под наименованием самоцветы, драгоценные, полудрагоценные, декоративные, благородные, ювелирные, поделочные, ювелирно-поделочные и другие камни, а также их искусственные аналоги и имитации. Изучением камнесамоцветного сырья и их генезиса занимается специальная научная дисциплина – геммология.

Классификация камнесамоцветного сырья. В зависимости от сочетания физических свойств, определяющих эстетический облик минерала, частоты его встречаемости в природе и соответственно стоимости цветные камни принято разделять на три группы: ювелирные, поделочные и ювелирно-поделочные (табл. 9).

Применение в промышленности. Ювелирные (драгоценные) камни применяются для изготовления дорогих украшений. Для этих целей используются редкие, эффектные, преимущественно прозрачные кристаллы. Их отличают три основных свойства: красота, долговечность, редкость встречаемости в природе. После обработки все драгоценные камни, за исключением алмаза, сохраняют свои названия. Масса их обычно выражается в каратах, в редких случаях – в граммах.

Ювелирно-поделочные камни по своим стоимостным характеристикам значительно уступают ювелирным. Они используются, с одной стороны, для изготовления всевозможной ювелирно-галантерейной продукции (кабошонов, плоских вставок и т. п.), а с другой – являются сырьем для камнерезных поделок. Физической единицей измерения сырья этой группы является килограмм.

Поделочные камни отличаются также яркостью окраски и всевозможной текстурой, что позволяет использовать их после соответствующей обработки. Применяются они в основном в художественной промышленности для изготовления художественно-бытовых и сувенирных камнерезных изделий (ваз, пепельниц, портсигаров), мозаики, резных камней, картин из натурального камня и т. п. Поделочные камни – великолепное сырье для художественного оформления интерьеров, облицовки, фасадов и стен дворцов, храмов и

других архитектурных сооружений. В этой группе главенствующую роль играют горные породы. Сырье измеряется в центнерах и тоннах.

Цветные камни, используемые для производства технических деталей и изделий, имеют общее название – «технические камни». Они применяются для производства мелких каменных деталей для точных приборов (подшипники, втулки, подпятники, подушки, опорные призмы, часовые камни), лабораторного оборудования (агатовые и яшмовые ступки, пестики) и в других отраслях промышленности (фильеры, гладильные валики, нитеводители и т. п.). Качество технических камней определяется однородностью строения и окраски, отсутствием трещин, полостей и включений. Естественные и синтетические технические камни используются в квантовых генераторах и усилителях (рубин, изумруд), в космических аппаратах (сапфир, берилл и др.).

Таблица 9

Классификация цветных камней [28]

Группа	Порядок	Минерал, горная порода
Первая: ювелирные (драгоценные камни)	I	Рубин, изумруд, алмаз, синий сапфир
	II	Александрит, оранжевый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал, благородный жадеит
	III	Демантоид, шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родолит, турмалин
	IV	Хризолит, циркон, желтый, зеленый, розовый берилл, кунцит, бирюза, аметист, пироп, альмандин, лунный и солнечный камень, хризопраз, цитрин
Вторая: ювелирно-поделочные камни	I	Лазурит, жадеит, нефрит, малахит, чароит, янтарь, горный хрусталь (дымчатый и бесцветный)
	II	Гематит-кровавик, родонит, непрозрачные иризирующие полевые шпаты (беломорит и т. п.), иризирующий обсидиан, эпидот-гранатовые и везувиановые родингиты-жады
Третья: поделочные камни		Яшма, мраморный оникс, обсидиан, гагат, окаменелое дерево, лиственит, кремнь рисунчатый, графический пегматит, флюорит, авантюриновый кварцит, селенит, агальматолит, цветной мрамор и т. д.

Мировой рынок камнесамоцветного сырья. Объемы ежегодной мировой добычи и реализации цветных камней не поддаются точному учету из-за отсутствия достоверной статистической информации, существования нелегальной добычи, многократных перепродаж камней, значительной разницы в цене между камнем в сырье и обработанном виде. Стоимость добываемых драгоценных камней зависит от многих факторов. На мировом рынке (1997–2000) наиболее высоко ценились изумруд, рубин, alexandrit, гранат-демантоид и сапфир. Стоимость отдельных камней массой 1–10 каратов варьирует от 500–1 000 до 20 000–50 000 дол. США.

Ресурсы. Крупные месторождения цветных камней, особенно ювелирных и ювелирно-поделочных, известны в немногих странах (табл. 10). Наиболее разнообразные виды камнесамоцветного сырья имеются в России, Австралии, Бразилии, США, Танзании и ЮАР. Россия издавна славилась своими самоцветами. Однако к настоящему времени запасы многих месторождений истощены. Из числа известных самоцветов продолжают добываться топазы, изумруды, бериллы, демантоиды, alexandritы, родониты, саянский нефрит, байкальский лазурит. В последние 30–40 лет открыты новые месторождения цветных камней на Полярном и Приполярном Урале, Кольском полуострове, в Восточной Сибири и Приморье. Среди новых российских самоцветов, получивших известность в мире, выделяются ювелирный хромдиопсид, чароит, а также светло-зеленые, травянисто-зеленые и снежно-белые саянские и витимские нефриты, декоративный датолит-волластонит-геденбергитовый скарн Приморья, кольский амазонит, ювелирный жадеит и др.

Таблица 10

**Ведущие страны-поставщики основных видов цветных камней
на мировой рынок [50]**

Страна	Основной вид цветного камня	Страна	Основной вид цветного камня
1	2	3	4
Австралия	Благородный опал, сапфир, изумруд, хризопраз, родонит	Малагасийская Республика	Топаз, аквамарин, турмалин, кунцит
Афганистан	Лазурит, кунцит	Мозамбик	Топаз, аквамарин, турмалин, кунцит
Бирма	Жадеит-империал, рубин,	Польша	Янтарь

<i>Окончание табл.</i>			
1	2	3	4
Бразилия	Изумруд, топаз, аквамарин, турмалин, кунцит, аметист, агат, цитрин	Россия	Изумруд, топаз, берилл, демантоид, родонит, александрит, нефрит, лазурит, аметист, амазонит, хромдиопсид, чароит, жадеит, янтарь
Заир	Малахит	США	Топаз, аквамарин, турмалин, кунцит, хризолит, нефрит, агат, бирюза
Зимбабве	Изумруд, аметист	Таиланд	Рубин, сапфир
Индия	Рубин, сапфир, изумруд, агат	Танзания	Танзанит, рубин, сапфир, топаз, аквамарин, турмалин, кунцит, родонит
Иран	Бирюза	Уругвай	Аметист
Канада	Нефрит	Шри-Ланка	Рубин, сапфир
Китай	Бирюза, нефрит	ЮАР	Изумруд, пироп, суджилит, тигровый глаз
Колумбия	Изумруд	Замбия	Изумруд

Генетические типы промышленных месторождений. Камнесамоцветное сырье встречается почти во всех генетических типах месторождений, принадлежащих эндогенной, экзогенной и метаморфогенной сериям. Наиболее обширна группа месторождений *эндогенной серии*.

Собственно магматические месторождения представлены алмазами и сопутствующими им пиропами и хризолитами (прозрачная зеленая разновидность оливина) в кимберлитовых трубках, а также месторождениями магматических горных пород (лабрадорит, амазонитовый гранит и др.).

Пегматитовые месторождения цветных камней образовались за счет высокотемпературных растворов, богатых летучими компонентами, выделявшихся либо в процессе кристаллизации пегматитовой породы и давших изолированные, так называемые миароловые, полости, либо имеющие постмагматическое происхождение. Среди гранитных пегматитов наибольшее значение имеют хрустале- и флюоритоносные, топазо-берилловые и десилицированные пегматиты. С постмагматическими растворами связывают образование полостей

растворения в пегматитовых телах и кристаллизационное выделение в них прозрачных разновидностей минералов совершенной формы. Такие полости известны как «погреба», «карманы», «занорыши». В них нередко присутствуют крупные кристаллы аквамарина, мориона, раухтопаза, аметиста, берилла, турмалина, флюорита и др. Пегматиты с драгоценными камнями известны на Урале, в Забайкалье, Казахстане, США, Бразилии, Австралии и др.

Десилицированные пегматиты связаны с ультраосновными породами, которые под воздействием газовой-жидких эманаций превратились в биотитовые породы, содержащие гнездообразные скопления кристаллов изумруда, александрита и фенакита (винно-желтый прозрачный силикат бериллия). В них иногда присутствует корунд и его драгоценная прозрачная разновидность – рубин.

Карбонатитовые месторождения как источник камнесамоцветного сырья изучены недостаточно. С ними связаны прожилки и вкрапленники прозрачного зеленого оливина – хризолита.

Контактово-метасоматические месторождения камнесамоцветного сырья формировались в зоне контакта карбонатных пород с интрузивными магматическими телами. Известны крупные месторождения благородной шпинели ($MgAl_2O_4$), образовавшиеся на контакте гранитоидных интрузий с доломитами (Бадахшанское месторождение в Таджикистане). Благородная шпинель находится в парагенезисе с гранатом, диопсидом и другими минералами.

Альбитит-грейзеновые месторождения связаны с апикальными выступами массивов кислых и щелочных гипабиссальных пород, подвергшихся постмагматическому щелочному метасоматозу. В месторождениях этого типа распространены топаз, берилл, турмалин, аквамарин, флюорит, циркон, кварц и др.

