

А.Ф.Горовой, Ю.П.Шубин

**ГЕОЛОГИЯ:
РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие

А.Ф.Горовой, Ю.П.Шубин

**ГЕОЛОГИЯ:
РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. Ф. Горовой, Ю. П. Шубин

**ГЕОЛОГИЯ:
РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие

Рекомендовано Ученым советом ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»

Алчевск
2017

УДК 550.8 (075.8)

ББК Д450.6я7

Г67

Горовой Анатолий Федорович — доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии (1984–1996 гг.), заведующий кафедрой маркшейдерии, геодезии и геологии (1996–2005 гг.) ДонГТУ;

Шубин Юрий Павлович — кандидат геологических наук, доцент кафедры маркшейдерии, геодезии и геологии ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ».

Рецензенты:

Т. Г. Шумилова — доктор геолого-минералогических наук, руководитель лаборатории минералогии алмаза Федерального бюджетного учреждения науки Института геологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук;

П. Н. Шульгин — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных геотехнологий ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»;

Е. С. Смекалин — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных геотехнологий ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ».

*Рекомендовано Ученым советом ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»
(Протокол № 9 от 28.04.2017)*

Горовой А. Ф.

Г67 Геология: разведка месторождений полезных ископаемых / **А. Ф. Горовой**, Ю. П. Шубин. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. — 150 с.

Учебное пособие предназначено для изучения студентами горных специальностей второй части курса «Геология» — разведка месторождений полезных ископаемых, необходимого для подготовки горняков, при этом значительное внимание уделено угольной геологии, что особенно необходимо при подготовке горняков-угольщиков.

УДК 550.8 (075.8)

ББК Д450.6я7

© **А. Ф. Горовой**, Ю. П. Шубин, 2017
© ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017
© Н. В. Чернышова, художественное оформление обложки, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 5 |
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ..... | 8 |
| 1.1 Понятие о полезности ископаемых. Промышленные кондиции..... | 8 |
| 1.2 Промышленное использование | 9 |
| 1.3 Площади распространения | 11 |
| 1.4 Форма тел | 13 |
| 1.5 Минеральный и химический состав..... | 18 |
| 1.6 Генетическая классификация месторождений..... | 19 |
| 2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УГЛЕ | 21 |
| 2.1 Роль угля в народном хозяйстве. Запасы и использование угля в народном хозяйстве..... | 21 |
| 2.2 Угольный и нефтяной ряды каустобиолитов. Генетическая классификация горючих ископаемых | 28 |
| 2.3 Ископаемый уголь..... | 29 |
| 2.4 Природные типы углей | 30 |
| 2.5 Петрографический состав углей..... | 32 |
| 2.6 Свойства углей | 35 |
| 2.7 Микроэлементы в углях..... | 39 |
| 3 КАЧЕСТВО УГЛЕЙ | 43 |
| 3.1 Оценка петрографического состава | 44 |
| 3.2 Влажность и влагоемкость | 44 |
| 3.3 Зольность. "Соленые" угли..... | 45 |
| 3.4 Сернистость..... | 46 |
| 3.5 Фосфор..... | 47 |
| 3.6 Удельная теплота сгорания..... | 47 |
| 3.7 Элементный состав | 49 |
| 3.8 Летучие вещества..... | 50 |
| 3.9 Спекаемость..... | 51 |
| 3.10 Коксуемость..... | 53 |
| 3.11 Выход смолы | 54 |
| 3.12 Сорты угля..... | 54 |
| 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ УГЛЕНАКОПЛЕНИЯ | 56 |
| 4.1 Условия накопления растительного материала | 56 |
| 4.2 Стадии углеобразования | 57 |
| 4.3 Угольный пласт | 61 |
| 4.4 Угленосная формация | 65 |
| 4.5 Угленосные провинции, угольные бассейны и месторождения | 69 |
| 4.6 Метаморфизм углей | 74 |
| 4.7 Выветривание углей..... | 78 |
| 4.8 Месторождения нефти, газа, горючих сланцев | 80 |

| | |
|---|-----|
| 5 ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ | 83 |
| 5.1 Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых | 83 |
| 5.2 Поисковые критерии и поисковые признаки | 89 |
| 5.3 Методы поисков | 94 |
| 5.4 Поисковые работы..... | 99 |
| 5.5 Поисково-оценочные работы..... | 100 |
| 6 РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ..... | 104 |
| 6.1 Задачи разведки | 104 |
| 6.2 Принципы разведки..... | 105 |
| 6.3 Методы разведки | 106 |
| 6.4 Технические средства разведки..... | 107 |
| 6.5 Геофизические методы разведки..... | 109 |
| 6.6 Прослеживание и оконтуривание тел полезных ископаемых..... | 110 |
| 6.7 Стадии разведочного процесса..... | 112 |
| 7 ОПРОБОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ..... | 117 |
| 7.1 Опробование без отбора проб..... | 117 |
| 7.2 Опробование с отбором проб | 117 |
| 7.3 Виды опробования | 120 |
| 7.4 Обработка проб | 121 |
| 8 ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО, СЛОЖНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ..... | 125 |
| 8.1 Группировка месторождений по сложности геологического строения..... | 125 |
| 8.2 Классификация запасов полезных ископаемых по степени разведанности..... | 126 |
| 8.3 Подготовленность разведанных месторождений для промышленного освоения..... | 131 |
| 8.4 Подсчет запасов полезного ископаемого | 132 |
| 9 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ..... | 142 |
| 9.1 Обоснование кондиций в условиях разрабатываемых месторождений | 142 |
| 9.2 Классификация промышленных запасов | 142 |
| 9.3 Потери и разубоживание полезных ископаемых..... | 144 |
| 9.4 Учет состояния и движения запасов. Государственный кадастр и баланс..... | 145 |
| ЛИТЕРАТУРА..... | 150 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Постоянно усложняющиеся условия разработки полезных ископаемых в результате перехода на большие глубины и вовлечение в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими особенностями залегания оказывают решающее влияние на вскрытие, подготовку и отработку месторождений, на качество и себестоимость минерального сырья, на безопасность труда.

Горняк, значительно больше времени, чем геолог, проводит в забое, наблюдая за постоянно обновляющимися обнажениями горных пород и полезных ископаемых, и поэтому получает более обширную инженерную информацию по геологическому строению разрабатываемого месторождения. В связи с этим очень важно научить будущего горного инженера сбору, обработке и анализу полученных сведений, правильной их интерпретации и использованию в своей практической работе.

Учебным планом подготовки специалиста-горняка предусмотрено изучение вопросов разведки месторождений полезных ископаемых в рамках изучения второй части курса «Геология». Отсутствие в достаточном количестве учебников по этому курсу и необходимость современной корректировки методического материала обусловили написание учебного пособия, которое должно способствовать студентам-горнякам всех форм обучения при изучении этого предмета.

Учебное пособие содержит разделы: «Общие сведения о полезных ископаемых», «Общие сведения об угле», «Качество углей», «Условия угленакопления», «Поиски месторождений полезных ископаемых», «Разведка месторождений полезных ископаемых», «Опробование месторождений полезных ископаемых», «Запасы полезного ископаемого. Группы месторождений по сложности геологического строения» и «Геологическое обслуживание действующих горных предприятий». Изучению предлагаемого курса должно предшествовать получение студентами знаний по вопросам общей геологии, гидрогеологии, инженерной геологии, а также по вопросам геологии, генезиса и промышленных типов месторождений полезных ископаемых.

Учебное пособие рекомендуется студентам специальности 21.05.04 «Горное дело».

ВВЕДЕНИЕ

Полезные ископаемые — важнейшая составная часть естественных производительных сил человеческого общества. Технический прогресс XXI в. требует значительного увеличения мировой добычи разнообразных видов минерального сырья, которая ежегодно увеличивалась на 5 %. В прошлом столетии, к примеру, в 30–50 раз возросла добыча бокситов, платины, молибдена и природного газа, в 10–20 раз — урана, нефти, никеля, вольфрама, в 2–10 раз — марганцевых и железных руд, алмазов, в 2 раза — угля и серебра. В XXI веке ожидается увеличение добычи энергетического сырья (нефть, приприродный газ, уголь и уран), цветных металлов (алюминий, медь и цинк), неметаллических полезных ископаемых, агрономического сырья для сельского хозяйства (фосфориты и калийные соли). В СНГ каждый год из недр извлекалось более 15 млрд. т полезных ископаемых или треть мировой добычи. На развитие минерально-сырьевой базы расходуется две пятых всех капиталовложений в индустрию. Задачей геологов является обеспечение сырьем действующих горнорудных предприятий и открытие новых месторождений полезных ископаемых в уже освоенных районах или в районах, экономически благоприятных для освоения.

Однако запасы минерального сырья в земной коре ограничены. Практически все самые крупные месторождения с высококачественным сырьем и благоприятными горно-геологическими условиями, выходящие на дневную поверхность, известны, и многие из них уже освоены или осваиваются. Дальнейший прирост запасов может происходить за счет выявления скрытых месторождений. Сегодня необходимо хорошо знать геологические условия образования и закономерности размещения уже известных месторождений, уметь научно прогнозировать перспективные площади, в пределах которых в процессе дальнейших геолого-разведочных работ возможно выявление новых запасов минерального сырья. Нужно быть готовым к тому, что вновь открываемые месторождения могут быть расположены в сложных горно-геологических условиях, характеризоваться невысоким качеством минерального сырья.

На повестке дня стоит вопрос о поисках новых видов и заменителей традиционных видов полезных ископаемых, об использовании нетрадиционных источников минерального сырья. Под последним следует понимать

полное извлечение компонентов из полезного ископаемого и продуктов его переработки, утилизацию отходов газа, тепла, щебня и т. д.; повторную переработку ранее некондиционного сырья, находящегося в отвалах; извлечение ценных компонентов из океанических и подземных вод; вторичное сырье; почвенно-растительный слой в районах крупных потребителей минерального сырья и др. Например, Канада и Франция, извлекая серу из нефти и газа, стали ее крупными производителями. При сжигании углей Донбасса можно улавливать ртуть и германий. В настоящее время наблюдается тенденция увеличения использования биотоплива в мире, ожидается, что к 2020 г. доля биотоплива для транспортных средств составит 15 %. Добыча сланцевого газа в США за последние пять лет выросла более, чем в пять раз и в 2015 г. превысила добычу природного газа Газпромом. Использование нетрадиционного сырья для извлечения полезных ископаемых будет способствовать значительному улучшению экологической обстановки.

Запасы минерального сырья географически распределены крайне неравномерно. Так, среди стран дальнего зарубежья наиболее крупными производителями нефти являются США, Саудовская Аравия и Иран, природного газа — США, Канада и Нидерланды, каменного угля — США, Германия и Великобритания, ядерного топлива — США, Канада и ЮАР, железной руды — Австралия, США и Бразилия. Но за рубежом нет такой промышленно развитой страны, которая смогла бы обеспечить себя в полной мере всеми видами собственных минеральных ресурсов, что вызывает необходимость развития экономических связей и торговли полезными ископаемыми.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.1 Понятие о полезном ископаемом. Промышленные кондиции

Полезное ископаемое — природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве непосредственно (уголь, торф, горючий газ, песок и др.) или после определенной переработки (руды металлов и др.) или обработки (драгоценные камни и др.). Полезные ископаемые бывают газообразными (горючие газы, инертные газы), жидкими (нефть, подземные воды), вязкими (битумы) и твердыми (минералы и горные породы). Они отличаются от горной породы содержанием ценных компонентов, количество которых должно быть больше установленного предела, называемого минимальной промышленной кондицией. Для некоторых видов она определяется содержанием вредных примесей (угли для получения доменного кокса должны содержать не более 0,012 фосфора) или мощностью пласта полезного ископаемого. Например, коксующиеся угли разрабатываются при мощности не менее 0,6–0,7 м (в Донбассе — 0,5–0,55 м), энергетические угли — 0,7–1,0 м. Лимитируется также мощность породных прослоев в угольных пластах сложного строения. При оценке качества неметаллического полезного ископаемого существующие кондиции отражают технологические свойства минерального сырья. Так, для слюды учитывают ее электроизоляционные свойства, размер и прозрачность пластин, для асбеста — огнестойкость, длину волокна, его прочность и эластичность. Качество горючих полезных ископаемых определяется удельной теплотой сгорания, способностью к коксованию, зольностью, содержанием серы и фосфора, спекаемостью, выходом смолы.

Таким образом, свойства полезных ископаемых, определяющие его промышленную ценность и возможности их использования, объединяются общим понятием — качество полезного ископаемого. Показатели качества определяются химическим и минеральным составом, структурно-текстурными особенностями, физическими и технологическими свойствами.

Во многих случаях на качество руд влияет их минеральный состав, структура и текстура. Так, из окисной формы железо извлекается почти полностью, а из силикатной — не извлекается. Структурно-

текстурные особенности руд во многом определяют их обогатимость, так мелкозернистые руды с извилистыми границами зёрен отличаются плохой обогатимостью.

Содержание полезных компонентов для различных полезных ископаемых выражается: в процентах, в граммах на тонну, в граммах на кубический метр. В одних полезных ископаемых определяется содержание элементов, для других — содержание оксидов или минералов.

Кондиции не являются строго постоянными, они изменяются в связи с конъюнктурой, совершенствованием техники и технологии добычи и переработки минерального сырья. К примеру, на Никитовском рудном поле в начале эксплуатации (начали разрабатывать с 1886 г.) добывали руду с содержанием ртути не ниже 1,0 %, в конце 80-х годов XX века — 0,006–0,02 %. Влияние на величину устанавливаемой минимальной промышленной кондиции оказывают географо-климатические и социальные условия, энергообеспеченность, наличие людских резервов и транспортных путей.

1.2 Промышленное использование

По промышленному использованию полезные ископаемые подразделяются на рудные (металлические), нерудные (неметаллические) и горючие, или каустобиолиты (каустос – горючий, биос – жизнь, литос – камень). Иногда выделяют гидротермальные полезные ископаемые, куда входят термальные (теплые 20–37 °С, горячие 37–42 °С и очень горячие выше 42 °С), минеральные (углекислые, сероводородные и радиоактивные) и промышленные (йодные, бромные, содовые и др.) подземные воды (таблица 1).