Гидротермальные (высоко- средне- и низкотемпературные) месторождения являются источником получения разнообразного камнесамоцветного сырья (флюорит, аметист, дымчатый кварц, турмалин, халцедон, агат, исландский шпат и др.). Они формировались в результате воздействия жидких растворов, циркулировавших в земной коре и участвовавших в процессах перемещения и отложения минеральных веществ. К этой группе относятся знаменитые месторождения Мурзинского района Среднего Урала – копи Мурзинка, Ватиха и другие, месторождения агата в эффузивных породах (Грузия, Армения).

С метаморфогенной серией связаны месторождения граната, поделочных джеспилитов, микрокварцитов и других пород. При контактовом метаморфизме, часто сопровождаемом десиликацией, образуются изумруды, сапфиры, рубины, благородная шпинель, лазурит. В штоках измененных ультраосновных пород нередко наблюдаются скопления нефрита и жадеита. Метаморфогенное происхождение имеют исключительно богатые по текстуре и окраске поделочные яшмы. Особенно знаменит яшмами Южный Урал, где выявлено около 100 месторождений пестроокрашенной яшмы.

В составе экзогенной серии выделяются три группы месторождений: выветривания, россыпная и осадочная.

Месторождения выветривания представлены элювиальными и делювиальными россыпями драгоценных и поделочных камней, а также остаточными образованиями кор выветривания, в которых происходило формирование стяжений и прожилков благородного опала (месторождения Австралии). При выветривании полевошпатовых пород в присутствии солей меди и фосфора образовались прожилки, корочки и вкрапленники бирюзы $\text{CuAl}_6[(\text{OH})_2\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Бирюзаканское и Тасказганское месторождения в Средней Азии). В зонах окисления меднорудных и железорудных месторождений возникали скопления малахита и азурита.

Россыпные месторождения представляют рыхлые или сцементированные скопления обломочного материала, содержащие стойкие в химическом отношении минералы (алмаз, рубин, сапфир, топаз, гранат, горный хрусталь и др.).

Осадочные месторождения возникают в процессе осадконакопления на дне различных водоемов (озера, моря, болота и т. д.). Среди них наибольшее значение имеют механические и биохимические осадки, реже химические. Механические осадки образуются за счет размыва коренных отложений или древних россыпей. С ними могут быть связаны месторождения алмазов, гранатов, янтаря и др. К биохимическим месторождениям относят древние накопления поделочных углей (гагат и сапропелит), современные образования (кораллы, жемчуг). Химические осадки представлены гипсом и ангидритом.

Геология месторождений самоцветов. На мировом рынке цветных камней ведущее место наряду с алмазом и изумрудом занимает благородный корунд Al_2O_3 , и в частности его разновидности – рубин и сапфир. Благородный корунд кристаллизуется в тригональной сингонии: кристаллы имеют бочонковидную, столбчатую,

пирамидальную и иные формы. Твердость его 9 (по шкале Мооса). Химически чистый корунд – бесцветный. Красная разновидность корунда (рубин) обусловлена примесью хрома, а синяя, голубая, зеленая разновидность (сапфир) – примесью титана.

Главным промышленным типом месторождений благородного корунда являются элювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи. Они широко представлены в Таиланде, Мьянме, Индии, Шри-Ланке и некоторых других странах. Коренные источники этих месторождений весьма разнообразны: гнездовая и акцессорная вкрапленность кристаллов рубина и сапфира в базальтах (Таиланд, Камбоджа, Австралия), в скарнах (Шри-Ланка, Мьянма), слюдяных грейзенах (месторождение Умба в Танзании), в пегматитах (Урал, Канада) и др.

Месторождения рубина Мьянмы. Они сосредоточены в Могокском рубиноносном районе. Здесь известны высокосортные кармино-красные рубины цвета «голубиной крови». В пределах этого района широко развиты глубокометаморфизованные породы архейского возраста – гранулиты, гранатовые гнейсы и кристаллические сланцы с прослоями силлиманитовых кварцитов, прорванных гранитами комплекса Кобаинг. Местами в составе этих толщ появляются мощные горизонты кальцитовых мраморов. Рубиновая минерализация приурочена к контакту мраморов с телами и дайками гранитов и пегматитов Кобаинского интрузивного комплекса.

Главные месторождения Могокского рубиноносного района (Могок, Ибу, Пэйксви, Луда, Колан и др.) тяготеют к поясу развития мраморов вдоль долины р. Могок. Продуктивные зоны представляют магнезиально-кальцитовые скарны с характерным парагенезисом форстерита, скаполита, диопсида, флогопита, апатита, а также содержат шпинель и рубин. Кристаллы рубина имеют преобладающий призматический и бочонковидный габитус. Содержание Cr_2O_3 в них составляет 1,5–2,0 %. Встречаются рубины с проявлением астеризма в виде 6-лучевой звезды, но чаще развиты параллельные («шелк») или пересекающиеся под углом 60° («сетка») включения игольчатого рутила, шпинели, оливина и других минералов.

Месторождения сапфира Шри-Ланки сосредоточены в районе г. Ратнапура (город Драгоценных камней). Добыча производится из многочисленных аллювиальных россыпей, которые распространены на площади около 2000 км². Наиболее крупные месторождения – Раквана, Багангода, Пелмандулла, Курувита.

Продуктивными являются гравийно-галечниковые отложения (иллам), содержащие валуны и гальку белого кварца, железистые стяжения, песок. Продуктивный слой иллам (линзы мощностью около 0,6 м) залегает на глубине от 1,5 до 16 м от земной поверхности. Сапфиры в этом слое практически всегда ассоциируются с другими цветными минералами (зеленая шпинель, цветной турмалин, топаз, гранат, берилл и др.). Распространены многие разновидности сапфиров – голубые, синие, бесцветные, желтые, оранжевые. Густожелтые сапфиры получили название «королевские топазы», а бледные – «восточные топазы». Наиболее ценными являются голубые звездчатые сапфиры, обладающие оптическим эффектом и стоящие в ювелирной табели о рангах на одной ступени с небесно-синими кашмирскими сапфирами. В 1981 г. здесь был найден крупнейший в мире кристалл голубого сапфира массой 6033,4 г и размерами 28 x 18 см.

Коренной источник сапфиров этих месторождений неясен. Различными исследователями указывается на три возможных источника сапфиров: силикатные скарны, пегматитовые жилы и гранулиты.

Перспективы выявления камнесамоцветного сырья в Беларуси. Эта группа минерального сырья в Беларуси является наименее изученной. Имеются перспективы выявления драгоценных (алмаз, рубин), ювелирно-поделочных (янтарь) и поделочных камней (гипс, ангидрит, кремнь рисунчатый, мрамор и др.). В настоящее время выявлено относительно крупное месторождение янтаря Гатча, расположенное в Жабинковском районе Брестской области. Прогнозные ресурсы янтаря по категории P_1 составляют 16,4 т при среднем содержании янтаря 34,1 г/м³, а общие ресурсы по категориям $P_1+P_2+P_3$ – 311 т. Среди поделочных камней особое значение могут иметь гипсы и ангидриты Бриневского месторождения, характеризующиеся большим разнообразием структур и текстур.

Лекция 18. ГИПС И АНГИДРИТ

Общие сведения. Гипс и ангидрит наряду с карбонатами, глинами, песком, гравием, осадочными кремнистыми, изверженными и метаморфическими горными породами входят в состав группы конструктивно-строительных материалов. Роль этого минерального сырья, несмотря на его относительную дешевизну, непрерывно возрастает в связи с грандиозными масштабами современного промышленного и гражданского строительства. Характерной особенностью месторождений горных пород, используемых как

строительные материалы и как сырье для получения различной продукции, являются значительные размеры, большие объемы перерабатываемой горной массы, обычно открытый способ разработки, близость месторождений к потребителям, комплексность переработки сырья.

Минералогия. Гипс – двухводный сульфат кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Кристаллизуется в моноклиальной сингонии. Кристаллы его пластинчатые, столбчатые, игольчатые, линзо- и чечевицеобразные. Плотные массы имеют строение от тонко- до крупнозернистого. В прожилках и жилах гипс обладает волокнистым строением. В кристаллическом состоянии он бесцветен и прозрачен, в плотных массах имеет белую, серую, розовую, красную и бурю окраску. Твердость его 2, плотность $2,32 \text{ г/см}^3$, слабо растворим в воде. При обжиге постепенно теряет кристаллизационную воду и переходит сначала в полугидрат, а затем в безводный ангидрит.

Ангидрит имеет формулу CaSO_4 , кристаллизуется в ромбической сингонии. Кристаллы его обычно призматические, таблитчатые, тонкоигольчатые и шестоватые. Часто отмечаются радиальнолучистые сростки и скопления шестоватых кристаллов. Для ангидрита характерна прямоугольная спайность по трем направлениям. Излом неровный и занозистый; блеск перламутровый и стеклянный. Твердость – 3–3,5, плотность – $2,96 \text{ г/см}^3$. Под микроскопом в проходящем свете ангидрит бесцветен. Чистый ангидрит белый, отдельные его кристаллы водяно-прозрачные. Ангидритовая порода чаще всего светло-серая, голубовато-серая, реже темно-серая и буро-серая. Красный и бурый цвета обусловлены примесью оксидов железа.

Применение в промышленности. Гипс и ангидрит используются преимущественно для производства гипсовых вяжущих материалов. Наиболее обычным видом таких материалов является строительный (штукатурный) гипс (алебастр). Он получается в результате обжига гипсовой породы (гипсового камня) при температуре до $130\text{--}180^\circ \text{C}$ и последующего тонкого размола продуктов обжига. Вследствие потери части воды возникает полуводный гипс $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, который при смешивании с водой вновь переходит в двухводный и на воздухе затвердевает в камнеподобное тело.

Молотый гипс применяется при производстве портланд-цемента в виде добавки, корректирующей время схватывания последнего. Необожженный гипс в тонкоразмолотом виде используется в качестве цемента при малоэтажном строительстве, для отливки архитектурных

деталей и отделки фасадов зданий, служит наполнителем для писчей бумаги, используется как сырье для производства сульфата аммония и как удобрение для некоторых видов почв. Чистые снежно-белые и ровноокрашенные разновидности применяются в качестве облицовочного камня, а волокнистая разновидность (селенит) – для поделок.

Общетеchnические требования. Гипсовый и гипсоангидритовый камень, используемый для производства вяжущих материалов, должен отвечать требованиям ГОСТа 4013-82. Гипсовый и гипсоангидритовый камень по суммарному содержанию гипса и ангидрита в пересчете на гипс подразделяются на сорта (табл. 11).

Таблица 11

Основные показатели, используемые для выделения сортов гипса и гипсоангидритового камня (ГОСТ 4013-82)

Сорт	Содержание в гипсовом камне, %, не менее		Содержание в гипсоангидритовом камне, %, не менее	
	гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)	кристаллизационной воды	гипса и ангидрита в пересчете на ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)	серного ангидрида (SO_3)
1	95	19,88	95	44,18
2	90	18,83	90	41,85
3	80	16,74	80	37,20
4	70	14,64	–	–

Содержание гипса в гипсовом камне определяют по кристаллизационной воде, а в гипсовоангидритовом камне – по серному ангидриду (SO_3). Для производства гипсовых вяжущих должен поставляться только гипсовый камень. В медицине, фарфорово-фаянсовой и керамической промышленности используется только 1-й сорт гипса.

Ресурсы и добыча. Наиболее крупными ресурсами и разведанными запасами гипса обладают США, Россия, Китай, Канада, Иран и Таиланд. Разработка месторождений гипса осуществляется обычно открытым способом, реже шахтным (Новомосковское месторождение в Тульской области и др.). Мировое производство товарного гипса в 1998–2000 гг. составило около 100–110 млн т. Крупнейшими странами-производителями являются США (19 млн т), Таиланд (8,6 млн т), Канада (8,5 млн т), Иран (8,5 млн т) и Китай (8 млн т).

Генетические типы промышленных месторождений. Основными геолого-промышленными типами месторождений гипса и ангидрита являются: осадочные, остаточные и инфильтрационные.

Осадочные месторождения гипса и ангидрита образуются в эвапоритовых бассейнах из истинных растворов в процессе сгущения морской воды в аридных климатических условиях. Это наиболее распространенный и промышленно ценный тип месторождений рассматриваемого минерального сырья. Среди них выделяют сингенетические и эпигенетические месторождения. Первые образуются путем отложения гипса непосредственно из растворов в бассейнах (лагунах, заливах, усыхающих морях и т. д.), вторые – в результате гидратации ангидрита под воздействием нисходящих вод. Переход ангидрита в гипс сопровождается увеличением объема породы на 30 % и более. На больших глубинах (600–1000 м и более) при высоком давлении гипс неустойчив, происходит его дегитратация и переход в ангидрит.

Залежи гипса в сингенетических месторождениях имеют форму линз и пластов мощностью до 20–30 м. Слои гипса часто перемежаются с другими породами и образуют гипсоносные свиты (толщи) мощностью до нескольких сотен метров. Формы эпигенетических залежей осложнены вследствие вздутия и вспучивания сульфатных пород при переходе ангидрита в гипс и вызываемых этими явлениями многочисленных нарушений в залегании пород. Формы рудных тел часто осложнены в результате растворения гипса поверхностными и подземными водами (карстовые явления). Залежи гипса осадочного происхождения достигают многих сотен квадратных километров. Месторождения этого типа известны в Республике Коми, Псковской, Тульской и других областях России, в Донецкой области Украины и в других странах.

Остаточные месторождения типа «гипсовых шляп» возникают в результате накопления гипса и ангидрита как остаточных продуктов при выщелачивании легкорастворимых минералов в соляных залежах. Они имеют ограниченное практическое значение.

Инфильтрационные месторождения образуются как путем метасоматического замещения гипсом карбонатных пород при воздействии на них сернокислых вод, так за счет растворения рассеянного в осадочных породах гипса, переноса его грунтовыми водами и последующего отложения в смеси с песчаными, глинистыми и известковыми частицами в виде гажы, глино-гипса, гипсита и др. Месторождения этого типа невелики и разрабатываются лишь для местных нужд.

Геология месторождений гипса и ангидрита. Крупнейшим в СНГ является *Новомосковское месторождение гипса*, расположенное в Тульской области. За счет импорта сырья, добываемого на данном месторождении, удовлетворяются потребности Беларуси в гипсе. Приурочено оно к южному склону Московской синеклизы. Стратиграфически гипсоносная толща относится к фаменскому ярусу верхнего девона. Залегает она на сравнительно небольших глубинах, не превышающих 120–150 м. Общая мощность гипсоносной толщи составляет около 70 м. Разрез представлен переслаиванием доломита и гипса, вверху ее выделяется пласт гипса мощностью 20–25 м. Иногда в этом гипсовом пласте появляется слой доломита, разделяющий гипсовый пласт на две части.

На месторождении гипсовый пласт почти повсеместно перекрыт слоем глины мощностью 0,5–2,0 м, который является водоупором и изолирует его от вышележащего водоносного пласта доломита. На девонских доломитах залегают известняки, а также песчано-глинистые породы с прослоями угля (нижний карбон), пески с прослоями глин (мезозой), четвертичные песчано-глинистые аллювиально-делювиальные образования. Общая мощность надгипсоносных отложений составляет 60–130 м.

Продуктивный пласт гипса представлен мелкокристаллическим, изредка волокнистым, светло-серым, реже темно-серым или белым гипсом с тонкими (1–20 мм) прослоями доломита, реже темно-серых глин. Наблюдаются также прослои и линзы доломита мощностью 15–20 см и линзы кремня до 5 см. Ангидрит присутствует в небольшом количестве в виде примеси к гипсу и отдельных включений. Встречаются также скопления целестина как в виде примеси, так и отдельных линз мощностью до 0,6 см.

Рабочая мощность пласта гипса на большей части площади месторождения варьирует от 9,5 до 23 м (преобладает 12–18 м). Подошва его залегают на глубинах от 72 до 143 м от земной поверхности. Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ по пробам изменяется от 56,62 до 98,53 %, средневзвешенное по скважинам – 83,42–93,17 % и в среднем по месторождению составляет 88,78 %. Качество гипса высокое – 1-й и 2-й сорта.

Месторождения и проявления гипса в Беларуси. В разрезе платформенного чехла территории Беларуси гипс встречается в виде пластов, слоев, прослоев, прожилков и гнездовидных скоплений. Все известные проявления гипса стратиграфически связаны в основном с отложениями девона и перми.

В 1996–2000 гг. разведано относительно крупное *Бриневское месторождение гипса*, расположенное в Петриковском районе Гомельской области. Оно находится на западе Припятского прогиба в зоне сочленения Петриковского погребенного выступа и Шестовичской тектонической ступени и приурочено к промежуточному блоку-горсту субширотного простирания. Гипсоносная толща относится к среднефаменскому подъярису, залегает на глубинах 142,8–460,3 м, имеет мощность 37,2–252,7 м. Сульфатонасыщенность ее составляет в среднем около 40 %.

В разрезе гипсоносной толщи выявлены четыре гипсовых горизонта, пронумерованные сверху вниз (I–IV). Основную промышленную ценность представляют III и IV горизонты. Мощность продуктивных пластов колеблется от 2–3 до 26,4 м. Они характеризуются высоким содержанием гипса (63,85–93,86 % по скважинам и 81,84–89,56 % по подсчетным блокам). Характерны зернистые, пластинчатые и волокнистые структуры, массивные, беспорядочные и брекчиевидные текстуры. Окраска гипса желтая, розовая, белая, серая и коричневатосерая. В разрезе IV горизонта относительно широко распространены гипсоангидритовые и ангидритовые породы. Запасы полезного ископаемого в целом по месторождению составляют: гипса по категории C_1 – 177 074 тыс. т, C_2 – 163 416 тыс. т, ангидрита по категории C_1 – 96 208 тыс. т, C_2 – 41 454 тыс. т. Запасы подсчитаны до глубины 300 м от земной поверхности.

Лекция 19. КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

Общие сведения. Карбонатные породы сложены главным образом карбонатами кальция и магния, реже железа и марганца. Они достаточно широко распространены в земной коре, составляя более 15 % ее массы. К ним относятся известняк, мергель, мрамор, травертин, известковая гаж, мел, доломит, жильные карбонатные породы, карбонатиты и др. В составе этих пород, помимо собственно карбонатов, в качестве примеси нередко присутствуют глинистые частицы, кварц, полевые шпаты, хлорит, глауконит, углистое вещество, сульфаты и др. Среди карбонатных пород резко доминируют осадочные. Они формировались в морских, лагунных и озерных условиях хемогенным, кластогенным или органогенным путем. Подчиненное значение имеют породы метаморфогенного (мрамор и др.) и эндогенного генезиса (карбонатиты).