Рудные или металлические полезные ископаемые (руда) — агрегаты минералов, из которых технологически возможно и экономически целесообразно извлекать металл или металлические соединения. Они подразделяются на руды черных (железо, марганец, хром), легирующих (титан, ванадий, никель, кобальт, молибден, вольфрам), цветных (алюминий, магний, медь, цинк, свинец, олово, ртуть, сурьма, висмут), благородных (золото, серебро, группа платины), радиоактивных (уран, торий) и редких (литий, рубидий, цезий и др.) металлов.

Нерудные или неметаллические полезные ископаемые — неметаллическое вещество, которое по качеству пригодно для использования в народном хозяйстве. Среди них выделяют: промышленные (драгоценные, поделочные и технические камни — алмаз, графит, слюды, асбест, флюорит, исландский шпат и др.), химическое и агрономическое сырьё (минеральные соли, фосфатное, серное и борное сырьё) и строительные материалы (керамическое сырьё, глины и каолины, песок и гравий и др.).

Горючие полезные ископаемые — минеральное вещество, которое используется в качестве энергетического (тепло), технологического и химического сырья. К горючим полезным ископаемым относят торф, бурый уголь, каменный уголь и антрацит, образующие угольный ряд, сапропель, горючий сланец, сапропелит, асфальт, асфальтит, озокерит, нефть и природные газы, составляющие нефтяной ряд.

Таблица 1 — Классификация полезных ископаемых по направлениям использования (по Сокерину М.Ю.)

| Наименование класса | Наименование подкласса | Полезные ископаемые | Ед. измерения |
|---|------------------------|--|---------------------|
| Топливно-энергетические ресурсы | Углеводородное сырьё | Нефть, конденсат | тыс. т |
| | | Природный газ | млн. м ³ |
| | Твёрдое топливо | Каменный уголь, бурый уголь, горючие сланцы, торф | млн. т |
| | | Уран | т |
| Чёрные металлы | | Железо, марганец, хромовая руда | тыс. т |
| Цветные и редкие металлы | | Алюминий, медь, свинец, цинк, никель, титан, цирконий | тыс. |
| | | Кобальт, олово, вольфрам, молибден, ртуть, сурьма, висмут, тантал, ниобий, бериллий, редкоземельные и другие металлы | т |
| | | | т |
| Благородные металлы и драгоценные камни | Благородные металлы | Золото, платиноиды | кг |
| | | Серебро | т |
| | Алмазы | Алмазы | тыс. карат |
| | Драгоценные камни | | кг |

Продолжение таблицы 1

| | | | |
|-------------------------------------|--|--|----------------------|
| Неметаллические полезные ископаемые | Индустриальное и горнохимическое сырьё, строительные материалы, общераспространенные полезные ископаемые | Апатит | млн.т |
| | | Фосфориты, плавиковый шпат, калийные соли, поваренная соль, графит, тальк, магнезит, брусит, цеолиты, бор, гипс, каолин, кварциты для металлургии, кварцевые пески для стекольной промышленности, огнеупорные глины, цветные камни | тыс.т |
| | | Слюды, мусковит, асбест, исландский шпат, особо чистое кварцевое сырьё | т |
| | | Пьезооптический кварц | кг |
| Подземные воды | | Питьевые, минеральные, термальные, промышленные, технические | м ³ /сут. |

1.3 Площади распространения

Площади распространения полезных ископаемых подразделяются на провинции, области (бассейны и пояса), районы (узлы), поля, месторождения, рудопроявления и тела.

Провинция полезных ископаемых охватывает крупный участок земной коры — геосинклиналь, платформу, дно океана (Карпатская провинция, провинция Русской платформы, провинция дна Тихого океана и др.). С целью конкретизировать вид полезного ископаемого указывают: металлогеническая (рудные полезные ископаемые), минералогеническая (нерудные полезные ископаемые), угленосная, нефтегазоносная и гидрогеологическая провинции.

Область полезных ископаемых — часть провинции, характеризующаяся присутствием минерального сырья определённого состава и близкого происхождения, размещение которого подчинено крупному тектоническому элементу (антиклинорий и синклинорий, внутренние и периферические зоны геосинклиналей, зоны активизации платформ и др.). Как правило, в складчатых областях такие тектонические элементы обычно вытянуты в одном направлении, и скопления полезных ископаемых образуют протяжённые *пояса*, расположенные вдоль разломов в земной коре. Например, южный ртутный пояс Большого Кавказа прослеживается на 500 км. Полезные ископаемые осадочного происхожде-

ния слагают бассейны, площадь которых может достигать нескольких тысяч квадратных километров (Днепровско-Донецкий нефтегазоносный бассейн, Донецкий угольный бассейн, Никопольский марганцеворудный бассейн и др.).

Район полезных ископаемых занимает часть области с высокой концентрацией (*узлом*) полезных ископаемых в земной коре. На территории Донбасса выделено 30 угленосных районов, Северного Кавказа - 8 ртутных районов.

Поле полезного ископаемого входит в состав района и включает несколько месторождений (рудопроявлений) аналогичного состава и происхождения, приуроченных к единой геологической структуре. Никитовское ртутное рудное поле включает ртутные месторождения Железнянское, Чегарникское, Софиевское, Полукупол Новый, Новозаводское и Чернокурганское, рудопроявление Чернобугорское с единственным промышленным минералом — киноварью и размещено в пределах Горловской антиклинали II порядка по отношению к Главному антиклиналу Донбасса вдоль крутопадающих разрывов, характеризующихся общностью происхождения.

Месторождение полезного ископаемого — скопление минерального сырья в земной коре в таком количестве (табл. 2), при таком качестве и при таких горногеологических условиях, когда экономически целесообразно его извлечение подземным или открытым способом.

Рудопроявление — небольшие или слабо изученные скопления полезного ископаемого в земной коре, эксплуатация которого в настоящее время экономически нецелесообразна. Перевод месторождения в рудопроявление и наоборот часто зависит от спроса на минеральное сырье.

Тело полезного ископаемого — локальное скопление минерального вещества различной формы и размеров, приуроченное к благоприятному стратиграфическому, литологическому и структурному элементу или к их комбинации. Граница между телом и вмещающей породой может отчетливо наблюдаться и устанавливаться визуально (каменный уголь, богатые железные руды, глина и др.), может визуально не наблюдаться и устанавливаться по результатам опробования. Тела полезного ископаемого бывают сложными и содержащими безрудные участки.

Таблица 2 — Размерность месторождений полезных ископаемых

| Полезное ископаемое | Масштаб месторождений по запасам | | |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------|----------|
| | Крупные | Средние | Мелкие |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Миллионы тонн | | | |
| Уголь: бурый | 1000 | 1000-100 | 100 |
| энергетический | 500 | 500-50 | 50 |
| коксующийся | 300 | 300-50 | 50 |
| Железная руда | 300 | 300-50 | 50 |
| Марганцевая руда | 30 | 30-3 | 3 |
| Хромитовая руда | 10 | 10-1 | 1 |
| Бокситы | 50 | 50-5 | 5 |
| Титан: коренные россыпи (рутил) | 10 1 | 10-3 1-0,1 | 3 0,1 |
| россыпи (ильменит) | 5 | 5-0,5 | 0,5 |
| Фосфориты | 30 | 30-10 | 10 |
| Апатиты | 50 | 50-10 | 10 |
| Калийные соли (K ₂ O) | 500 | 500-100 | 100 |
| Тысячи тонн | | | |
| Медь | 1000 | 1000-100 | 100 |
| Никель | 200 | 200-30 | 30 |
| Свинец | 1000 | 1000-100 | 100 |
| Цинк | 1000 | 1000-100 | 100 |
| Сурьма | 100 | 100-10 | 10 |
| Олово: коренное | 50 | 50-5 | 5 |
| россыпное | 10 | 10-1 | 1 |
| Тонны | | | |
| Золото: коренное | 50 | 50-5 | 5 |
| россыпное | 3 | 3-0,5 | 0,5 |

1.4 Форма тел

По соотношению размеров в трех взаимноперпендикулярных направлениях тела твердых полезных ископаемых подразделяются на изометричные, плоские и столбообразные.

Изометричные тела характеризуются примерно одинаковыми размерами в трех направлениях. К ним относятся штоки, гнезда и штокверки (рис. 1). *Шток* — крупное (размером более 10 м) тело, практически полностью сложенное полезным ископаемым (штоки хромита, медных руд, каменной соли). В отличие от штоков размеры *гнезд* не превышают

10 м (гнезда ртутных и сурьмяных руд и др.). *Штокверк* — блок горной породы разных размеров, пронизанный секущими маломощными жилками и насыщенный вкраплениями минерального вещества (оловянные, молибденовые, ртутные и другие руды).

В плоских телах два размера (простираение и падение) значительно преобладают над третьим (мощность). Наиболее характерными представителями таких тел являются пласты и жилы. *Пласт* — тело, вытянутое по простираению и падению на сотни и более метров, ограниченное верхней (кровля) и нижней (почва) поверхностями напластования. Пласт является характерной формой тел осадочных месторождений (уголь, фосфориты, марганцевые и железные руды).

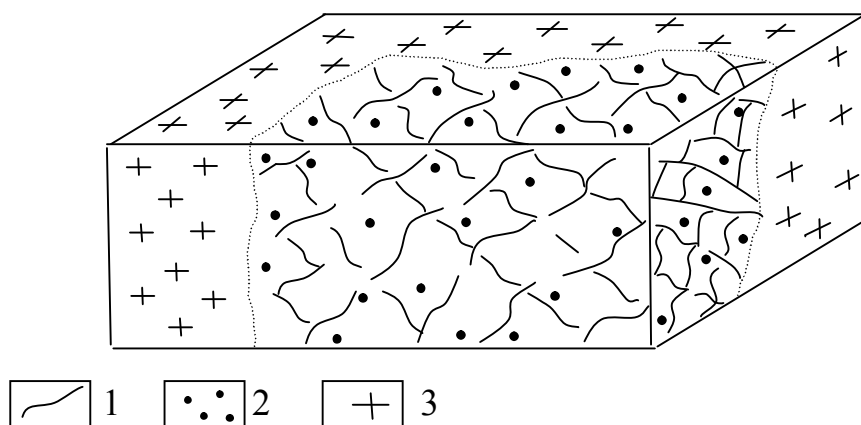


Рисунок 1 — Рудный штокверк (рудные жилки (1) и вкрапленная минерализация (2)) в гранитах (3)

По строению пласты бывают простыми (не содержит породных прослоев), умеренно сложными (содержит 1–2 породных прослоя) и очень сложными (переслаивание многочисленных прослоев минерального вещества и породных прослоев — рис.2).

Кратчайшее расстояние от кровли до почвы называется истинной мощностью пласта. В угольных пластах различают несколько видов измеряемой мощности: 1) *общая геологическая* мощность всех угольных и породных прослоев от кровли до почвы; 2) *общая полезная* — суммарная мощность прослоев (пачек) в пласте; 3) *кондиционная рабочая* — суммарная мощность угольных и породных прослоев той части угольного пласта, которая удовлетворяет требованиям кондиций; 4) *вынимаемая общая* — суммарная мощность разрабатываемых угольных пластов.

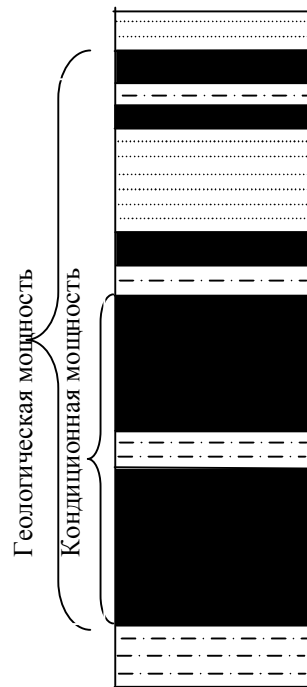


Рисунок 2 — Угольный пласт сложного строения

В зависимости от мощности угольные пласты подразделяются на весьма тонкие (до 0,5 м), тонкие (0,5–1,3 м), средние (1,3–3,5 м), мощные (3,5–15 м) и весьма мощные (более 15 м). Мощность пласта по простиранию и по падению, как правило, изменяется. У *выдержанных* по мощности пластов отклонение от средней величины составляет до 25 %, у *относительно выдержанных* — 25-50 %, у *невыдержанных* — более 50 %.

Разновидность пласта — пластообразная залежь и линза.

Пластообразная залежь отличается от пласта меньшей длиной и шириной, но большей невыдержанной мощностью. Она характерна для месторождений выветривания (бокситы, каолины, железные руды), а также скарновых и гидротермальных месторождений, приуроченных к благоприятным литологическим толщам (пластовые залежи киновари в песчаных толщах Никитовского поля).

Линза напоминает сжатое изометрическое тело с максимальной мощностью в центре (линзообразные тела углей Подмосковного бассейна).

Жила образуется в результате заполнения трещины или метасоматического замещения горных пород вдоль трещины минеральным веществом. Жильные тела характерны для большинства гидротермальных

месторождений (руды меди, свинца, цинка, золота, ртути и др.). Они могут прослеживаться по простиранию и падению на десятки и сотни метров. Мощность их изменяется от сантиметров до нескольких метров. Жилы мощностью менее сантиметра называются прожилками. При горизонтальном и наклонном залегании жилы породы над ней образуют висячий бок, под ней — лежачий (рис. 3). Контакт минерального вещества жилы с вмещающей породой - зальбанд. За ним расположена зона околожильного изменения под влиянием нагретых минеральным раствором вмещающих пород, в которой, зачастую присутствуют вкрапления полезных минералов. По отношению к вмещающим породам жилы бывают согласными (расположены вдоль слоистости или сланцеватости) и секущими (заполняют трещины, ориентированные под углом к слоистости или сланцеватости), по форме — простыми и сложными. Последние образуются при заполнении минеральным веществом системы субпараллельных, взаимнопересекающихся трещин и слагают минерализованные зоны. Иногда они появляются в результате преимущественного отложения минерального вещества в благоприятной толще (рис. 4).