Известняк – осадочная порода, состоящая главным образом из кальцита или кальцитовых скелетных остатков организмов, очень редко

из арагонита. Химический состав чистых известняков приближается к теоретическому составу минерала кальцита CaCO_3 (56,6 % CaO и 44,0 % CO_2). Наиболее частыми примесями в известняках являются: глинистые минералы, доломит, сидерит, опал, халцедон, кварц, оксиды и гидрооксиды железа и марганца, пирит, марказит, гипс, органическое вещество и др. Название известняков обычно дается в зависимости от особенностей слагающих их компонентов, или структуры (брахиоподовые, оолитовые, комковатые, кристаллические, обломочные и др.). Карбонатные породы с примесью глинистых частиц подразделяются на определенные группы (табл.12).

Доломит – карбонатная порода, сложенная преимущественно минералом доломитом – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Основными примесями в доломитовой породе являются кальцит, глинистые минералы, опал, халцедон, сидерит, анкерит, кварц, оксиды и гидрооксиды железа и др. В природе доломит встречается в крупно-, мелко- и скрытокристаллических агрегатах. В осадочных формациях доломит слагает пласты, прослои, линзы и тела неправильной формы. В гидротермальных и рудных месторождениях доломит встречается в ассоциации с флюоритом, баритом, сульфидами, а также в измененных основных и ультраосновных породах. Доломит связан переходами с известняком, образуя ряд доломит–кальцит (табл.13).

Мел – белая полусвязная порода, состоящая на 96–99 % из CaCO_3 . В составе карбонатной части мела различают три группы компонентов: 1) органические остатки (в основном морские планктонные водоросли – кокколитофориды; 2) кристаллы кальцита с хорошими гранями; 3) порошок кальцит.

Таблица 12

**Группировка карбонатно-глинистых пород
в цементной промышленности стран СНГ**

Порода	Массовая доля, %	
	CaCO_3	CaO
Известняк	100–95	56,0–53,2
Известняк мергелистый	95–90	53,2–50,4
Мергель известковистый	90–75	50,4–42,0
Мергель	75–40	42,0–22,4
Мергель глинистый	40–20	22,4–11,2
Глина мергелистая	20–5	11,2–2,8
Глина	5–0	2,8–0,0

Таблица 13

Группировка известково-доломитовых пород (по С. Г. Вишнякову)

Порода	Массовая доля, %	
	Кальцит, CaCO_3	Доломит, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Известняк	95–100	0–5
Доломитистый известняк	75–95	5–25
Доломитовый известняк	50–75	25–50
Известковый доломит	25–50	50–75
Известковистый доломит	5–25	75–95
Доломит	0–5	95–100

Применение в промышленности. Карбонатные породы широко применяются в различных отраслях промышленности. Известняки и мел используются как сырье в промышленности вяжущих веществ для производства портланд-цемента, воздушной и гидравлической извести. Особенно ценным сырьем для производства цемента являются так называемые «мергели-натуралы». В металлургии известняки и доломиты находят применение в качестве флюсов при выплавке и первичной переработке железа и некоторых цветных металлов. Эти же породы используются в виде щебня или дробленого камня в качестве заполнителя бетона, дорожной щебенки, железнодорожного балласта и грубого фильтра для очистки сточных вод, а в более тонкомолотой форме – в виде известковой подкормки для птиц, для штукатурок, искусственного декоративного песка, наполнителя для побелочного материала. Карбонатные породы применяются в химической, пищевой, бумажной, резиновой, полиграфической и других отраслях промышленности. В сельском хозяйстве мел, доломит и известняк используются для известкования почв.

Технология производства портланд-цемента. Карбонатные породы имеют исключительно широкое применение в технологии производства портланд-цемента. Портланд-цемент впервые был получен в 1824 г. англичанином Эспдином. Первоначально его изготавливали из богатых глиной известняков – «мергелей-натуралов», имеющих близкое к требуемому отношение оксида кальция к кремнезему.

Производство портланд-цемента является многоэтапным. 1. Исходное сырье (известняк и глина, или «мергель-натурал») размалывается и перемешивается. 2. Приготовленная смесь обжигается во вращающейся печи: в интервале температур 100–110 °С удаляется вся гигроскопическая вода; при температуре 600 °С начинает удаляться гидратная и гидроксильная вода; при температуре 800–850 °С начинает разлагаться карбонат кальция $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ и происходит распад алюмосиликатов. Это является началом клинкер-процесса, при котором

CaO вступает в реакцию с алюмосиликатами и силикатами с образованием клинкерных минералов. 3. В интервале температур 1300–1500 °С происходит частичное плавление клинкерных минералов с появлением двух-трехкальциевых силикатов и расплава. 4. Последней стадией формирования клинкера является кристаллизация расплава и его реакция с кальциевыми силикатами. Окончательный состав клинкерных минералов образуется при охлаждении расплава до 1000 °С. Клинкер состоит из четырех главных искусственных соединений-минералов: 1) β - дикальциевого силиката, β - Ca₂SiO₄ (белит); 2) трикальциевого силиката Ca₃SiO₅ (алит); 3) трикальциевого алюмината Ca₃Al₂O₆; 4) кальциевого алюминоферрита Ca₂AlFeO₅.

Клинкер с заданным соотношением этих соединений поступает на мельницу, где к нему добавляется до 3 % гипса. В состав цемента также могут вводиться так называемые активные добавки, которые не нарушают его способности твердеть и схватываться, но существенно улучшают прочность и другие полезные свойства цемента.

Общетеchnические требования. Требования к качеству карбонатного сырья различные в зависимости от использования его в соответствующем производстве и регламентируются ГОСТами и ведомственными техническими условиями. Известняки, применяемые для доменного производства, должны содержать не более (%): SiO₂ 4; Al₂O₃+Fe₂O₃ 3,5; MgO 3,5; P₂O₅ 0,05; SO₃ 0,35.

Наиболее чистые и свободные от примесей известняки, используемые в химической промышленности для получения соды, хлора, карбида кальция и других продуктов, должны содержать вредных примесей не более (%): Al₂O₃+Fe₂O₃ 1–3; MgO 0,8–1,5; SiO₂ 1–3; S 0,05–0,15; P 0,006–0,010.

Основными показателями пригодности известняков и мергелей для производства силикатного цемента служат силикатный *n* и глиноземный *p*-модули и так называемый коэффициент насыщения (Кн).

$$n = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,7 - 3,5; \quad p = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1 - 2,5;$$

$$\text{Кн} = (\text{CaO}_{\text{общ}} - \text{CaO}_{\text{св}}) - (1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ SO}_3) / \\ / 2,8 (\text{SiO}_2_{\text{общ}} - \text{SiO}_2_{\text{св}}) = 0,82 - 0,95.$$

Генетические типы промышленных месторождений. Среди большого разнообразия месторождений карбонатного сырья выделяются три основных геолого-промышленных типа: 1) субгоризонтальные пласты, линзы и горизонты мела, мергелей, известняков и доломитов большого площадного распространения в разрезах платформенных

карбонатно-терригенных формаций различного возраста (группа Вольских месторождений Восточно-Европейской платформы, месторождения мела и мергелей Могилевской области в Беларуси); 2) круто- и пологопадающие пласты, линзы и пачки ритмичного чередования мергелей, известняков и карбонатных глин мощностью в десятки метров в разрезах складчатых геосинклинальных карбонатно-терригенных флишевых толщ (Новороссийские месторождения); 3) слабо наклонные, быстро выклинивающиеся пластовые, линзовидные и сложной формы залежи доломитов и органогенных известняков с мелом и мергелями неравномерной, меняющейся мощности в десятки метров в составе карбонатных рифогенных, соленосных и терригенных толщ краевых и межгорных прогибов и внутренних впадин (месторождения штатов Индиана, Иллинойс, Огайо и др.).

Геология месторождений карбонатного сырья. Новороссийская группа месторождений расположена в полосе вдоль северо-восточного побережья Черного моря близ г. Новороссийска. Она приурочена к флишевой зоне позднемелового возраста. До 1949 г. здесь большое промышленное значение имели «мергели-натуралы». В настоящее время используются в основном все разности карбонатных пород и добыча ведется валовым способом. В группе имеются месторождения Новороссийские I, II, III, IV, Атакойское и др. Месторождения приурочены к флишевой толще, слагающей крылья Маркотхской антиклинали, вытянутой параллельно берегу моря более чем на 50 км. Антиклиналь имеет изоклинное строение, опрокинута на юго-запад с падением крыльев под углом 20–70°. Она осложнена сбросами и надвигами.

Флишевая толща состоит из многократно повторяющихся тонких слоев (15–20 см) известняков и мергелей с подчиненными прослоями известковых глин и тонкими (0,1–2 мм) прослоями песчаников. По содержанию CaCO_3 в составе флишевой толщи выделяется несколько характерных разновидностей пород: 1) «высокие» известняки, содержащие CaCO_3 более 83 %; 2) «мергели-натуралы» с содержанием CaCO_3 75–83 %; 3) «романчики» – мергели с содержанием CaCO_3 60–75 %; 4) «трескуны» – мергелистые сланцы (CaCO_3 39–60 %); 5) «дикари», к которым относятся известково-глинистые песчаники и песчанистые известняки; 6) «подмазки» – мягкие известковые и неизвестковые глины, образующие тонкие (1–3 мм) прослои.

Для производства цемента пригодна лишь часть толщи мощностью 250–300 м, выделяемая в качестве маркотхской цементной свиты. Эта

свита в свою очередь расчленяется на четыре подсвиты, из которых промышленное значение имеет «подсвита натуралов», или так называемая «стопластовая» свита, в разрезе которой на долю «мергелей-натуралов» приходится около 70–75 %.

Разработка месторождений осуществляется карьерами. Мощность вскрышных пород, представленных четвертичными аллювиальными, элювиальными и делювиальными образованиями, с учетом почвенно-растительного слоя составляет 0,2–1,5 м. Мощность вскрываемой части разреза «стопластовой» свиты – 210–280 м. В последние годы производится шихтовка добываемого карбонатного сырья. Ежегодная суммарная добыча цементного сырья на Новороссийских месторождениях составляет 7–8 млн т.

Месторождения карбонатных пород Беларуси. Карбонатные породы, используемые для производства цемента и извести, представлены мелом и мергелями. На востоке республики (Могилевская и Гомельская области) они находятся в коренном залегании, а на западе и в центре (Гродненская и Минская области) встречаются в виде отторженцев. На площадях неглубокого их залегания, главным образом в Кричевском, Климовичском и Чериковском районах Могилевской области разведано более 10 месторождений. Среди них – относительно крупные: Кричевское, Коммунарское, Сожское, Каменка и др. Мощность меловых отложений варьирует от 10–20 до 50 м и более при глубине залегания кровли от 1 до 25 м. По составу залежи различны: Кричевское месторождение представлено пясчистым мелом, Коммунарское – мергелем, Каменка – мергелем и мелом. Содержание CaCO_3 в продуктивной толще колеблется от 65 % в мергелях до 98 % в мелах.

Сырьевая база цементной промышленности Беларуси включает 15 месторождений с общими запасами карбонатных пород для цемента по категориям А+В+С₁ 718 млн т. Разрабатывается 8 месторождений, на базе которых действуют РУП «Волковыскцементошифер», «Кричевцементошифер» и новый Белорусский цементный завод (БЦЗ). Добыча карбонатных пород для цементной промышленности ежегодно составляет около 3,7–4 млн т.

Доломит в Беларуси используется для производства доломитовой муки. Месторождения доломита в коренном залегании сосредоточены в Витебской области. В настоящее время разрабатывается карьер «Гралево» месторождения Руба. Продуктивными являются доломиты семилукского горизонта франского яруса верхнего девона мощностью

16–24 м, кровля которых залегает на глубине от 4,5 до 15,8 м. Среднее содержание карбонатов – 93,5 %, примеси представлены в основном алюмосиликатным материалом. Ежегодная добыча – 3,2–4,0 млн т доломита.

Лекция 20. ГЛИНЫ, КАОЛИНЫ, ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Общие сведения. Глины – связные несцементированные осадочные породы, с преобладанием глинистых минералов, держатся в куске благодаря межмолекулярным силам и сцеплению между тончайшими частицами диаметром меньше 0,005 мм, обладают пластичностью и после обжига приобретают прочность камня. По гранулометрическому составу в глинах резко преобладают частицы размером 0,01–0,001 мм. Содержание частиц диаметром меньше 0,001 мм достигает 25–30 %, а частиц диаметром более 0,1 мм обычно не превышает 10–15 %.

К *глинистым породам* относят неразмокающие, так называемые сухарные, глины («флинтклей»), а также аргиллиты и глинистые сланцы, которые, подобно глинам, обладают тонкодисперсным строением, близким минеральным и химическим составом.

Минералогия. Глинистые минералы, слагающие основную массу породы, представляют собой относительно стабильные водные силикаты алюминия, железа и магния слоистой, слоисто-ленточной и смешанно-слоистой структур, отличающиеся от других силикатов высокой дисперсностью, гидрофильностью, способностью к сорбции и ионному обмену. Глинистые минералы – это по преимуществу кристаллические минералы; аморфные глинистые минералы распространены реже. В основе их кристаллического строения лежат два типа двумерных структурных элементов: тетраэдрическая кремнекислородная сетка и октаэдрическая сетка, в углах элементарного октаэдра которой находятся ионы кислорода и гидроксила, а в центре – алюминия, железа или магния. Совокупность таких сеток образует элементарный слой, который может состоять из двух (октаэдрической и тетраэдрической), трех (двух тетраэдрических и одной октаэдрической) и более сеток.

Выделяют следующие группы глинистых минералов, отличающихся между собой по кристаллической структуре и составу (в скобках даны характерные минералы каждой группы): 1) аллофановая (аллофан); 2) каолининовая (каолинит, галлуазит); 3) монтмориллонитовая (монтмориллонит, нонтронит); 4) гидрослюдистая (гидромусковит,

глауконит); 5) хлоритовая (хлорит); 6) палыгорскитовая (палыгорскит, сепиолит). Различают также минералы-сростки (монотермит, бейделлит).

Неглинистые минералы в глинах представлены кварцем, лимонитом, гематитом, пиритом, марказитом, сидеритом, магнетитом, неразложившимися остатками полевых шпатов, турмалином, амфиболами и др. Содержание основных химических компонентов глин колеблется в широких пределах (%): SiO_2 30–70; Al_2O_3 10–40; H_2O 5–15; подчиненными компонентами являются TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , SO_3 , CO_2 , P_2O_5 , S, C и др.

Каолином называют близкую к мономинеральной глинистую породу, состоящую из каолинита или других минералов группы каолинита. Он обладает белым цветом, слабопластичен или даже непластичен. Различают *остаточные* или *первичные каолины*, связанные с корой выветривания полевошпатовых изверженных, осадочных и метаморфических пород, и *вторичные каолины*, возникшие за счет размыва и переотложения первичных каолинов. По химическому составу чистый каолин близок к теоретическому каолиниту и содержит (%): SiO_2 46,54; Al_2O_3 39,50; H_2O 13,96. Количество Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO и K_2O не превышает 0,5–0,7 % каждого компонента.

Свойства глин, каолинов и глинистых пород. Главнейшими свойствами глин, каолинов и других глинистых пород, определяющих применение их в промышленности, являются пластичность, связность, вспучиваемость, набухаемость, воздушная усадка, огневая усадка, огнеупорность, спекаемость, адсорбционная способность, гигроскопичность, способность к ионному обмену, относительная химическая инертность и др.

Пластичность – это способность глин во влажном состоянии приобретать под давлением любую форму и сохранять ее после снятия давления и сушки. Пластичность тонкодисперсных монтмориллонитовых глин является наивысшей.

Набухание – свойство глин увеличиваться в объеме при поглощении воды. Наибольшим набуханием обладают монтмориллонитовые и бейделлитовые глины, меньшим – монотермитовые, каолинитовые и гидрослюдистые.

Усадка – уменьшение объема глины или сформированного из нее изделия при сушке (воздушная усадка) и обжиге (огневая усадка).

Спекаемость – способность глин при обжиге превращаться в камнеподобное твердое тело («черепок»), обладающее рядом ценных технических свойств.

Вспучивание – свойство некоторых глинистых пород при обжиге увеличиваться в объеме с образованием прочного материала ячеистого строения с закрытыми, не сообщающимися между собой порами.

Адсорбционные свойства глин заключаются в способности их поглощать и удерживать окрашивающие примеси из жидкостей и газов, смолы, слизи и другие коллоидальные вещества из минеральных, растительных и животных масел и жиров. Наиболее активными адсорбентами являются монтмориллонитовые глины.

Промышленная классификация глин. В соответствии с промышленной классификацией, принятой в странах СНГ, они подразделяются по *химическому составу* (содержание Al_2O_3 , %) на высокоосновные (более 40), основные (30–40), полукислые (15–20) и кислые (до 15); по *огнеупорности* (температура плавления, °С) на огнеупорные (более 1580), тугоплавкие (1350–1580) и легкоплавкие (до 1350). По цвету черепка, полученного при обжиге, глины подразделяются на беложгущие, светложгущие и темножгущие.

Применение в промышленности. Глины, каолины и другие глинистые породы в больших объемах потребляются разными отраслями промышленности как в сыром, так и обожженном виде. Около 70 % общего тоннажа всех добываемых глин и глинистых пород используется в производстве керамических изделий (тонкая керамика – фаянс и фарфор; строительная керамика – кирпич, черепица и др.; грубая керамика – канализационные и дренажные трубы). В значительных объемах глины применяются в цементной промышленности как один из основных компонентов для производства портланд-цемента. На свойстве вспучивания при обжиге основано применение глинистых пород в производстве легких наполнителей – керамзита и аглопорита. Глины употребляются для приготовления буровых растворов. Применяемая для этих целей глина должна быть тонкодисперсной, давать с водой вязкую, долго не оседающую суспензию и содержать минимум песчаных частиц. В Беларуси для приготовления буровых растворов, используемых при бурении нефтепоисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, применяется в основном палыгорскит. В крупных количествах сырые глины и каолины используются в качестве наполнителей в бумажной, резиновой, пластмассовой, парфюмерной и других отраслях промышленности.

Добыча. Месторождения глин разрабатываются преимущественно открытым способом. Огнеупорные глины и каолины могут добываться также и подземным способом. Разработка месторождений наиболее ценных глин производится при мощности рабочего пласта не менее 1 м и

отношении мощности пород вскрыши к мощности рабочего пласта до 10/1. Крупными считаются месторождения огнеупорных, тугоплавких и легкоплавких глин и первичных каолинов с запасами (млн т) более 20, средними 5–20 и мелкими – менее 5. Для месторождений наиболее ценных бентонитовых глин приняты следующие градации по запасам (млн т): крупные – более 5, средние 1–5 и мелкие 1. В конце XX в. общий мировой уровень добычи глинистого сырья составил около 700 млн т. Наибольшее количество глин и каолинов было добыто в США (около 60 млн т).