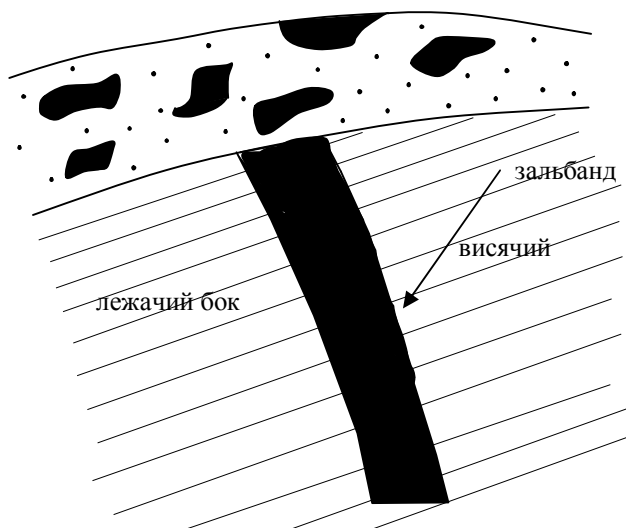


Рисунок 3 — Рудная жила

У столбообразных тел длина по падению значительно превышает остальные размеры. Такие тела называются *трубками* или *столбами*. Форма поперечного сечения — изометрическая, эллиптическая и непра-

вильная. Угол падения (ныряния) тела может изменяться в широких пределах (от 0 до 90°).

По углу падения рудных тел различают: 1) тонкие — до 1–1,5 м; 2) средние — от 1–1,5 до 3–4 м; 3) мощные — от 3–4 до 8–10 м; 4) весьма мощные от 10 до 50 м. Иногда выделяют сверхмощные — более 50 м.

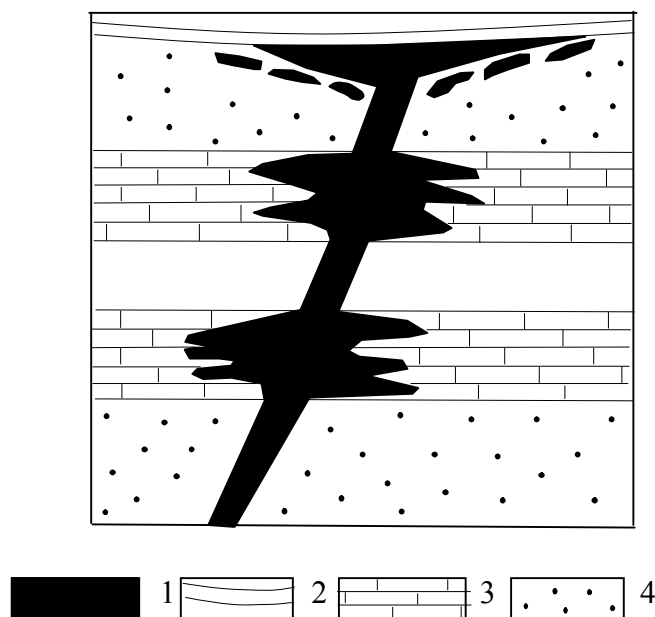


Рисунок 4 — Рудная жила сложного строения: 1 – руда; 2 – глинистые сланцы; 3 – известняк; 4 – песчаник.

Размеры тел могут достигать значительных размеров. Мощность угольного пласта на Коркинском месторождении (Челябинский бассейн) достигает 250 м. Золоторудная жила («Материнская жила») в Калифорнии (США) прослежена по простиранию на 200 км. На бурогольном месторождении Латроб Велли (Австралия) мощность пласта составляет 330 м, а на месторождении Хат-Крик (Канада) — 450 м (нижняя часть пласта сложена каменным углём, верхняя – торфом). Золотосодержащие пласты на рудном поле Витватерсранд (ЮАР) разрабатываются на руднике Вестерн Дип Левелз (Западный Глубокий) на 3900 м. Пласты некоторых осадочных (уголь, железные, марганцевые и алюминиевые руды) и метаморфических месторождений занимают десятки и сотни квадратных километров.

1.5 Минеральный и химический состав

Химический состав является важнейшей характеристикой качества большинства рудных полезных ископаемых, так как именно содержание ценных и вредных компонентов определяет качество руды.

Химические элементы, входящие в состав полезного ископаемого делятся на: *главные* и *попутные*. Первые определяют промышленное значение месторождения, по их содержанию проводят контуры рудных тел и промышленных сортов руд. Обычно руда содержит ещё и попутные химические элементы, в таком случае руды называются *комплексными*.

Полезными могут быть *рудные* (слагают металлические полезные ископаемые) и *нерудные* (слагают неметаллические полезные ископаемые) минералы. Из рудных минералов наиболее важными для получения *железа* являются магнетит, гематит, сидерит, гётит и гидрогётит, *марганца* — пиролюзит, манганит и псиломелан, *хрома* — хромит, титана — рутил, ильменит и перовскит, *ванадия* — роскоэлит, карнотит и ванадинит, *никеля* — пентландит, никелистый пирротин, нонтронит и гарниерит, *алюминия* — бёмит, гидраргиллит и диаспор, *магния* — доломит и карналлит, *меди* — халькопирит, борнит, халькозин и т. д. Металлы могут извлекаться как попутные компоненты при переработке медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических и полиметаллических руд (кадмий, галлий, индий, таллий, германий, селен и теллур), цирконовых руд (гафний и скандий), углей (галлий и германий), медно-никелевых руд (селен и таллий) и т. д. Присутствующие вместе с рудными минералами кварц, карбонаты (кальцит, доломит, анкерит и др.), барит, хлорит, слюды и другие называются жильными.

Основные минералы *нерудных* полезных ископаемых: корунд, берилл, гранат, топаз, турмалин, шпинель, оливин, циркон, бирюза, кварц, халцедон, алмаз, графит, слюды (мусковит и флогопит), асбест, тальк, магнезит, брукит, кварц, флюорит, барит, витерит, исландский шпат, цеолиты — промышленное сырьё; галит, сильвин, бишофит, карналлит, апатит, сера, датолит, данбуррит, бура, колеманит — химическое и агрономическое сырьё; плагиоклазы, ортоклаз, микроклин, кианит, силлиманит, волластонит, каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, кальцит, доломит, гипс, ангидрит — сырьё для строительных материалов.

Полезное ископаемое может быть представлено одним минералом (*мономинеральное*: самородное золото, алмаз, графит и т. д.) или несколькими (*полиминеральное*: марганцевые руды — пиролюзит, псиломелан, манганит, родохрозит и манганокальцит; медные руды — халькозин, борнит, халькопирит; калийное сырье — сильвин, карналлит, каинит и лангбейнит). Из *простого* по составу полезного ископаемого извлекается один компонент (ртуть — из киновари, свинец — из галенита и т. д.), а из *комплексного* — несколько (ванадиеносные титаномагнетитовые и платиносодержащие с осмием, иридием и рутением хромитовые руды Бушвельдского рудного района в ЮАР, минеральные соли — галит, эпсомит, астраханит и мирабиллит — залива-лагуны Кара-Богаз-Гол в Каспийском море). Часто в минералах, слагающих полезное ископаемое, присутствуют в небольших количествах (как правило, до 1 %) различные элементы-примеси. Они могут рассматриваться как дополнительный источник минерального сырья. Например, в никитовских ртутных рудах установлено повышенное содержание в киновари сурьмы, мышьяка, висмута и селена, в антимоните — мышьяка, свинца и таллия, в пирите — мышьяка, сурьмы, германия и скандия, в кварце — висмута, в анкерите — иттербия, в дикките — висмута, германия и иттербия.

1.6 Генетическая классификация месторождений

Классификация месторождений полезных ископаемых может быть построена по *морфологическому* (месторождения группируются по форме тел и условиям залегания среди вмещающих пород), *химико-технологическому* (по вещественному составу с учётом требований промышленности к качеству минерального сырья) и *генетическому* (в зависимости от условий образования) принципам. Среди специалистов, занимающихся изучением полезных ископаемых, наиболее распространена *генетическая* классификация В.И. Смирнова (1982 г.).

Месторождения полезных ископаемых, как и горные породы, формируются в подавляющем большинстве на поверхности Земли, или в Земной коре при перемещении минерального вещества в магматическом, осадочном и метаморфическом процессах (Земная система) и в незначительном количестве — в результате падения на поверхность Земли крупных космических тел (Космическая система). Месторожде-

ния Земной системы подразделяются на три крупные *серии* (указывает на источник энергии): магматогенные, седиментогенные и метаморфогенные, каждая серия — на *группы* (указывает на физико-химические условия образования месторождения), группа — на *классы* (минеральный состав месторождения). Деление на группы и классы обусловлено минеральным составом формации полезных ископаемых, которые объединяют месторождения одинакового минерального состава, сформированные в сходных физико-химических и геологических условиях.

Среди серии *магматогенных* месторождений выделяют группы: магматических, пегматитовых, карбонатитовых, скарновых или контакто-метасоматических, альбит-грейзеновых, гидротермальных и колчеданных месторождений, среди *седиментогенных* — группы месторождений выветривания, россыпных и осадочных, среди *метаморфогенных* — группы метаморфизованных и метаморфических.

Контрольные вопросы

1. Предмет изучения курса разведки месторождений.
2. Основные этапы развития учения о полезных ископаемых.
3. Значение минеральных ресурсов для экономики.
4. Как соотносятся понятия «полезное ископаемое», «минеральные ресурсы», «руда», «рудопроявление», «месторождение»?
5. Что такое минимальная промышленная кондиция, какие параметры её характеризуют?
6. Классификация полезных ископаемых по промышленному использованию.
7. Охарактеризуйте площади развития полезных ископаемых.
8. Главные и попутные, простые и комплексные полезные ископаемые.
9. Что такое «штокверк», «шток», «трубчатое тело», жила?
10. Составьте генетическую классификацию месторождений.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УГЛЕ

2.1 Роль угля в народном хозяйстве. Запасы и использование угля в народном хозяйстве

В XX столетии в связи с широким использованием нефти и газа, обладающих лучшей термофизической характеристикой, высокой, транспортабельностью и технологичностью при использовании, а также благодаря быстрому росту производства дешёвого углеводородного сырья доля угля в топливно-энергетическом балансе снизилась с 70 % (1950 г) до 53 % (1990 г). В мировом балансе топливных ресурсов на твёрдое топливо приходится 92 %, а на нефть и газ — 8 %. В промышленно развитых странах доля угля в теплоэнергетике составляет 60–90%. В СНГ в 1990 г. структура использования первичных энергоресурсов характеризовалась такими показателями (%) : уголь — 20; газ — 36; нефть и газовый конденсат — 37; АЭС и ГЭС — 5,3, прочие — 1,7. Мировые ресурсы сланцевой смолы составляют 53 трлн. т, что во много раз превышает мировые запасы нефти. Ресурсы горючих сланцев в России превышают 700 млрд. т.

Горючие полезные ископаемые зачастую содержат промышленные концентрации редких, рассеянных химических элементов, благородных металлов (германий, ванадий, уран, скандий, литий, золото, серебро и др.). Затраты на добычу горючих полезных ископаемых составляют 75 % от общемировых затрат на добычу всех полезных ископаемых.

В настоящее время все чаще специалистами на различных уровнях обсуждаются проекты возвращения к углю ("угольный ренессанс"). Огромные запасы (90 % объема топливно-энергетических ресурсов), широкое распространение угольных залежей на Земном шаре дают возможность практически всем странам удовлетворить свои потребности в топливе за счет угля. Тем более, в ближайшие 15 лет мировое потребление энергии возрастёт на 30–40 %.

Общие (все учтенные, включая прогнозные и некондиционные) мировые ресурсы углей в натуральном топливе приняты в количестве 14810 млрд. т, а разведанные (доказанные достоверные и предполагаемые по категориям А+В+С₁+С₂) — 1500 млрд. т. Из общих ресурсов на долю каменных углей приходится 9440 млрд. т (63,7 %).

Угольные месторождения выявлены на всех материках, включая Антарктиду, но размещены они неравномерно. Преобладающая часть запасов сосредоточена в Азии (54 %) и Америке (30 %).

По отдельным странам запасы угля распределены следующим образом (в скобках даны разведанные запасы), млрд. т: СНГ — 6806 (281), США — 3600 (397), Китай — 1465 (102), Австралия — 783 (83), Канада — 582 (16). В этих странах сосредоточено 90% общих ресурсов твёрдого топлива. Россия владеет 36 % мировых ресурсов угля.

Основные данные по прогнозным и разведанным запасам ископаемых углей, а также по объёмам годовой добычи в ведущих странах на 1997 год, приведены в таблице 3.

Всего в мире известно около 3000 угольных бассейнов и месторождений. Большая часть (52,7 %) угля содержится в одиннадцати сверхкрупных бассейнах (табл. 4).

На территории СНГ насчитывается 25 угольных бассейнов, 8 угленосных площадей и около 650 самостоятельных угольных месторождений. Характеристика десяти наиболее крупных бассейнов приведена в таблице 5, а распределение геологических запасов по маркам приведено в таблице 6.

Таблица 3 — Крупнейшие угледобывающие страны мира

| Страна | Прогнозные ресурсы, млрд. т | Разведанные запасы, млрд. т | Объёмы добычи 1988-1990-1997 гг., млн. т |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| В мире в целом | 14810 | 1704,7 | 4749,9-4704-4243,9 |
| Россия | 4450,7 | 201,7 | 425,4-395,3-296,7 |
| США | 3600 | 444,8 | 869,7-927-886 |
| Китай | 1500 | 272 | 970-1053-1131 |
| Австралия | 864,9 | 116,8 | 215,4-210,2-237 |
| Канада | 582,2 | 77,3 | 70,2-68-64,1 |
| Германия | 334,3 | 105,5 | 181,4-427-286,2 |
| Великобритания | 231,4 | 45,4 | 103,8-95-87,5 |
| Польша | 173,9 | 41,2 | 266,5-216-198,7 |
| Индия | 170,5 | 78 | 188,3-210-249 |
| ЮАР | 140 | 115,5 | 178,2-206-182 |
| Казахстан | 128,4 | 34,1 | 143,1-131,4-111,9 |
| Украина | 99,6 | 47,2 | 191,7-164,8-115,7 |
| Чехия, Словакия | 28 | 6,6 | 123,5-107-92 |

Таблица 4 — Крупнейшие угольные бассейны мира

| Угольный бассейн | Страна | Запасы, млрд. т | Вид угля |
|-------------------------------------|----------|-----------------|------------------|
| Тунгусский | СНГ | 2299 | Каменный |
| Алта-Амазонский | Бразилия | 2200 | Бурый |
| Ленский | СНГ | 1647 | Бурый и каменный |
| Канско-Ачинский | СНГ | 638 | Бурый |
| Кузнецкий | СНГ | 637 | Каменный |
| Иллинойский | США | 348 | Каменный |
| Аппалачский | США | 284 | Каменный |
| Печорский | СНГ | 265 | Бурый и каменный |
| Таймырский | СНГ | 217 | Каменный |
| Донецкий | СНГ | 141 | Каменный |
| Нижнерейнско-Вестфальский (Рурский) | Германия | 76 | Бурый |

Таблица 5 — Крупнейшие угольные бассейны СНГ

| Угольный бассейн | Возраст углей | Марочный состав углей | Количество рабочих пластов | Мощность пластов, м | Коэффициент угленосности, %, не более | Углеточность, млн. т/км ² не более | Прогнозные ресурсы, млрд. т (по состоянию на 1988 г.) |
|------------------|---------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|---|
| Донецкий | С | Д-А | 44 | 0,6-2 | 2,8 | 5 | 141,0 |
| Карагандинский | С-Ј | Б-ОС | 35 | 0,7-12 | 1 | 2,5 | 45,3 |
| Кузнецкий | С-Ј | Б-А | 137 | 1.25 | 9 | 30 | 637,0 |
| Тунгусский | С-Р | Д-А | 27 | 1-60 | 8 | 45 | 2299,0 |
| Таймырский | Р | Ж-А | 20 | 1-15 | 6 | - | 217,0 |
| Печорский | Р | Б-А | 60 | 0,7-4 | 5 | 4 | 265,0 |
| Тургайский | Т-Ј | Б | 20 | До 60 | 50 | 55 | 62,0 |
| Канско-Ачинский | Ј | Б-Г | 30 | 60 | 19 | 25 | 638,0 |
| Ленский | Ј-К | Б-ОС | 50 | 1-20 | 4 | 16 | 1647,0 |
| Зырянский | К | Д-К | 80 | 1-7 | 2,5 | - | 50,0 |

Примечание.

В графе "Возраст углей" используются обозначения геологических периодов: С - карбон, Ј - юра, Р - пермь, Т - триас, К - мел; в графе "Марочный состав углей": Д — длиннопламенный уголь, А - антрацит, Б - бурый уголь, Ж - жирный, Г — газовый, ОС - отощённый спекающийся, К - коксовый.

Таблица 6 — Распределение общих геологических запасов углей СНГ по маркам, млрд. т (по А.В. Тяжнову)

| Марка угля | Б | Д | Г, ГЖ | Ж | КЖ , К | ОС | С | Т | ПА, А | Без разде- ления по мар- кам |
|--------------------------|------|------|----------|-----|-----------|-----|-----|-----|----------|--|
| Сумм- арные запасы | | | | | | | | | | |
| 6800 | 2078 | 2089 | 670 | 191 | 112 | 103 | 646 | 225 | 682 | 7,54 |

В странах СНГ сосредоточено около 5600 млрд. т общих ресурсов (95 % приходится на Россию), в том числе 288 млрд. т разведанных по категории А+В+С₁, в 2004 г добыча составляла около 700 млн. т. Основные разведанные запасы сосредоточены в пределах России (70 %), Украины (20 %) и Казахстана (8 %). Накоторыми запасами располагают Узбекистан, Кыргызстан, Таджикистан и Грузия.

В настоящее время добыча угля ведётся в 60 странах. К основным угледобывающим странам относятся (на 2016 г.) Китай (3,7 млрд. т), США (до 0,9 млрд. т), Индия (более 670 млн. т), Австралия (490 млн. т), Индонезия (470 млн. т) и Россия (370 млн. т), За ними следуют Германия, Польша и Великобритания. Мировая добыча угля составляла 4,7 млрд. т (1990 г.), затем возросла до 7 млрд. т (2009 г.) и продолжает расти. Отмечен непрерывный рост добычи угля открытым способом (в США и Германии — 60 %, в СНГ — 46 % общей добычи). Обеспеченность мировой добычи разведанными запасами следующая: каменными углями — на 186 лет, бурыми — на 380 лет.

В странах СНГ основная добыча каменного угля осуществляется в Донецком, Кузнецком, Печорском, Карагандинском, Экибастузском и Южно-Якутском бассейнах, бурого — в Канско-Ачинском и Челябинском бассейнах. В советское время самой мощной была шахта Распадская в Кузбассе (6–10млн. т коксующегося угля в год), а самым мощным угольным разрезом — "Богатырь" (Экибастузский бассейн, более 50 млн. т угля). Новыми районами добычи угля в России являются Якутия и Читинская область. Сейчас (2016 г.) в России крупнейшими центрами добычи

угля являются шахта (30 млн. т в год) и разрез Игналинский (12 млн. т в год) в Якутии. Самый крупный разрез в США North Antelope Mine, штат Вайоминг (109,3 млн. т угля в 2015 г.), самая крупная шахта — Mc#1 Mine, штат Иллинойс (10,6 млн. т угля в 2015 г.).

В Донбассе некоторые шахты ведут отработку угля на глубинах более 1 км (им. Засядько, Суходольская Восточная).

В России на долю угля для выработки электроэнергии приходится 16 % , природного газа — 44 % (2005 г.). В России природный газ дешевле угля в 1,6 раза (в стране сосредоточено 13 % мировых запасов нефти и более 11 % её добычи; 36 % мировых запасов природного газа и около 31 % её добычи). Нетопливное использование природного газа (производство аммиака, метанола) эффективнее его потребления в электроэнергетике в 10 раз, поэтому стимулируется замена газа углём в энергетике. Производительность труда шахтёров в России за последние 25 лет выросла в четыре раза. Сейчас угольная промышленность России насчитывает 124 карьера и 70 шахт с суммарной производственной мощностью более 400 млн. т в год, переработкой угля заняты 66 углеобогащительные фабрики. В связи с ежегодным перемещением больших объёмов горных пород, природные ландшафты изменены человеком более чем на 50 % территории Земного шара. Около 3 тонн отходов образуется при добыче 1 тонны угля и 0,2–0,5 тонн отходов образуется в процессе потребления. До сих пор утилизация горных отходов в России составляет 6–10 %.

Угольные месторождения нередко характеризуются наличием разнообразных сопутствующих полезных ископаемых. Содержащиеся в угленосных толщах и углях попутные полезные ископаемые иногда по своей ценности превышают ценность самих углей.

В угленосных отложениях выделяют три зоны локализации попутных компонентов и полезных ископаемых:

1. *подугленосная зона*, которая может содержать продукты кор выветривания, огнеупоры, бокситы, каолины, элювиальные россыпи;

2. *угленосная зона*, сопутствующие компоненты содержатся в углях — германий, галлий, рений, уран, скандий и др. Промышленные содержания многих элементов достигаются не только в углях, но и про-

дуктах их переработки (золы, шлаки, шламы), а также в породах угленосной толщи (породные отвалы).

3. *надугленосная зона*, в которой промышленную ценность могут иметь пески, гравий, глины и другие строительные материалы.

В настоящее время улучшение качества угольной продукции ожидается благодаря совершенствованию технологии обогащения, брикетирования, использованию распылённого топлива (водно-угольного шлама), кроме того — термической обработки, газификации и гидрогенизации.

В народном хозяйстве используются как органическая (горючая), так и минеральная (негорючая) часть углей, твердые отходы добычи и переработки, горючие газы и шахтные воды. При сжигании твёрдого топлива получают теплоту и электричество; в процессе коксования — кокс и коксовый газ; полукоксования — полукокс, первичную смолу, подсмольную воду и газ; при газификации — генераторный газ, пылевидное топливо, смолу и шик; в результате гидрогенизации — химические продукты, смазочные масла, реактивы, котельное и дизельное топливо, бензин (из 4 тонн угля получают 1 тонну бензина); при экстрагировании битумов — жиры, воски, смолы; при термической обработке антрацитов — карбиды кальция и кремния, термографит, термоантрацит и электрокорунд. Угли используются также при получении разнообразных углеродных и композитных материалов, углеродных волокон, электродных изделий, футеровочных материалов, адсорбентов.

Пиролиз — расщепление крупных молекул и вторичное превращение продуктов расщепления (полимеризация, конденсация, ароматизация и др.) при нагревании топлива в закрытых реакторах без доступа кислорода. Высокотемпературный пиролиз называется коксованием, низкотемпературный — полукоксование.

Коксование — процесс переработки каменных углей до температуры 900-1050°C без доступа воздуха. В процессе коксования из угля в среднем получается: 65–80 % кокса, 2,5–3,5 % каменноугольной смолы, 1–1,1 % бензола, 1–1,2 % сульфата аммония, 15–18 % коксового газа (из 1 т 300–350 м³). В составе шихты для получения кокса преобладают угли марок: Ж, К и ОС. В процессе коксования углей получают 80 ценных химических продуктов, внедрена технология извлечения германия на коксохимических заводах.

Полукоксование — метод переработки низкосортного твёрдого топлива (каменный и бурый угли, горючие сланцы) нагреванием без доступа воздуха до температуры 500–850°C. При полукоксовании получают 55–74 % полукокса, 10–23 % смолы, 6–19 % газа (из 1 т 42–165 м³), 2,5–10 % пирогенетической воды и др. Для полукоксования используют угли марок Д и Г.

Газификация — превращение органической массы твёрдого топлива в газогенераторе в генераторные газы. Для этого используются любые виды твёрдого топлива. Для нагнетания используют воздух, водяной пар и кислород в различных сочетаниях. Продуктом газификации являются генераторные газы, калорийными продуктами которого являются угарный газ и водород. Генераторный газ высоко эффективен и экологически чистый. Перспективным направлением является подземная газификация углей — Южно-Абинская (Кузбасс), и Ангренская (Узбекистан) станции подземной газификации углей.

Гидрогенизация — процесс разрушения внутри- и межмолекулярных связей в органической массе твёрдого топлива и насыщении образующихся соединений водородом или гомологами метана под высоким давлением (20–30 МПа) в условиях повышенных температур (380–550°C) в присутствии катализаторов для получения горюче-смазочных материалов и газов. При температуре 500–700°C и давлении водорода 3,5–5 МПа получают метан – процесс гидрогазификации угля. Для гидрогенизации используется бурый уголь, а также каменный уголь низкой степени метаморфизма, а также торф после предварительной термической деструкции.

В результате термообработки угля получают термоантрацит (1200–1400°C), при термообработке антрацита (более 2500°C) — термографит.

Актуальным в последнее время является применение *водоугольного топлива* — жидкости, состоящей из смеси измельчённого угля, воды и пластификатора. Водо-угольное топливо используется, как альтернатива природному газу и мазуту. Его температура воспламенения 800–850°C, температура горения 950–1150°C, тепловая эффективность 3700–4700 ккал, степень сгорания углерода при этом более, чем 99 %. Для требуемого помола угля используют обычно шаровые мельницы.

Минеральная часть угля (шлаки и зола после сжигания топлива), продукты обогащения и отходы добычи углей используются как вяжущие, заполнители, для получения каменного литья, шлаковаты и шлаковой пемзы, глинозема, металлов (алюминий, железо, молибден, свинец, германий и др.), удобрений (раскислитель почв и стимуляторы роста), резинотехнических, лакокрасочных изделий, находят применение и в медицине. В 1 т угля иногда находится до 30 м³ метана, который после дегазации может улавливаться с последующим использованием. Из шахт и карьеров ежегодно откачивается до 3 млрд. м³ шахтных вод, которые можно использовать как для питьевых и технических целей, так и в сельском хозяйстве для орошения.

2.2 Угольный и нефтяной ряды каустобиолитов. Генетическая классификация горючих ископаемых

Горючие ископаемые, или каустобиолиты (от греч. — kaustos — горючий, bios — жизнь, litos — камень, т. е. горючая горная порода органического происхождения) представляют собой продукты преобразования остатков растительных и животных организмов под действием геолого-геохимических факторов. Общим для них свойством является горючесть. Термин "каустобиолиты" ввел Г. Потоньо в 1908 г. По физическому состоянию горючие ископаемые подразделяются на твердые (ископаемые угли, горючие сланцы, асфальтиты и т.п.), жидкие (нефть) и газообразные (горючие газы).

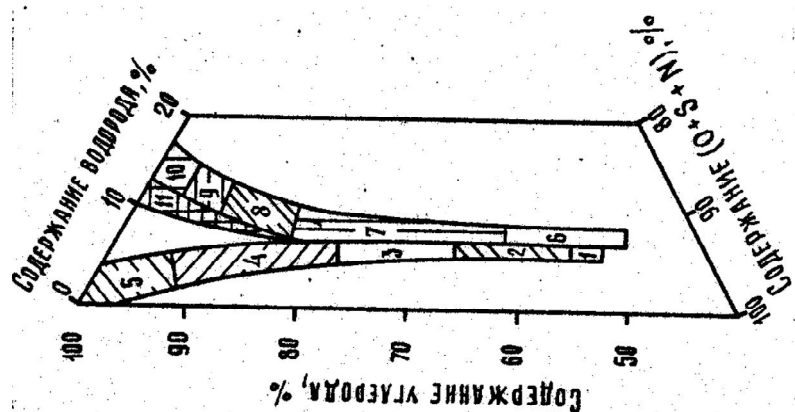


Рисунок 5 — Генетическая классификация горючих ископаемых (диаграмма А.Ф. Добрянского): 1 – древесина; 2 – торф; 3 – бурый уголь; 4 – каменный уголь; 5 – антрацит; 6 – сапропель; 7 – горючий сланец; 8 – сапропелит; 9 – асфальт; 10 – нефть; 11 – асфальтит

По условиям образования каустобиолиты разделяют на два ряда: *угольный* (торф, бурый уголь, каменный уголь и антрацит) и минералы (например, янтарь); *нефтяной и нефтоидный* (горючие сланцы, сапропелиты, асфальты, нефть, асфальтиты). Единой общепризнанной генетической классификации каустобиолитов не существует, но наибольшее распространение (благодаря простоте и наглядности) получила генетическая диаграмма А.Ф. Добрянского (рис. 5), представляющая собой усеченный треугольник, на сторонах которого отложены содержания углерода, водорода и суммарное содержание кислорода, серы и азота в процентах. На диаграмме каустобиолиты образуют две полосы, значительно вытянутые вдоль стороны, показывающей содержание углерода. Нижняя полоса отражает переход от древесины к антрациту в угольном ряду, верхняя — от сапропелей к асфальтитам в нефтяном (битумном) ряду.