Генетические типы промышленных месторождений. Месторождения глин и глинистых пород по условиям образования достаточно разнообразны. Среди них присутствуют как гипогенные (гидротермальные), так и гипергенные (остаточные, обломочные, инфильтрационные, осадочные и иные). Бентонитовые глины в одних случаях представляют результат подводного разложения вулканических туфов, в других – переотложения продуктов выветривания мафических горных пород. Все же главное значение имеют две геологопромышленные группы месторождений глинистого минерального сырья – выветривания (остаточные) и осадочные.

В *группе остаточных месторождений* наибольшее практическое значение имеют месторождения первичных каолинов. Они возникают при выветривании разных пород, но наиболее качественный каолин образуется при выветривании кислых изверженных пород – гранитов, пегматитов и аплитов. Для залежей характерна плащеобразная форма и непостоянная мощность. К этому типу относятся многочисленные месторождения Украины (Глуховецкое, Просяновское), Казахстана (Алексеевское), США (месторождения в штатах Джорджия и Южная Каролина), Великобритании и др.

Осадочные месторождения представлены континентальными, лагунными и собственно морскими глинистыми аккумуляциями. Среди континентальных месторождений промышленное значение имеют озерные, озерно-болотные, аллювиальные, ледниковые и флювиогляциальные. Месторождения глин континентального генезиса широко распространены на Восточно-Европейской платформе, в том числе и в Беларуси. Морские месторождения глин разделяются на прибрежные и месторождения удаленной от берега части шельфа. Прибрежно-морские месторождения формировались за счет аккумуляции глинистого вещества на глубинах до 50 м в зонах, где не было непрерывного взмучивания осадков – в бухтах, заливах, подводных

частях речных дельт и между прибрежными островами. Глины этих месторождений плохо отсортированы и неоднородны по минеральному составу. Залежи имеют форму линзовидных пластов разной протяжности и изменчивую мощность – от 1–5 до 25–30 м и более.

Месторождения глин в удаленной от берега части шельфа возникали на глубинах до 200 м в пределах зон, где не было сильных течений. Здесь осаждались тонкодисперсные глинистые частицы. Преобладают гидрослюдистые и бейделлитовые глины, весьма однородные по гранулометрическому составу. Примеси представлены сидеритом, пиритом, глауконитом, марганцевыми и кремнистыми включениями, карбонатными и глинисто-карбонатными конкрециями. Мощность продуктивных толщ достигает 100 м и более. В Ленинградской области разрабатываются месторождения кембрийской «синей» глины мощностью до 200 м.

Геология месторождений глин и каолинов. Боровичско-Любытинская группа месторождений огнеупорных глин расположена на северо-западном крыле Московской синеклизы в пределах Любытинского, Окуловского и Боровичского районов Новгородской области. Площадь месторождений этой группы составляет 1500 км²; она вытянута в северо-западном направлении на 200 км при ширине 13–15 км – от ст. Угловка до д. Ключенки. Многие из месторождений приурочены к так называемому «карбоновому уступу», окаймляющему Мстинскую впадину. Продуктивной является песчано-глинистая толща нижнего карбона, залегающая на размытой поверхности верхнедевонских карбонатно-глинистых отложений. Огнеупорные глины приурочены к нижней части разреза этой толщи. Перекрываются они углями, углистыми и песчанистыми глинами и песками.

По степени пластичности и другим свойствам среди огнеупорных глин различают «сухари», «полусухари» и «мыленки». Близ Боровичей глины представлены преимущественно «сухарями» и «полусухарями», а у с. Любытино – «полусухарями» и «мыленками». Залежи огнеупорных глин имеют линзо- и пластообразную форму. Длина линз от 50 до 300 м, мощность – от 0–0,5 до 0,4 м. Глубина залегания огнеупорных глин на разных месторождениях и участках различна, обычно она составляет 20–110 м. Например, на Мишинском месторождении (24 км к северо-западу от г. Боровичи) глубина 35–112 м, на Волгинском (9 км к северу от г. Боровичи) – 21–72 м, на месторождении Пролетарий (5 км к востоку от г. Боровичи) – 32–64 м.

Наиболее ценными глинами являются «сухари», не размокающие в воде. Они светло-серые, серые и темно-серые, состоят из каолинита с

примесью гидраргиллита. Огнеупорность их – 1670–1770 ° С, содержание глинозема – 41–45 % и более. «Полусухари» светло-серого цвета, состоят из каолинита с примесью слюды, огнеупорность их – 1670–1710 ° С, содержание глинозема – 39 %. Пластичные глины («мыленки») светло-серые до черных, состоят из каолинита и существенной примеси слюды, наблюдаются включения углистого вещества, пирит, сидерит, местами примесь тонкозернистого песка; огнеупорность 1580–1730 ° С, содержание глинозема около 37 %. Огнеупорные глины отличаются высокой дисперсностью частиц (доминируют частицы диаметром менее 0,001 мм). Химический состав их испытывает значительные вариации.

Месторождения Боровичско-Любытинского глиноносного района эксплуатируются подземным и открытым способами. Глины используются в основном в производстве шамотных огнеупоров.

Месторождения глин и каолинов Беларуси. Месторождения глин связаны в основном с четвертичными отложениями (легкоплавкие глины), тугоплавкие – с олигоцен-плиоценовыми образованиями, распространенными на юге республики, а каолины – с корами выветривания. В настоящее время разведано более 220 *месторождений легкоплавких глин* с общими запасами около 200 млн м³ (разрабатывается более 100 месторождений, ежегодно добывается 2,5–3,5 млн м³). Сырьевая база *тугоплавких глин* базируется на 6 месторождениях с общими запасами по категориям А+В+С₁ 53,1 млн м³ и по категории С₂ – 3,5 млн м³. Эксплуатируются 4 месторождения: Городок, Столинские Хутора, Журавлево и Городное на юге Беларуси.

Каолины развиты в пределах Микашевичско-Житковичского выступа кристаллического фундамента. Они представляют собой продукт выветривания гранитогнейсов и гнейсов. Каолины, как правило, светло-серые и белые, слюдистые с примесью гидрослюд и монтмориillonита. Выявлены 4 месторождения: Ситница, Дедовка, Березина и Люденевичи – и несколько проявлений (Скрипицкое, Глушковичи, Селище). Залежи плащеобразные, мощность их 1,2–29,3 м (в среднем 10 м), глубина залегания – от 13 до 35 м. Прогнозные ресурсы оцениваются в 26,9 млн т. Предварительно разведаны 2 месторождения – Ситница (запасы по категории С₁ – 6,5 млн т) и Дедовка (запасы по категории С₁ – 6,3 млн т). Выход обогащенного каолина составляет 21,2–76,8 %. Они пригодны для производства фарфоровых и фаянсовых изделий, не требующих высокой белизны, а также шамотных изделий.

Лекция 21. ПЕСОК, ГРАВИЙ, ПЕСЧАНИКИ И КВАРЦИТЫ

Общие сведения. Песок – рыхлая осадочная порода, представленная мелкими обломками и зернами различных минералов и горных пород разной формы, размеров и степени окатанности. По гранулометрическому составу среди них различают мелкозернистые (величина зерен 0,25–0,1 мм), среднезернистые (0,5–0,25 мм), крупнозернистые (1–0,5 мм) и грубозернистые (2–1 мм) разновидности. Минеральный состав песков весьма разнообразный: кварцевые, кварц-полевошпатовые, кварц-глауконитовые, смешанные и др.

Гравий – рыхлая осадочная порода, состоящая из более или менее окатанных обломков различных горных пород (гранита, кремнистых пород, кварцита и др.) и минералов (большей частью кварца), причем размер зерен в основном варьирует от 1 до 10 мм (по данным некоторых авторов, – от 2 до 10 мм). Гравий в природе почти всегда встречается в смеси с песком, образуя песчано-гравийные и гравийно-песчаные породы, содержащие песок в количестве от 10 до 90 %.

Песчаники – осадочные сцементированные обломочные породы с зернами от 0,1 до 1 мм (по данным некоторых авторов, от 0,1 до 2 мм). По составу обломочных зерен выделяют песчаники трех основных типов: 1) мономинеральные (кварцевые), 2) олигомиктовые, 3) полимиктовые (граувакки, туффиты и др.). Цемент песчаников разнообразен (известковый, глинистый, кремнистый, железистый и др.).

Кварциты – это метаморфизованные и перекристаллизованные песчаники существенно кварцевого состава, в которых кварцевые зерна плотно прилегают друг к другу, образуя сплошную тонкозернистую массу, обладающую высокой механической прочностью.

Свойства. В основе применения в промышленности перечисленных выше горных пород лежат разнообразные физические и химические их свойства: рыхлость одних и механическая прочность других, абразивная способность зерен кварца, высокое содержание кремнезема и обусловленные этим огнеупорность и кислотоупорность. Залежи песка или гравия, разрабатываемые для заполнителей бетонов, должны быть чистыми, т. е. не содержать глинистого вещества, слюды и органических примесей. Для заполнителей бетонов очень важно такое свойство, как устойчивость к износу, особенно в тех случаях, когда бетон предназначен для дорожного строительства. Прочность заполнителя также имеет большое значение. Хороший заполнитель должен обладать

большой устойчивостью к замораживанию и оттаиванию, увлажнению и усыханию. Трещиноватые и пористые обломки вредны, поскольку они могут расщепиться, расслоиться или растрескаться в бетоне. Имеет значение также форма частиц. Наиболее предпочтительны изометричные, округлые частицы, так как угловатые обломки делают бетон «шероховатым».