2.3 Ископаемый уголь

Ископаемый уголь — твердая горючая горная порода, состоящая из разложившегося растительного вещества и содержащая не менее 50 % органической массы. Основные компоненты угля — органическая масса, минеральные примеси и влага.

Органическая масса — продукт биохимического и физико-химического преобразования захороненного растительного материала и (частично) простейших животных микроорганизмов — в химическом отношении представляет собой сложное высокомолекулярное соединение с преобладанием углерода над кислородом, водородом, азотом и другими элементами.

Минеральные примеси представлены неорганическим материалом и минеральными включениями. Неорганический материал, унаследованный от растений и рассеянный в органической массе, при сгорании углей образует так называемую внутреннюю или материнскую золу. Минеральные включения слагают отдельные прослои и линзы в угольных пластах, замещают растительные остатки, образуют включения и вкрапления, заполняют поры, полости и трещины. По способу образования они подразделяются на привнесённые (аллотигенные) в угольную массу в готовом виде еще в торфяную стадию (кварц, глинистые минералы, полевой шпат и др.) и на образованные (аутигенные) на месте формирования одновременно с

углем (сингенетические) или после образования угольного пласта (эпигенетические) — пирит, марказит, сидерит, кальцит и др. В углях наиболее распространены (60–80 %) глинистые минералы (иллит-серицит, каолинит, монтморрилонит и др.). Подчинённое значение имеют карбонаты (сидерит, кальцит, анкерит), сульфиды железа (пирит, марказит) и кварц.

В углях преобладает физически связанная (сорбированная) и капиллярная влага в мелких порах и трещинах угля, имеется также свободная вода в крупных трещинах и пустотах, суммарная доля которой составляет в бурых углях 16–60 %, в каменных углях и антрацитах — 6–14 %.

2.4 Природные типы углей

Природные типы углей выделяются по родству исходного растительного материала. По строению, составу и условиям жизни растения подразделяются на высшие и низшие. Высшие растения (деревья, кустарники, травы, папоротники, хвощи и т. д.) приспособлены к жизни в наземных условиях, у них выделяют подземную (корневая система) и наземную (ствол, стебель и листья) части. Низшие растения лишены дифференцированных вегетативных органов, их тело представляет собой слоевище, не расчлененное на стебель и листья. Они обитают в водной среде (водоросли). По химическому составу в высших растениях преобладают целлюлоза (клетчатка) и лигнин, в низших — белки, жиры, воски и смолы, содержащие повышенное количество углерода и водорода.

Ископаемые угли в зависимости от состава исходного растительного материала подразделяются на следующие типы (табл. 7): гумолиты (образовались из продуктов преобразования отмерших высших растений); сапропелиты (исходный материал — низшие растения и животные организмы); сапрогумолиты (переходной тип между гумолитами и сапропелитами).

Среди гумолитов выделены классы гумитов и липтобиолитов; сапрогумолиты подразделяются на кеннели и касьяниты, сапропелиты — на собственно сапропелиты (богхеды) и гумитосапропелиты.

Гумиты (гумусовые угли) сложены лигнин-целлюлозными тканями высших растений. Липтобиолиты (от греч. липтос — оставшийся, остаточный) состоят из наиболее стойких частей высших растений (оболочки спор, кутикула, пробковая ткань, смоляные тела). Они загораются от спички и горят без запаха. *Кеннели* (от англ. candle — свеча) содер-

жат значительное (до 25 %) количество микроспор, загораются от спички и горят ярким коптящим пламенем. *Касьяниты* в отличие от кеннелей обогащены (до 25 %) водорослями различной степени сохранности.

Собственно *сапропелиты* (богхеды или болотная залежь) на 50–80 % сложены разложившимися водорослями, легко загораются от спички и горят длинным коптящим пламенем.

Таблица 7 — Генетическая группировка углей (по Г.А. Иванову)

| Особенности | Группа углей | | | |
|-------------------------------|--|--|--|--|
| | Гумолиты | | Сапропелиты | |
| | Гумиты | Липтобиолиты | Гумито-сапропелиты | Чистые сапропелиты |
| Исходный материал | Высшие растения - деревья и др. | | Низшие растения – водоросли и др. | |
| Остатки, сохранившиеся в угле | Растительные ткани, основная масса, споры, кутикула, смола | Кутикула, смола, споры | Остатки водорослей и смешанная основная масса, растительные ткани, споры, кутикула | Преимущественно продукты превращения жирных водорослей |
| Среда отложения и накопления | Низменное застойное Относительно сухое | Торфяное Проточное | Болото застойное с открытым водоёмом Обводнённое | Озеро (открытый водоём в болоте) пресное или солёное; лагуна |
| Микроорганизмы | Анаэробные | Анаэробные и аэробные | Анаэробные | Анаэробные |
| Количество кислорода | Недостаточное | Сначала избыточное и постоянный приток кислорода | Недостаточное или отсутствует | Отсутствует |
| Процессы превращения | Гелификация, иногда битуминизация | Фюзенизация и элювиация | Битуминизация или гелификация | Битуминизация |
| Фации | Обводнённых топяных болот | «Сухих» и проточных болот | Застойных открытых водоёмов (озёр), зарастающих озёр, озёрных заливов, бухт, морских лагун | |

2.5 Петрографический состав углей

При петрографических исследованиях углей изучают микро- и макро-компоненты (ингредиенты).

Микрокомпоненты (мацералы) угля — выделяемые под микроскопом составные части (по цвету, отражательной способности, показателям преломления, структуре и микрорельефу) со сходными физическими и химическими свойствами различаются между собой по исходному составу (высшие и низшие растения) и характеру химического преобразования, разложившегося под влиянием биохимических процессов исходного растительного вещества.

Основные виды химического преобразования — гумификация, гелификация, фюзенизация и битумизация органической массы.

Гумификация (of лат. humus — почва и facio — делаю) — превращение лигнин-целлюлозных тканей высших растений в темноокрашенные гумусовые вещества во влажной среде при ограниченном доступе кислорода.

Гелификация — превращение лигнин-целлюлозных тканей высших растений в условиях обводненности без доступа кислорода в аморфную однородную коллоидную массу (гель).

Фюзенизация (от франц. fusain — вытянутый, волокнистый) — окисление продуктов гелификации и остатков лигнино-целлюлозных тканей высших растений при свободном доступе кислорода и ограниченном воды (лесные пожары, гниение), сопровождающееся выносом неустойчивой части ткани, почернением и обуглероживанием, с образованием твердого коллоида, в котором сохраняются детали исходного строения (фюзен).

Битуминизация — превращение белково-углеродо-жирового комплекса (воски и жиры) низших растений и морских микроорганизмов в водной среде в восстановительной обстановке при участии анаэробных бактерий, усваивающих кислород органических веществ, в битумы, обогащенные водородом и углеродом (образование сапропеля).

В углях под микроскопом выделяются группы *микрокомпонентов* витринита (гуминита), семивитринита, инертинита, липтинита и альгинита (рис. 6).



Рисунок 6 — Микрокомпоненты (мацералы) углей

Группы *витринита* (плотные бурые угли и каменные угли) и *гуминита* (мягкие бурые угли) образуются в результате гелификации в различной степени лигнин-целлюлозных частей растений. Отражательная способность принята за эталонную.

Группа *инертинита* представлена фюзенизированными лигнин-целлюлозными частями растений, в различной степени сохранивших клеточное строение. Отражательная способность наиболее высокая.

Микрокомпоненты группы семивитринита занимают промежуточное положение между группами витринита и инертинита.

Группа *липтинита* — сохранившиеся в углях и не подвергшиеся биохимическому разложению стойкие форменные части растений (оболочки спор, пыльца, кутикулы, включения смол, жиров, воска и коровых тканей). Отражательная способность наиболее низкая.

Группа *альгинита* — продукты преобразования низших растений и планктона, представленные водорослями или бесструктурной сапропелевой массой.

Макрокомпоненты (ингредиенты или литотипы) различаются в углях невооруженным глазом — по блеску, цвету, излому, структуре и трещиноватости; сложены одним или несколькими микрокомпонентами. В гумитах выделяют витрен, кларен, дюрен и фюзен.

Витрен (от лат. vitrum — стекло) сложен микрокомпонентами группы витринита, образует в пластах угля узкие линзообразные прослои мощностью до 3 мм, отличается черным цветом, сильным блеском, раковистым изломом, хорошо выраженной эндогенной вертикальной трещиноватостью.

Кларен (от лат. *clarus* — ясный, блестящий) состоит в основном из микрокомпонентов группы витринита (более 75 %) с примесью микрокомпонентов групп липтинита и инертинита, образует мощные слои и пласты угля, внешне напоминает витрен.

Дюрен (англ. *durain*, от лат. *durus* — твёрдый) представлен различным сочетанием микрокомпонентов групп липтинита и инертинита, в котором доля гелифицированного вещества составляет 10–25 %. Он характеризуется плотным однородным строением, матовым и матово-жирным блеском, высокой твердостью, вязкостью, способностью раскалываться на крупные куски. Слагает угольные пласты.

Фюзен сложенный микрокомпонентами группы инертинита, сцементированными небольшим количеством витринита. По внешнему виду напоминает древесный уголь — черный или серо-чёрный матовый волокнистого (реже — однородного) строения с шелковистым блеском и низкой механической прочностью (легко растирается пальцами в порошок). Фюзен обычно образует в пластах угля линзы и примазки мощностью до 1 см.

Самостоятельные угольные пласты слагают макрокомпоненты кларен и дюрен, а витрен и фюзен образуют в них маломощные прослойки. В зависимости от преобладания того или иного ингредиента различают угли дюреновые (матовые), клареновые (блестящие) и дюрено-клареновые или кларено-дюреновые (полосчатые).

Собственно *сапропелиты* (*богхеды*) состоят из альгинита и микринита (бесструктурное фюзенизированное вещество), характеризуются бурой окраской, отсутствием слоистости и высокой прочностью.

Последние десятилетия ознаменовались открытием новых минеральных форм углерода, в том числе составляющих уголь (лонсдейлит, фулерен). В перспективе такие открытия могут поднять на новый уровень проблему комплексного использования угля.

О.Д. Русанова поставила под сомнение представления о единственно возможном углеобразовании через гумификацию под воздействием прогрессивного метаморфизма по формуле: торф — бурый уголь — каменный уголь — антрацит — графит. О.Д. Русанова считает, что на современном этапе углепетрография должна развиваться в направлении разработки *угольной минералогии*, совершенствования методов выявле-

ния истинной молекулярной структуры и парагенезиса углеминералов в целях создания единой петрогенетической классификации. В дальнейшем петрологические исследования необходимо сближать с углекислотными.

2.6 Свойства углей

К свойствам углей относятся: цвет, цвет в порошке, блеск, отражательная способность, твердость, плотность, излом, хрупкость, упругость, прочность, отдельность, трещиноватость, кливаж, пористость, структура, текстура, электрическая проводимость, тепловые и акустические особенности.

Цвет бурых углей варьируется от светло-коричневого до черного; каменные угли, как правило, черного цвета, иногда с сероватым оттенком, антрациты — серовато-чёрные, реже — серые с металлическим оттенком. Часто цвет угля искажается за счет минеральных примесей, неодинакового блеска и неровной поверхности скола. Поэтому распространение получило определение цвета порошка угля (цвет черты на неглазурованной фарфоровой пластинке): у бурых углей — коричневый и желтовато-коричневый, у каменных углей низких степеней метаморфизма — коричневый и темно-коричневый, высоких степеней метаморфизма — черный и темно-серый, у антрацитов — интенсивно- и бархатисто-черный.

Блеск определяет способность угля отражать падающий свет. Визуально можно выделить блестящий, полублестящий, полуматовый и матовый уголь. Иногда применяют дополнительные определения, отражающие интенсивность блеска в углях разных стадий углефикации: жирный, смолистый, стеклянный, алмазный и др. В углях блеск увеличивается при преобладании микрокомпонентов группы витринита и при повышении стадий углефикации, но понижается с увеличением доли микрокомпонентов групп инертинита и липтинита с возрастанием зольности (табл. 8).

Отражательная способность углей (R) характеризует степень отражения света, падающего на полированную поверхность. Эта величина измеряется под микроскопом с помощью фотометров и эталонов в отраженном естественном или поляризованном свете в воздушной (R_a) либо иммерсионной (R_0) среде, выражается показателем отражения,

представляющим собой отношение (в процентах) интенсивности света, отраженного полированной поверхностью, к интенсивности падающего света. Максимальная отражательная способность отмечена у микрокомпонентов группы инертинита, минимальная — липтинита.

Таблица 8 — Признаки приближённого определения марки углей

| Характер блеска | Число эндогенных трещин на 5 см длины прослойки блестящих углей | Марка угля |
|------------------|---|-----------------|
| Тусклый | до 3 | Плотный бурый |
| Смоляной | до 7 | Блестящий бурый |
| Жирный смоляной | 7-12 | Длиннопламенный |
| Жирный | 12-25 | Газовый |
| Жирно-стеклянный | 25-60 | Жирный |
| Стеклянный | 35-60 | Коксовый |
| Сухой стеклянный | 15-30 | Тощий |
| Металлический | 7-15 | Антрацит |

Двуотражение (анизотропия отражения) A_R — разность между большим и меньшим показателями отражения при одной призме Николя, проявляющаяся при повороте столика микроскопа в изменении интенсивности отражения и обусловленная векториальной абсорбционной способностью. Анизотропия отражения витринита в антраците изменяется от 30 до 70 %.