Свойства песка и гравия определяются тремя способами: визуальным осмотром, лабораторными испытаниями и петрографическим изучением.

Применение в промышленности. Песок и гравий применяются в качестве заполнителей, инертных и отошающих материалов в производстве строительного и силикатного кирпича, бетона, вяжущих растворов, стеновых блоков и т. п. Песок, гравий и щебень используются также для баллаستировки железнодорожных путей, устройства основания и подстилающего слоя автомобильных дорог. Фильтровальные пески применяются при создании мощных фильтровальных систем для очистки питьевой и технической воды, формовочные пески – для получения литейных форм и стержней, кварцевые пески – в стекольном производстве. Из кварцитов, обладающих большой механической прочностью, мелкозернистостью, малой пористостью и высокой кислотоупорностью получают материалы, используемые для сооружения кислотных башен, хранилищ для кислот и т. п.

Общетехнические условия. Качество и пригодность песков, гравия и кварцитов для различных видов производства определяются соответствующими ГОСТами и техническими условиями, в которых предусматриваются необходимые требования к гранулометрическому и минеральному составу обломков, степени их выветрелости, механической прочности, содержанию вредных примесей и др. Так, применяемые при плавке медных и никелевых концентратов флюсы из песчаников и кварцитов должны содержать не менее 80 % SiO_2 и минимальное количество вредных примесей – оксидов железа, алюминия, магния и кальция.

Требования, предъявляемые к кварцевым пескам для стекольного производства, следующие: 1) однородность гранулометрического состава – не менее 90 % зерен с размерами от 0,1 до 0,3–0,5 мм; 2) содержание кварца не менее 96 %, а для оптического, зеркального и других стекол высших сортов – 99,3–99,8 %; 3) минимальное содержание оксидов железа и хрома, окрашивающих стекло в желтый и зеленый цвет.

Песчаники и кварциты, применяемые для производства динаса (огнеупор, содержащий не менее 90–93 % кремнезема и изготовленный на известковой, известково-железистой или иной связке), должны содержать не менее 95–97 % SiO_2 . Вредные примеси, которые лимитируются, – Fe, Al и Ca.

Технология производства стекла. Современная технология получения стекла включает ряд последовательных операций: подготовку необходимых сырьевых компонентов, их смешивание в определенных соотношениях в однородную шихту, варку шихты в стекловаренных печах для получения однородной жидкой стекломассы, доведения этой стекломассы до оптимальной для формирования изделий температуры и вязкости, формирование изделий, постепенное охлаждение полученных изделий, обработку (термическую, химическую, механическую) отформованных изделий.

Сырьевые материалы, используемые в производстве стекла, подразделяют на главные и вспомогательные. Главные материалы – кремнезем (обычно кварцевый песок или молотый кварц), борный ангидрид (бура или борная кислота), фосфорный ангидрид, оксид алюминия (глина, каолин, полевошпат, глинозем), оксиды щелочных металлов (сода или безводный сульфат натрия, поташ, литийсодержащие минералы) и др. К вспомогательным сырьевым материалам относят всевозможные осветлители (сульфаты натрия и алюминия, хлористый натрий и другие, способствующие удалению пузырей), обесцвечиватели (для окисления соединений железа), красители (оксиды различных металлов), глушители (различные фтористые соединения) и восстановители (углеродистые вещества).

Стекловарение ведется при температурах 1400–1600 °C. Выделяются три стадии: *провар*, или *собственно варка*, когда происходит химическое взаимодействие между компонентами шихты и образование вязкой массы; *очистка*, или *осветление*, – удаление пузырьков и растворение остаточных кварцевых зерен; *студка* – охлаждение стекломассы до оптимальной температуры для получения из нее изделий.

Генетические типы промышленных месторождений. Основное промышленное значение имеют *экзогенные месторождения песка и гравия*, представляющие собой либо обломочные продукты выветривания, либо механические осадки, возникшие в результате переноса водными потоками или ветром продуктов выветривания различных коренных пород. Среди них выделяют аллювиальные,

моренные, флювиогляциальные, морские и озерные песчаные и гравийно-песчаные отложения.

Осадочные месторождения песчаников сформировались в результате уплотнения и цементации песков, накопившихся в озерных или морских бассейнах. Цемент может быть первичным или вторичным. Залежи имеют, как правило, пластообразную форму, значительное распространение по площади и относительно выдержанную мощность. В пределах Восточно-Европейской платформы известны многочисленные месторождения кремнистых песчаников. Наиболее крупные из них: Тарасовское и Долотинское в Ростовской области (Россия) и Баническое в Сумской области (Украина).

Метаморфогенные месторождения кварцитов сформировались на низших ступенях регионального метаморфизма докембрийских и палеозойских песчаников. Залежи кварцитов представлены пластообразными и линзообразными телами. Такие месторождения имеются в пределах Украинского (Овручское) и Балтийского (Шокшинское, Сегозерское и др.) кристаллических щитов, Уральской геосинклинали (Рудничное месторождение на Среднем Урале).

Геология месторождений. Овручское месторождение кварцитов находится в Житомирской области Украины в 1,5 км к северу от ст. Толкачевская. Оно многие годы разрабатывалось строительными организациями Беларуси. Месторождение приурочено к северной части Украинского кристаллического щита и связано с овручской свитой, относимой к протерозою. Породы этой свиты прослежены на площади длиной 65 км и шириной 5–20 км. Кроме кварцитов и кварцитовидных песчаников в составе овручской свиты распространены пиррофиллитовые пропилит-хлоритовые сланцы, конгломераты, кварцевые порфиры, порфириты и диабазы. Мощность свиты до 150 м. Породы вскрыши представлены четвертичными песками, глинистыми со щебенкой и валунами кварцитов. На Толкачевском участке Овручского месторождения мощность вскрыши составляет 0,6–5,0 м. Кварциты и кварцитовидные песчаники слагают на этом участке северное крыло крупной брахиантиклинальной, углы падения которого составляют 10–15°.

Полезное ископаемое имеет розовую, буровато-розовую, серую и розово-бурю окраску. Структура пород мелкозернистая. Сложены кварциты и кварцитовидные песчаники главным образом кварцем, в незначительном количестве присутствуют мусковит и пиррофиллит, а в качестве акцессорных минералов – циркон, гематит, ильменит, апатит, рутил, лейкоксен и гидрогетит. Диаметр зерен кварца в кварцитах и

песчаниках в основном 0,05–0,30 мм. Мощность продуктивного горизонта колеблется от 20–25 до 75 м. Химический состав кварцитов (%): SiO_2 95–99; Al_2O_3 0,46–5,50; Fe_2O_3 0,09–3,68; CaO 0,19–1,44. Огнеупорность их 1750–1780 °С. Породы пригодны для получения динаса, а также для изготовления бутового камня, щебня и др.

Месторождения песков и песчано-гравийного сырья Беларуси. Месторождения песков стратиграфически связаны с четвертичной толщей, реже – с отложениями палеоген-неогена. Они, как правило, водно-ледникового и озерно-аллювиального происхождения, на юге Беларуси имеются также пески эолового генезиса. Песчано-гравийные и песчано-галечниковые образования обычно связаны с моренными и конечно-моренными, реже с аллювиальными и древнеаллювиальными аккумуляциями.

Сырьевая база строительных и силикатных песков включает около 80 месторождений с общими запасами 348,0 млн м³. Пески залегают на поверхности или близко от последней в виде линзовидных или пластообразных залежей различных размеров. Мощность отдельных залежей достигает 15 м. Разрабатывается более 35 месторождений. Среди них – Кульбаки, Оршанское, Песчаная Гора, Олышанка и др. Ежегодная добыча составляет 7–8 млн м³.

Залежи формовочных песков выявлены в Жлобинском (месторождение Четверня) и Добрушском (Ленино) районах Гомельской области. Месторождение Четверня эксплуатируется Жлобинским карьероуправлением, а Ленино – Гомельским горно-обогатительным комбинатом. Ежегодно добывается 0,55–0,60 млн м³ формовочных песков.