Твердость по шкале Мооса бурых углей равна 2, каменных — 2,5–3, антрацитов — 3,5–4.

Плотность бурых углей составляет 0,8-1,35 г/см³ каменных — 1,08–1,35 г/см³ и антрацитов — 1,37–1,78 г/см³.

Излом характеризует характер поверхности, получаемой в результате раскалывания угля вне плоскости напластования. У бурых углей отмечается землистый и неровный излом, у каменных углей и антрацитов — зернистый и раковистый.

Прочность (хрупкость) определяет степень сопротивления углей раздавливанию, истиранию и удару. Наиболее прочны длиннопламен-

ные угли и антрацит, наименее — гумусовые угли средней степени метаморфизма. По возрастанию прочности и снижению хрупкости петрографические микрокомпоненты располагаются в такой последовательности: фюзен, витрен, кларен и дюрен. Полосчатые угли менее прочные, нежели однородные.

Трещиноватость углей по происхождению подразделяется на эндогенную (первичную), экзогенную (вторичную) и гипергенную (выветривания).

Часто в углях наблюдается система параллельных трещин, пересекающих слоистость или согласных с ней, так называемый *кливаж* (от франц. *clivage* — *расслаивание*). *Эндогенная* трещиноватость (табл. 8) образуется под влиянием внутренних причин, обусловлена сокращением угольной массы в пласте в результате углефикации, характеризуется двумя взаимно перпендикулярными системами - основной и торцевой, по которым происходит раскалывание угля. В прочных гумусовых углях (длиннопламенные и антрациты) трещины расположены через 2–3 см, в хрупких (жирные, коксовые и отощённые спекающиеся) — 2–5 мм. В бурых углях кливаж выражен слабо (трещины через 10–50 см). Отмечена также более интенсивная трещиноватость блестящих витреновых и клареновых углей по сравнению с полуматовыми и матовыми. *Экзогенная* трещиноватость вызвана наложенными (вторичными) тектоническими процессами под влиянием внешних сил. Эта генетическая группа характеризуется расположением трещин чаще всего под углом 45° по отношению к слоистости, наличием на поверхности следов перемещений (зеркальный блеск, ребристость, струйчатость и др.), одинаковой ориентировкой простирания с крупными разрывными нарушениями. Экзогенный кливаж в большей степени проявляется в хрупких углях (блестящие угли средней степени метаморфизма), в крутопадающих пластах и в сводах антиклинальных складок. Гипергенные трещины образуются при выветривании углей. Их форма, количество и интенсивность проявления зависят от характера процесса выветривания.

Отдельность — свойство угля раскалываться по трещинам кливажа и плоскостям напластования с образованием блоков определённой геометрической формы. Форма блоков зависит от генетического типа кливажа. В результате проявления эндогенной трещиноватости в основ-

ном образуется пластинчатая отдельность (и как ее разновидность — кубическая, призматическая и параллелепидальная), экзогенной — пластинчатая, гребенчатая, косопризматическая и ромбоэдрическая, гипергенной - неправильная.

Текстура (сложение) угля определяет характер пространственного расположения и распределения в нём составных частей, отражает условия угленакопления. По состоянию твердые горючие ископаемые бывают плотными и рыхлыми. Плотные угли характеризуются массивным (состоят из одного макрокомпонента), полосчатым (полоски углей разного состава) и слоистым (в угле присутствуют породные прослои) сложениям. Среди полосчатых текстур в зависимости от мощности и протяжённости полосок угля иного состава различают штриховое (мощность до 1 мм, длина 10–15 мм), а при значительной протяженности — тонкополосчатое (мощность 1–2 мм), среднеполосчатое (мощность 2–7 мм) и крупнополосчатое (мощность 10–15 мм) сложение. Слоистые текстуры подразделяются по мощности слоев на тонко- (1–10 см), средне- (25–50 см) и крупнослоистые (50–100 см), по типу — горизонтально-, волнисто- и косослоистые. Рыхлые угли могут иметь обломочное и землистое сложение.

Структура (строение) определяется формой и размером углеобразующего компонента. Наиболее распространено зернистое (равномерно и разнотернистое) строение. Волнистая структура наблюдается в фюзеновых углях, обладающих волокнистым строением, лигнитовая — в бурых углях, сохранивших отчетливо видимое древесное строение, листоватая — в гумусовых липтобиолитовых углях, обогащенных кутикулами.

Электрические свойства зависят от степени метаморфизма, влажности, зольности и петрографического состава углей. Уголь низкой, средней и высокой степени метаморфизма проявляет себя соответственно как диэлектрик, полупроводник и проводник. В горючих ископаемых одинаковой степени метаморфизма отмечается большой разброс значений электрического сопротивления, обусловленный различной влажностью, зольностью, петрографическим составом, сложением, выходом летучих.

Акустические свойства характеризуются скоростью прохождения ультразвука в трех направлениях (перпендикулярно наложению — попе-

речные волны; по наслоению во взаимно перпендикулярных направлениях – продольные волны) и акустической анизотропией, выражающейся отношением скоростей продольных и поперечных волн. В углях средней степени метаморфизма скорость распространения ультразвука и акустическая анизотропия минимальны.

Самовозгораемость углей зависит от петрографического состава и стадии метаморфизма. С увеличением содержания инертинита и уменьшением витринита склонность к самовозгоранию углей увеличивается.

Прочность, трещиноватость, метаноёмкость и выбросоопасность наряду с другими факторами (мощность, угол падения угольных пластов и др.) обуславливают основные проектные показатели при сооружении горных предприятий и выбор оборудования и машин для добычи. Прочность и трещиноватость определяют гранулометрический состав добываемых углей, знание которого необходимо при определении схем и средств транспорта, типа и количества технологического оборудования шахт, разрезов и обогатительных фабрик, а также при планировании показателей по выпуску и выходу сортового топлива. Кроме того установлено, что при прочности пласта свыше 1,96 условных единиц по шкале М.М. Протодяконова пласт можно отнести к невыбросоопасным. От трещиноватости зависит дробимость углей.

2.7 Микроэлементы в углях

В углях (в органической массе и минеральных примесях) установлено присутствие многочисленных микроэлементов (кларки которых не превышают 0,1 %). Микроэлементы могут существенно влиять на технологию переработки (например, при гидрогенизации), так и на ценность углей (германий, вольфрам, уран и др. имеют промышленное значение). В органической массе концентрируются германий, галлий, серебро, цинк и др., в минеральных примесях (глинистые минералы, карбонаты, кварц, сульфиды и т. д.) — ртуть, кадмий, цинк, свинец, мышьяк и пр. Концентрация примесей, как правило, незначительна (не превышает средней концентрации в земной коре). Микрокомпоненты группы витринина содержат обычно более высокие по сравнению с углём в целом концентрации германия, бериллия, вольфрама, ванадия, в отдель-

ных случаях галлия и скандия. Минимальные содержания микроэлементов отмечены в липтинитах.

Микроэлементы с относительно высокими содержаниями подразделяются на две группы:

элементы, среднее содержание которых в углях СНГ выше среднего содержания в земной коре (бор, скандий, галлий, германий, мышьяк, молибден, серебро, ртуть и свинец);

элементы, среднее содержание которых в углях отдельных бассейнов страны выше среднего содержания в земной коре (бериллий, цинк и вольфрам).

В углях Донбасса установлена весьма высокая концентрация мышьяка (кларк концентрации, представляющий отношение среднего содержания элемента в угле к среднему содержанию в земной коре, составил 44,4), на Кавакском месторождении в Средней Азии — молибдена (27,3), в Экибастузском бассейне — серебра (24,3), в Северо-Сосьвинском бассейне на Урале — бора (16,0) и германия (5,7), в Подмосковном бассейне — галлия (11,3), в Закавказье — скандия (7,6) и др. Известны угли с повышенной концентрацией урана.

Повышенная концентрация примесей в углях представляет промышленный интерес, но закономерности их распределения в угленосных бассейнах и районах требуют дополнительного изучения. Необходимо также разработка технологии их извлечения.

Многие микроэлементы в углях отнесены к токсичным (ртуть, свинец, мышьяк, ванадий, марганец, никель, хром, кобальт и бериллий). Прежде всего, опасность представляют те из них, концентрация которых в углях повышена (ртуть, свинец, мышьяк и бериллий). В процессе массового сжигания или технологической переработки углей даже с низким содержанием токсичных элементов вокруг промышленных предприятий, потребляющих ежегодно сотни тысяч тонн угля (металлургические комбинаты, коксохимические заводы, теплоэлектростанции), образуется загрязнение окружающей среды (атмосфера, гидросфера, почвенно-растительный слой).

Контрольные вопросы

1. Какова роль угля в топливно-энергетическом балансе мира?
2. Каковы общие геологические и разведанные запасы углей?
3. Как распределены ресурсы угля по странам мира?
4. Назовите основные угледобывающие страны мира.
5. Каковы запасы крупнейших угольных бассейнов мира?
6. Перечислите крупнейшие угольные бассейны мира.
7. Охарактеризуйте крупнейшие угольные бассейны СНГ.
8. Как распределены общие геологические и разведанные запасы угля в странах СНГ?
9. Как распределены общие геологические запасы углей (по маркам) в СНГ?
10. Охарактеризуйте зоны локализации попутных компонентов и полезных ископаемых в угленосных отложениях.
11. Перечислите направления использования углей и продуктов их переработки.
12. Поясните, что такое пролиз, коксование, газификация и гидрогенизация.
13. Что понимается под горючими полезными ископаемыми?
14. По какому принципу и как подразделяются горючие полезные ископаемые?
15. Перечислите направления использования нефти, природного газа, горючих сланцев и торфа.
16. Определение ископаемый уголь.
17. Охарактеризуйте минеральные примеси в углях.
18. Аллотигенные и аутигенные минеральные включения в углях.
19. По какому принципу выделяют природные типы углей?
20. Вещественный состав высших и низших растений.
21. Классификация природных типов углей.
22. Что такое гумиты и липтобиолиты?
23. Из какого исходного материала состоят кеннели и касьяниты?
24. Чем различаются сапропелиты и гумиты?
25. Дайте определение микро- и макрокомпонентов углей.
26. Что понимается под гумификацией и гелификацией?

27. Что понимается под фюзенизацией и битумизацией?
28. Как образованы витринит и инертинит?
29. Какой растительный материал образует липтинит и альгинит?
30. Какие микрокомпоненты слагают витрен и кларен?
31. Какие микрокомпоненты слагают дюрен и фюзен?
32. Какие физические свойства углей вы знаете?
33. Каким образом взаимосвязаны блеск и марочный состав углей?
34. От чего зависит цвет углей?
35. Что определяет отражательную способность (R) углей?
36. Угли какой марки обладают максимальным двуотражением?
37. От чего зависит твёрдость, плотность, прочность и излом углей?
38. Какие генетические группы трещиноватости вы знаете?
39. Какие структуры и текстуры характерны для углей?
40. От чего зависят электрические и акустические свойства углей?
41. Какое значение имеет исследование микроэлементного состава углей?
42. Какие микроэлементы характерны для углей Донбасса?

3 КАЧЕСТВО УГЛЕЙ

Определение свойств и состава угля, характеризующих его энергетические и технологические особенности, выполняется при *техническом* анализе. Установление химического состава органической части угля — задача *элементного* анализа, а неорганической — *химического (силикатного)* анализа.

Качество углей определяют петрографический состав (см. подразд. 2.5) марка и технологическая группа, влажность, зольность, сернистость, содержание фосфора, удельная теплота сгорания, элементный состав, выход летучих веществ, спекаемость, коксуемость и целый ряд других показателей. Подавляющее большинство показателей качества в соответствии с ГОСТ 27313-87 и ГОСТ 25543-88 обозначается буквами латинского алфавита, с дополнительными верхним и нижним индексами.

Нижний индекс уточняет характеристику показателя качества (St — сера общая, S_S — сера сульфидная, S_{SO4} — сера сульфатная, S₀ — органическая, S_{el} — сера элементарная), верхней — указывает на состояние топлива, проба которого использована для определения показателя.

В качестве верхнего индекса используются такие обозначения:

a (от *англ. analytic*) — аналитическое состояние; указывает на пробу с крупностью зерен менее 0,02 мм (размеры обусловлены требованиями методики исследования), приведенную в равновесие с условиями лабораторного помещения;

r — рабочее состояние; характеризует пробу с влажностью и зольностью, типичными для добываемого или используемого угля;

d (от *англ. dry — сухой*) — сухое состояние; свидетельствует о пробе угля, не содержащей общей влаги;

o (от *англ. organic*) — органическая масса угля; условное состояние топлива, не содержащего влаги и минеральной массы;

af (от *англ. ashes free — свободный от золы*) — влажное беззольное состояние; условное состояние аналитической пробы без учета зольности топлива;

daf (от *англ. dry ashes free — сухой свободный от золы*) — сухое беззольное состояние; условное состояние аналитической пробы без учёта влажности и зольности.

В процессе технического анализа углей определяют влажность, зольность, выход летучих, долю серы, удельную теплоту сгорания и коксуюемость углей. Влага и зола считаются балластом, остальные показатели определяют горючую массу топлива.

3.1 Оценка петрографического состава

Петрографический состав углей устанавливается процентным содержанием групп микрокомпонентов (витринита, инертинита, липтинита и др.) в пласте угля и отдельно — для слагающих его макрокомпонентов (ингредиенты), различающихся невооруженным глазом по блеску. По показателю отражения витринита в каменных и гуминита в бурых углях определяют степень углефикации (метаморфизма).

3.2 Влажность и влагоемкость

Влажность (W) — величина, равная отношению массы общей влаги к массе угля и выражаемая в процентах.

Уголь содержит поверхностную воду, общую, гидратную и пирогенетическую влагу.

Поверхностная, т. е. свободная (гравитационная) вода, заполняющая трещины и пустоты, удаляется из угля в условиях свободного стока даже при непродолжительном хранении. Общая или рабочая влага (W_t^r) включает в себя внешнюю или горную и внутреннюю, или лабораторную.

Внешняя влага (W_{ex}) — некоторая часть свободной воды, сохранившейся в угле по разным причинам и капиллярная вода, заполняющая поры и тонкие трещины. Она удаляется в результате естественного испарения при хранении твердого топлива. Уголь, лишённый внешней влаги, переходит в воздушно-сухое состояние.

Внутренняя влага (W_{in}) представляет собой гигроскопическую воду, молекулы которой удерживаются на поверхности минеральной частицы силами электромолекулярного притяжения. От нее избавляются в процессе высушивания пробы при температуре 105–110 °С до постоянной массы. После этого уголь приводится в абсолютно сухое состояние. В таком состоянии он может находиться непродолжительное время, так как при остывании парообразная влага сорбируется топливом из атмосферы.

Гидратная влага W_M , которая содержится в минеральных примесях, а также *пирогенетическая влага* (W_K), входящая в органическую массу угля, при температуре 105-110°C не удаляются и в массовую долю общей влаги не включаются.

Общая влага рабочей массы - один из основных показателей качества угля, состоит из внешней и внутренней (гигроскопической, конституционной). Ее массовая доля в торфе достигает 90 %, в бурых углях составляет 16–60 % (в каменных углях — 4–6 %, в антрацитах — 3–8 %. Влажность углей снижает теплоту сгорания и термическую стойкость, затрудняет помол, рассев и обогащение, увеличивает продолжительность коксования и стоимость перевозки.

Максимальная влагоёмкость угля W_{\max} характеризует массовую долю влаги в угле в состоянии полного насыщения его водой.

3.3 Зольность. "Соленые" угли

Зольность A — величина, равная отношению (в процентах) массы твердого негорючего остатка, полученного после сжигания угля в установленных условиях, к массе топлива. Для сопоставления углей, содержащих разное количество минеральных примесей, зольность рассчитывают на сухое (A^d) или рабочее (A^r) состояние. Как правило, из угля получают меньше золы, чем было в нем минеральных примесей. Причина заключается в том, что карбонаты (кальцит, доломит, сидерит и др.), сульфиды (пирит, марказит и др.), глинистые минералы в процессе сжигания углей разлагаются с выделением газов.

В углях выделяют *внутреннюю (материнская или конституционная)* и *внешнюю (вторичная, или случайная)* золу. Внутренняя зола образуется за счёт неорганических компонентов, распределённых в топливе, и практически не удаляется при обогащении углей. Ее массовая доля в чистых разновидностях углей составляет в Донбассе 1,2–7,5 %, Кузбассе — 1,9–5,9 %, Караганде — 3,4–9,2 % и т. д. При доле внутренней золы свыше 50 % уголь переходит в углистую породу. Источниками внешней золы являются минеральное вещество, привносимое в торфяник в период накопления растительного материала, минеральные образования в углях, породные прослойки в угольных пластах сложного строения, породы почвы и кровли. Эта группа минеральных примесей может быть удалена при обогащении.

По общей зольности угли подразделяются на малозольные (до 10 %), средnezольные (10–20 %) и высокозольные (свыше 20 %).

Повышение зольности снижает удельную теплоту сгорания угля, отрицательно сказывается на технологии коксования, на качестве кокса и т. д.

Качество углей зависит также и от состава золы. Если среди минеральных примесей присутствуют соединения, содержащие натрий в несиликатной форме (галит NaCl , тенардит Na_2SO_4 и др.), то при сжигании такого топлива происходит интенсивное шлакование поверхностей нагрева, снижение температуры газов, усиление коррозии арматуры топок и котлов. Такие угли называют солёными. Они распространены в Тургайском и Нижнеилийском бассейнах бурых углей, в Богдановском и Новомосковском угленосных районах Донбасса.

3.4 Сернистость

Сернистость углей S — величина, равная отношению (в процентах) массы общей серы (S_t) к массе угля. В зависимости от массовой доли общей серы угли подразделяются на малосернистые (0,5–1,5 %), среднесернистые (1,6–2,6 %), сернистые (2,6–4,0 %) и высокосернистые (более 4,0 %). Сернистость углей большинства месторождений колеблется в пределах 0,1–1,5 %. Повышенное содержание серы отмечено в донецких, подмосковных и кизеловских углях (до 6 %), весьма высокое — в тургайских и Иркутских (до 12 %).

Общая сера включает в себя неорганическую (сульфидная S_s и сульфатная S_{so4}), органическую (S_0) и элементарную (S_{el}) серу. Сульфидная (колчеданная) сера входит в состав минералов (пирит, марказит) и распространена в углях в виде мелких (доли миллиметра) вкраплений или крупных (до десятков сантиметров) конкреций. При сжигании сульфидные минералы разлагаются с выделением сероводорода. Минералы с сульфатной серой (гипс, барит и др.) заполняют маломощные трещинки в угле. Хотя количество такой серы невелико (не более 0,3 %), но при сжигании угля она не улетучивается, переходит в золу и поэтому относится к наиболее вредным примесям. Органическая сера представляет собой составную часть белкового вещества растений, ее массовая доля не превышает 2 %. При сжигании угля она сгорает. Элементарная сера присутствует в угле в свободном состоянии (самородная сера).

Сернистые соединения загрязняют атмосферу, разъедают арматуру топочных устройств. Нелетучая часть серы переходит в кокс, при доменной плавке образует в чугуна включения сернистого железа. На её удаление из металла требуется дополнительный расход флюсов и кокса.

Мероприятия по борьбе с повышенной сернистостью углей — улавливание серы (сероочистка), рассредоточение высокосернистых углей по мелким предприятиям, шихтование с малосернистыми углями и др.

3.5 Фосфор

Фосфор (P) находится в составе минеральной и органической массы твердого топлива. Его массовая доля в углях Донбасса составляет 0,001–0,02 %, Кузбасса — 0,001–0,12 %, Печёрбасса — до 0,28 %. Фосфор относится к вредным примесям, так как из кокса он переходит в чугун и резко снижает качество получаемого металла. При энергетическом использовании топлива содержание фосфора не лимитируется. В антрацитах, используемых для получения карбида кальция, доля фосфора не должна быть выше 0,05 %, для специальных сортов кокса — не выше 0,012 %.

3.6 Удельная теплота сгорания

Удельная теплота сгорания (Q) — величина, равная отношению количества теплоты, выделившегося при полном сгорании угля в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода при определенных условиях, к массе этого угля. Данную величину выражают в мегаджоулях на килограмм (МДж/кг) или в килокалориях на килограмм (ккал/кг), причем $1 \text{ МДж} = 238,8 \text{ ккал}$.

В калориметрической бомбе источником теплоты помимо органической массы топлива, содержащей углерод и водород, являются также сера, азот и вода. Теплота от серы и азота обусловлена образованием и растворением в воде серной и азотной кислот, от воды — испарением. При сжигании угля в обычных условиях (топка, печь и т. д.) азот и сера улетучиваются в атмосферу и кислот не образуют.

В зависимости от природы тепла при сжигании угля различают высшую и низшую удельную теплоту сгорания. *Высшая удельная теплота сгорания Q_s* указывает на то, что источником теплоты являются

органическая масса топлива и испаряющаяся вода, *низшая* Q_i — только органическая масса.

Высшая удельная теплота сгорания, ккал/кг,

$$Q_S = 81 C + 310 H - 26 (O - S),$$

где, C, O, H, S — массовая доля соответственно углерода, кислорода, водорода и серы, %.

Для сравнения удельной теплоты сгорания углей разного качества и из различных месторождений введены понятия "условное топливо" и "калорийный эквивалент". Условным называется топливо с низшей удельной теплотой сгорания $Q_i = 7000$ ккал/кг (29,3 МДж/кг). Калорийный эквивалент \mathcal{E}_k равен отношению низшей удельной теплоты сгорания угля к низшей удельной теплоте сгорания условного топлива.

Удельная теплота сгорания гумолитов (рис. 7) с ростом степени метаморфизма увеличивается (торф — 5000–5700 ккал/кг, бурый уголь — 6100–7800 ккал/кг, каменный уголь — 7300–8800 ккал/кг, антрацит — 8000–8500 ккал/кг). Тепловой эффект при сгорании сапропелитов за счет избытка водорода более высок, чем у гумолитов.

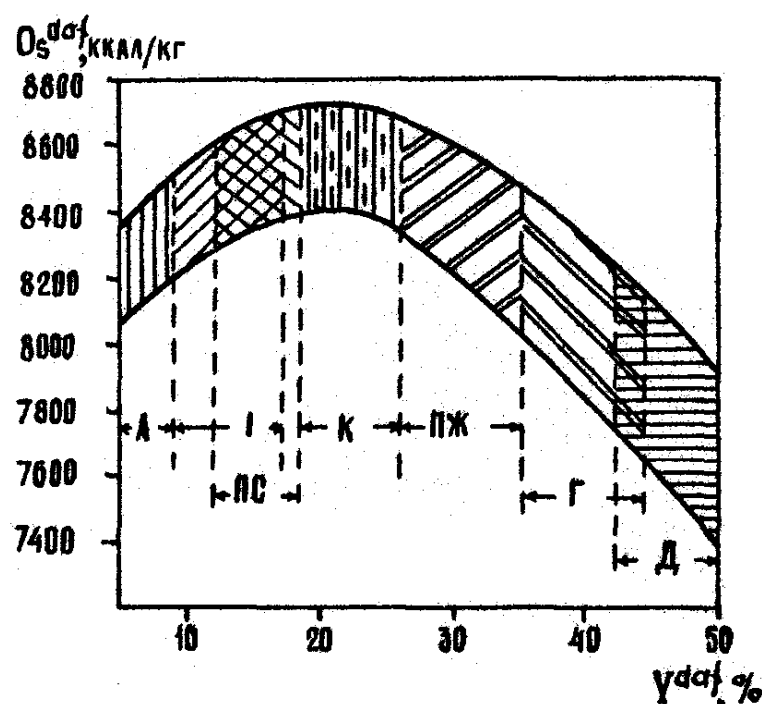


Рисунок 7 — Изменение удельной теплоты сгорания Q_s^{daf} и выхода летучих V^{daf} для донецких углей различных марок (по С.И. Крыму) А — антрацит, Т — тощие угли, ПС — первично-спекающиеся, К — коксовые, ПЖ — первично-жирные, Г — газовые, Д — длиннопламенные угли

3.7 Элементный состав

Элементный состав характеризуется массовой долей (в процентах) химических элементов, слагающих уголь. Основные углеобразующие химические элементы — углерод, водород, кислород, азот и сера. В углях, предназначенных для коксования, дополнительно определяется массовая доля фосфора.

Элементный состав позволяет судить о природном типе и степени метаморфизма угля, определить теоретическую температуру горения и состав продуктов сгорания, удельную теплоту сгорания и др.

В таблице 10 приведены характеристики элементного состава и некоторых технологических свойств разных видов угля.

На рис. 8 показано изменение элементного состава, выхода летучих V^{daf} и отражательной способности витринита R_0 для разных видов топлива.

Углерод — основной химический элемент, определяющий теплоту сгорания угля. В металлургическом процессе он является восстановителем металла из руды и источником энергии. Теплота сгорания одного килограмма углерода 8140 ккал. Его массовая доля зависит от вида угля (среди гумолитов в торфе — 55–60 %, буром угле — 63–77 %, каменном угле — 74–92 %, антраците — 89–97 %), от состава и особенностей биохимического разложения исходного растительного вещества (при той же степени метаморфизма доля элемента в фюзеновых и дюреновых углях выше, чем в клареновых). В процессе углефикации происходит изменение содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$, табл. 9).

Таблица 9 — Соотношения органического вещества (ОВ) и органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в зависимости от степени углефикации. (по Я. Э. Юдовичу и М.П. Кетрис)

| Стадия углефикации | Остаток ОВ по отношению к торфяной стадии | Содержание $C_{\text{орг}}$ в ОВ, % | Потери $C_{\text{орг}}$ в % $C_{\text{орг}}$ к торфяной стадии |
|--------------------|---|-------------------------------------|--|
| Торфяная | 1,00 | 60 | 0,0 |
| Буроугольная | 0,71 | 67 | 20,7 |
| Каменноугольная | 0,50 | 75 | 37,5 |
| Антрацитовая | 0,41 | 90 | 38,5 |
| Графитовая | 0,36 | 100 | 40,0 |

Таблица 10 — Элементный состав и технологические свойства разных видов углей

| Вид угля | Элементный состав, % | | | | Технологические свойства | | |
|-------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------------|---|
| | C ^{daf} | H ^{daf} | O ^{daf} | N ^{daf} | W ^r , % | V ^{daf} , % | Q _s ^{daf} , ккал/кг (МДж/кг) |
| Бурый | 63,0- 77,0 | 4,0-6,3 | 16,0- 28,0 | 0,7-1,4 | 17,0- 58,0 | 10,0- 60,0 | 6100-7800 (25,5-32,6) |
| Каменный (Д-Ж) | 74,0- 87,0 | 5,0-5,9 | 5,0-16,0 | 1,0-2,0 | 4,0- 16,0 | 30,0- 50,0 | 7300-8550 (30,6-35,8) |
| Каменный (К-Т) | 87,0- 92,0 | 3,7-5,1 | 2,0-6,0 | 1,1-2,0 | 3,0-6,0 | 8,0-30,0 | 8250-8800 (34,5-36,8) |
| Антрацит | 89,0- 97,0 | 1,0-3,7 | 1,0-2,0 | 1,0-1,5 | 5,0-8,0 | 2,0-8,0 | 8000-8500 (33,5-35,6) |

Водород в несвязанной с кислородом форме также является источником теплоты и при сгорании дает ее в 4,2 раза больше, чем углерод (34188 ккал/кг). Доля элемента определяется составом исходного вещества (в гумитах — 1,0–6,5 %, в липтобиолитах — 6–9 %, в сапропелитах — 7–11 %) и степенью метаморфизма (среди гумолитов в торфе — 4,6–6,5 %, буром угле — 4,0–6,3 %, каменном угле — 3,7–5,1 %, антраците — 1,0–3,7 %).

Кислород и *азот* — балластные компоненты топлива.

Доля кислорода в гумолитах снижается с увеличением степени метаморфизма.

Азот при коксовании дает целый ряд ценных соединений.