Залежи песчано-гравийного материала широко распространены на севере и в центре Беларуси. По размерам они обычно небольшие (до 50 га), иногда более. Мощность продуктивной толщи – от 1–3 до 10–20 м. Гранулометрический состав непостоянный, содержание основных компонентов варьирует (%): гравия – от 5–10 до 75, гальки – от 0 до 55, песка – от 5–10 до 75, глинистых частиц – до 5–7. Разведано более 130 месторождений с общими запасами 704,4 млн м³, из них эксплуатируется около 80 месторождений. Ежегодно добывается 2,5–2,9 млн м³ песчано-гравийного материала.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Еремин Н. И.* Неметаллические полезные ископаемые: Учеб. для вузов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 284 с.
2. *Кравцов А. И.* Основы геологии горючих ископаемых: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1982. – 424 с.
3. *Кужварт М.* Неметаллические полезные ископаемые / Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 472 с.
4. Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых: Учеб. пособие для вузов / Под ред. П. М. Татаринова. – М.: Недра, 1969. – 472 с.
5. Курс месторождений твердых полезных ископаемых: Учеб. пособие для вузов / П. М. Татаринов, А. Е. Корякин, А. С. Голиков и др. – Л.: Недра, 1975. – 631 с.
6. *Матвеев А. К.* Угольные бассейны и месторождения зарубежных стран: Учеб. пособие для вузов. – М.: МГУ, 1979. – 311 с.
7. Месторождения твердых горючих ископаемых. 27-й МГК. Т. 14. – С. 14 / Под ред. В. С. Борисова, М. В. Великанова, М. В. Голицына, В. Р. Клер. – М.: Наука, 1984. – 110 с.
8. Минеральные ресурсы мира / Под ред. Л. В. Оганесяна. – М.: ГНПП «Аэрогеология», 1998. – 738 с.
9. Основы геологии горючих ископаемых / И. В. Высоцкий, Ю. И. Корчагина, В. В. Семенович и др.: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1986. – 366 с.
10. Основы геологии горючих ископаемых / В. В. Семенович, И. В. Высоцкий, Ю. И. Корчагина и др.: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1987. – 397 с.
11. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых (пособие для лабораторных занятий): Учеб. пособие для вузов / И. Ф. Романович, А. В. Коплус, И. Н. Тимофеев и др. – М.: Недра, 1982. – 207 с.
12. *Романович И. Ф.* Месторождения неметаллических полезных ископаемых: Учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1986. – 366 с.
13. *Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. – М.: Недра, 1982. – 688 с.

Дополнительная

14. *Ажгиревич Л. Ф.* Буроугольная формация кайнозоя Белоруссии. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 205 с.

15. *Бейтс Р. Л.* Геология неметаллических полезных ископаемых / Пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 546 с.

16. *Высоцкі Э. А., Пятрова Н. С.* Асаблівасці мінералагічнага складу эвапарытавых каліяносных фармацый // Літасфера. 1996. – № 4. – С. 95–101.

17. *Высоцкий Э. А.* Тектонические типы бассейнов калиенакопления // Условия образования месторождений калийных солей. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 23–29.

18. *Высоцкий Э. А.* Калийные соли и угли как показатели климатических изменений в геологической истории Земли // Литосфера. 1995. – № 3. – С. 53–59.

19. *Высоцкий Э. А.* Твердые полезные ископаемые Беларуси: современное состояние, проблемы и перспективы освоения // Выбр. навуц. працы Беларус. дзярж. ун-та. Т. 7. Біялогія. Геаграфія. – Мн.: БДУ, 2001. – С. 241–264.

20. *Высоцкий Э. А., Демидович Л. А., Дервянкин Ю. А.* Геология и полезные ископаемые Республики Беларусь: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Універсітэцкае, 1996. – 184 с.

21. *Гапеев А. А.* Твердые горючие ископаемые (каустобиолиты): Учеб. для вузов. – М.: Гос. изд-во геол. лит., 1949. – 335 с.

22. Генетические типы, закономерности размещения и прогноз месторождений брусита и магнезита / П. П. Смолин, А. И. Шевелев, Л. П. Урасина и др. – М.: Недра, 1984. – 318 с.

23. Геологическое строение и условия формирования Бриневского месторождения гипса / Э. А. Высоцкий, А. А. Махнач, Н. С. Петрова и др. // Природные ресурсы. 2001. – № 4. – С. 22–34.

24. Геология месторождений фосфоритов. Сб. статей / Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 312 с.

25. *Голицын М. В., Голицын А. М.* Все об угле. – М.: Наука, 1989. – 192 с.

26. *Джейкс А., Луис Дж., Смит К.* Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. – М.: Недра, 1989. – 430 с.

27. *Каминский Ф. В.* Новый генетический тип промышленно-алмазоносных пород – лампроиты Западной Австралии // Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. – М.: ВИЭМС, 1987. – 47 с.

28. *Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н., Гаврилов А. П.* / Геология месторождений драгоценных камней. – М.: Недра, 1974. – 328 с.
29. *Колтун В. И., Роскош Я. Т., Сеньковский Ю. М.* Литогенез серных месторождений Предкарпатья. – Киев: Наукова думка, 1972. – 156 с.
30. *Корневский С. М.* Комплекс полезных ископаемых галогенных формаций. – М.: Недра, 1973. – 300 с.
31. *Кропачева С. К.* Сравнительный анализ строения сероносных галогенных формаций. – М.: Недра, 1981. – 120 с.
32. *Кудряшов А. И.* Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – 429 с.
33. Международный толковый словарь по петрологии углей. Пер. с англ. / Под ред. П. П. Тимофеева и Л. И. Боголюбова. – М.: Наука, 1965. – 266 с.
34. Мінеральна-сыравінная база Беларусі: стан, праблемы і перспектывы развіцця / В. Бескапыльны, Э. Высоцкі, Р. Гарэцкі і інш. // Сучасныя праблемы геалогіі Беларусі, Літвы і Польшчы: Матэрыялы Міжнар. навук. канф., прысвечанай 200-годдзю з дня нараджэння Ігната Дамейкі (Мінск, 13 верасня 2002 г.). Мн.: Інстытут геалагічных навук НАН Беларусі, 2002. – С. 78–101.
35. *Озол А. А.* Бороносность галогенных и вулканогенно-осадочных формаций мира // Геологические методы поисков и разведки полезных ископаемых. – М.: ВИЭМС, 1979. – 66 с.
36. *Отрешко А. И.* Сероносные провинции и районы азиатской части СССР. – М.: Недра, 1977. – 142 с.
37. Поиски и разведка месторождений минерального строительного сырья: На примере четвертичных отложений: Учеб. пособие для вузов / В. И. Ярцев, Э. А. Высоцкий, В. Н. Губин и др. – Мн.: БГУ, 2002. – 175 с.
38. Поиски, разведка и промышленная оценка месторождений хризотил-асбеста / К. К. Золоев, М. Я. Шмайна, В. И. Чемякин, К. Г. Башта. – М.: Недра, 1979. – 94 с.
39. Полезные ископаемые Беларуси: К 75-летию БелНИГРИ / Редкол.: П. З. Хомич и др. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.
40. *Полкунов В. Ф.* Глобальная позиция месторождений самородной серы и тектоника плит. – Львов, 1986. – 41 с. Деп. ВИНТИ. № 8613 – В 86.
41. *Савельев А. К.* Геология баритовых месторождений. – М.: Недра, 1978. – 190 с.
42. *Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Зинчук Н. Н.* Эпохи мощного корообразования и алмазоносного магматизма в истории Земли. – Воронеж: ВГУ, 1999. – 102 с.

43. Соколов А. С. Генетическая классификация месторождений самородной серы // Геохимия и минералогия самородной серы. – М., 1972. – С. 40–55.

44. Соколов А. С. Основные закономерности строения и размещения месторождений серы // Закономерности образования и размещения месторождений серы как теоретическая основа их прогноза и поисков. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 10–23.

45. Строение и закономерности размещения серных месторождений СССР / В. И. Китык, В. Ф. Полкунов, О. Т. Степаненко и др. – Киев: Наукова думка, 1979. – 320 с.

46. Торфяные ресурсы мира / Под ред. А. С. Оленина. – М.: Недра, 1988. – 384 с.

47. Ферсман А. Е. Драгоценные и цветные камни СССР: Избр. тр. Т. 7. – М.: АН СССР, 1962. – 592 с.

48. Фосфаты на рубеже XXI века / Под ред. Ю. А. Кипермана. – Москва – Алматы – Жанатас: АОЗТ «Геоинформмарк», 1996. – 108 с.

49. Чебаненко В. В. Геологическое строение Мишракского месторождения самородной серы (Ирак) // Геология месторождений самородной серы. – М.: Недра, 1969. – С. 374–379.

50. Юсипов А. А., Чупров В. И., Юсипов Р. А. Мировой рынок цветных камней и минералов // Минеральные ресурсы России, 1999. – № 4. – С. 52–60.

51. Янин А. Л., Жарков М. А. Фосфор и калий в природе. – Новосибирск: Наука, 1986. – 190 с.

52. Ярцев В. И., Аношко Я. И. Минералогия. Изучение и определение обломочных минералов антропогенных пород Беларуси: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 368 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
-------------------	---

ЧАСТЬ I

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лекция 1. Введение. Геохимия углерода и происхождение твердых горючих полезных ископаемых.....	4
Лекция 2. Торф.....	9
Лекция 3. Уголь: стадийность углеобразования, состав, свойства и классификация.....	13
Лекция 4. Геология угольных месторождений	21
Лекция 5. Горючие сланцы	29

ЧАСТЬ II

МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лекция 6. Общие сведения о неметаллических полезных ископаемых. Каменная соль	34
Лекция 7. Калийные и калийно-магниевые соли.....	39
Лекция 8. Фосфаты	47
Лекция 9. Сера.....	55
Лекция 10. Бор	60
Лекция 11. Асбест.....	65
Лекция 12. Барит и виверит	71
Лекция 13. Графит	77
Лекция 14. Магнезит и брусит.....	81
Лекция 15. Слюда	85
Лекция 16. Алмазы	91
Лекция 17. Камнесамоцветное сырье	99
Лекция 18. Гипс и ангидрит.....	106
Лекция 19. Карбонатные породы	111
Лекция 20. Глины, каолины, глинистые породы	116
Лекция 21. Песок, гравий, песчаники и кварциты	122
ЛИТЕРАТУРА	127