3.8 Летучие вещества

Летучие вещества (V) — смесь паро- и газообразных веществ, отделяющихся при нагревании угля до 850°C без доступа воздуха в установленных стандартом условиях. Летучие компоненты представлены первичным дёгтем (бурый уголь) или каменноугольной смолой (каменный уголь), газами (CO₂, CO, H₂, NH₃, легкие углеводороды — метан CH₄, этан C₂H₆ и др.) и водой. Выход отделяющихся летучих веществ зависит от состава и степени углефикации органической массы. В гумолитах выход летучих составляет: в бурых углях 10–60 %; в каменных — 8–50 %; в антрацитах — 2–8 %. Особенно четкие различия в значении этого показателя характерны для средних стадий углефикации (марки

ГЖ — ОС), в которых V^{daf} изменяется от 10 до 36 %. На одинаковых стадиях углефикации наибольший выход летучих дают угли, сложенные липтинитом, наименьший — сложенные инертинитом. Максимальные значения V^{daf} (до 80 %) отмечены у сапропелитов и липтобиолитов. Для снижения погрешности в оценке выхода летучих веществ, обусловленной неорганической примесью (сульфиды, карбонаты и др.), определение этого показателя выполняется в топливе с зольностью не более 10 %.

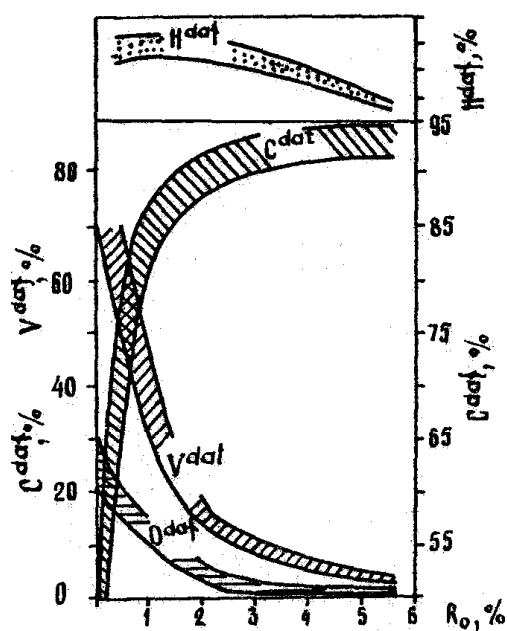


Рисунок 8 — Изменение доли C^{daf} , водорода H^{daf} , кислорода O^{daf} , выхода летучих веществ V^{daf} и отражательной способности витринита R_0 в процессе углефикации

3.9 Спекаемость

При нагревании измельченного угля без доступа воздуха после ухода летучих веществ остается твердый остаток или королек, внешний вид которого зависит от степени углефикации топлива. Порошкообразный твердый остаток дают бурые угли и антрациты, слабоспекшийся — длиннопламенные и тощие каменные угли, спекшийся (несплавленный и сплавленный) — газовые спекшиеся угли. Сплавленный остаток называется коксом и характеризует особенно ценную группу коксующихся углей, пригодных для использования в металлургическом производстве.

В процессе коксования уголь переходит в пластическое состояние, при котором отдельные сохранившиеся зерна связываются или спекаются в однородную массу.

Количественная оценка спекаемости устанавливается пластометрическим методом, определением показателей (индексов) Рога и свободного вспучивания.

Пластометрический метод позволяет установить числовое значение усадки X и толщины пластического слоя Y в миллиметрах. Усадка образца происходит в результате уменьшения объема угля, связанного с выделением газообразных продуктов и измеряется от первоначальной высоты угольной загрузки. *Толщина пластического слоя* — мощность части пробы угля, находящейся в пластическом состоянии, определяется путем прокалывания иглой. Толщина пластического слоя коксующихся углей 13–19 мм, а их усадка — 15–28 мм.

Показатель Рога RI отражает механическую прочность нелетучего остатка, полученного из смеси угля и некоторого количества инертных примесей (дроблённого антрацита, кварцевого песка, кокса и т. п.). Жирные, коксовые жирные и коксовые угли характеризуются показателем Рога более 45, газовые, газовые жирные отощенные, газовые жирные и коксовые отощенные, коксовые слабоспекающиеся и отощенные спекающиеся — 20–45, остальные — 5–20; показатель Рога антрацита близок к нулю.

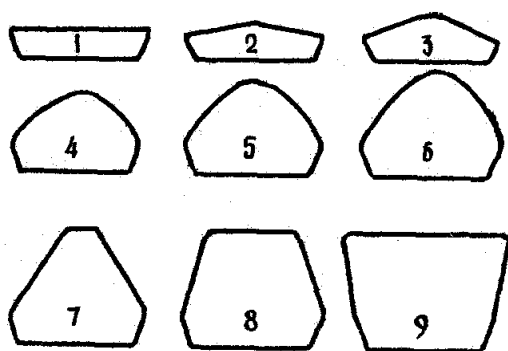


Рисунок 9 — Стандартные профили тигельного кокса (цифрами показаны индексы вспучивания)

Показатель (индекс) свободного вспучивания SI определяется сравнением контура нелетучего остатка, полученного при быстром нагревании угля в тигле при установленных стандартом условиях, с кон-

туром стандартных образцов (рис. 9). Номер стандартного образца, соответствующий среднему из пяти определений профилю нелетучего остатка, полученного из испытуемого угля, обозначает показатель (индекс) вспучивания. Показатель SI используется в международной классификации углей.

3.10 Коксуемость

Кокс (K) — остаток высокотемпературного разложения каменного угля определенного состава или смесей (шихты) углей.

Коксуемостью углей называется свойство измельченного угля спекаться с последующим образованием кокса с установленной крупностью и прочностью кусков. Коксуемость углей определяется при опытном коксовании в лабораторных или полужаводских условиях. В лаборатории устанавливают дилатометрические показатели и тип кокса по системе Грей-Кинга.

Дилатометрические исследования выполняются в процессе нагревания порошкообразного угля в узкой калиброванной трубке, снабженной поршнем (дилатометр). В процессе изменения температуры нагрева отмечаются сжатие «а» и расширение «b» угля. *Коксующая способность* - показатель максимального расширения (вспучивания) угля.

Тип кокса по системе Грей-Кинга (G_K) устанавливается сравнением кокса, полученного из угля с инертным материалом при медленном нагревании в установленных стандартом условиях, с эталонной шкалой типов кокса, обозначаемых буквами латинского алфавита. Упрощенная эталонная шкала типов кокса: А — порошкообразный; В — слегка спекшийся; Д — умеренно твердый (при трении окрашивает пальцы), матовый и черный; Е — сильно растрескавшийся твердый (при трении не окрашивает рук), серый или чёрный, с лёгким блеском; F — твердый, прочный (при трении не окрашивает рук), излом серый с сильно оплавленной поверхностью; G — твердый, прочный, издаёт отчетливый металлический звук; G_1 — слегка вспученный; G_2 — умеренно вспученный; G_3 — сильно вспученный.

Показатель максимального расширения (вспучивания) и тип кокса по системе Грей-Кинга используются в международной системе классификации каменных углей.

В начальной стадии процесса коксования из углей испаряется влага и выходит часть летучих веществ, при 300–350°С уголь размягчается, а затем разлагается на твёрдые, жидкие и газообразные продукты, при этом образуется пластическая масса, твердеющая при 470–550°С с образованием полукокса. При нагревании до 900–1100°С получается кокс. Наряду с коксом получают смолы, сырой бензол, коксовый газ и другие продукты.

3.11 Выход смолы

Выход смолы полукоксования угля T_{SK} представляет собой отношение массы жидких продуктов разложения угля, нагреваемого без доступа воздуха при температуре 550–600°С в установленных стандартом условиях, к массе этого угля. Указанный показатель используется при оценке качества и в промышленных классификациях бурых углей.

Определение вида, класса, категории, типа и подтипа, марок, групп и подгрупп топлива выполняются согласно ГОСТ 25543-88 «Уголь бурый, каменный и антрациты».

3.12 Сорты угля

Добытый уголь подразделяется по крупности кусков на сорта: П — плитный (>300 мм); К — крупный (50–300 мм); О — орех (25-50 мм); М — мелкий (13–25 мм); С — семечко (6–13 мм); Ш — штыб (<6 мм).

Контрольные вопросы

1. Какие показатели качества угля вы знаете?
2. Как обозначаются показатели качества угля?
3. Какие типы влаги в углях выделяют?
4. Какие виды золы в углях вы знаете?
5. Какие вещества составляют зольную часть угля?
6. Какие угли называют солёными?
7. Какие виды серы в углях вы знаете?
8. Какие мероприятия применяют по борьбе с повышенной сернистостью?

9. Какой уровень содержания серы и фосфора характерен для углей Донбасса?
10. От чего зависит удельная теплота сгорания?
11. Как меняется удельная теплота сгорания гумолитов?
12. Назовите элементный состав углей.
13. От чего зависит массовая доля углерода в углях?
14. Как взаимосвязаны элементный состав и технологические свойства углей?
15. Чем определяется содержание водорода в углях?
16. При каких условиях определяется выход летучих веществ?
17. Как влияет состав исходного растительного материала и степень метаморфизма на выход летучих веществ из угля?
18. Как зависит спекаемость углей от степени их метаморфизма?
19. Какими методами определяется спекаемость углей?
20. Что позволяет определить пластометрический метод?
21. Что отражает показатель Рога?
22. Что такое кокс и коксуемость углей?
23. В чём заключаются дилатометрические исследования угля?
24. Как устанавливается тип кокса по системе Грей-Кинга?
25. Какие типы кокса включает эталонная шкала?
26. При каких условиях и в каких углях определяют выход смолы?
27. На какие сорта подразделяются угли по крупности кусков?

4 ЗАКОНОМЕРНОСТИ УГЛЕНАКОПЛЕНИЯ

4.1 Условия накопления растительного материала

Максимум накопления растительного материала отмечен в карбоне-перми (в СНГ — 37 %, в мире — 47,3 %), в юре (14 %; 16,3 %), в верхнем мелу (19,5 %; 20,5 %) и в палеоген-неогене (28,5 %, 15,8 %).

Для накопления растительного материала необходимо благоприятное сочетание фитологических, климатических, геоморфологических и геотектонических условий.

Фитологические условия. Первые наземные растения — псилофиты появились в девоне (Барзасское месторождение в Кузбассе и месторождения на о. Медвежий). Расцвет наземной растительности в карбоне — древовидные папоротники, хвощи и каламиты (камышы, тростники), лепидодендроны (чешуедревы), сигиллярии, кордаиты (предки хвойных растений). В Mz углеобразование протекало в J и K из голосеменных растений (хвойные, саговниковые). Растительным материалом для Kz (Pg-N) месторождений — голосеменные (хвойные) и покрытосеменные растения (дуб, пальма, ива, тополь, виноград и др.).

Климатические условия. Необходим теплый и влажный климат.

Геотектонические условия. Краевые прогибы на границах геосинклиналей и платформ, впадины складчатых областей и окраин древних платформ, отрицательные структуры у горных сооружений. Благоприятно совпадение скоростей погружения территории и поступления растительного материала. Ускоренное погружение приводит к *рассеянию органики*, образованию многочисленных маломощных прослоев углей. При медленном опускании избыточная часть органики *рассеивается на значительной площади* и образуется маломощный угольный пласт. При подъеме территории органический материал эродирован.

Геоморфологические условия. Выровненный пониженный рельеф с уровнем грунтовых вод, близким к уровню поверхности. Торфяное болото должно быть защищено береговыми валами, косами, барами и др. Слабо выраженный рельеф окружающей территории исключает возможность массового поступления в область угленакопления обломочного материала.

Накопление органики может происходить в *прибрежно-морских (паралических)* — присутствуют остатки морской фауны в угле, морских отложений в почве или кровле угольного пласта, значительное площадное распространение угольных пластов и в *континентальных (лимнических)* условиях. В ранние эпохи преобладало углеобразование в прибрежно-морских условиях.

4.2 Стадии углеобразования

Углеобразование — последовательное превращение отмерших растений в торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит и графит. Оно условно разделено на биохимическую и геологическую стадии.

На биохимической стадии происходит накопление, биохимическое разложение и химическое преобразование растительного вещества. Эти процессы протекают на земной поверхности, в болоте в течение тысячелетий и заканчиваются превращением растительного вещества в торф.

Накопление исходного растительного материала может быть автохтонным и аллохтонным. При *автохтонном* (от греч. авто — сам и хтон — земля) накоплении горючее ископаемое залегает на месте произрастания растений, при *аллохтонном* (от греч. аллос — другой, чужой) растение произрастает в одном месте, а после гибели переносится в другое, где подвергается дальнейшему разложению и преобразованию. К признакам автохтонного накопления растительного вещества относятся присутствие в почве пласта корешков и пней деревьев, наличие и хорошая сохранность растительных остатков, небольшая примесь минерального вещества, невысокая зольность (до 8 %), постоянство мощности пластов. Аллохтония характеризуется отсутствием в почве корней и пней, наличием грубых растительных остатков, высокой зольностью углей (более 15 %) и невыдержанной мощностью угольных пластов. Различают аллохтонию первичную (перенос отмерших растений водой и ветром) и вторичную (переотложение торфа и угля в результате размыва водой, ледниковой деятельности, развития оползней, карстов и других явлений).

После накопления происходит разложение растений, характер которого зависит от кислородного и водного режима среды, в которую они попадают после гибели. Агентами разложения являются грибки (в 1 г растительного вещества насчитывается 26000 особей), бактерии (до

10000) и микробы. При погружении в водную среду на глубину до 20-40 см главная роль принадлежит аэробным (развивающимся при наличии кислорода) бактериям, затем до глубины 1,5–3,0 м — анаэробным (способным жить при отсутствии кислорода), утилизирующим кислород органических веществ. Аэробные бактерии разлагают углеводы (сахар, крахмал, целлюлозу). Серобактерии в торфе и органическом иле восстанавливают сульфаты до серы, обуславливая образование пирита и марказита.

Таким образом, наземные и болотные растения подвергаются тлению, перегниванию и оторфованию, водные организмы — гниению. *Тление*, протекающее при обильном доступе кислорода в увлажненное растительное вещество, заключается в полном окислении (уничтожении) органической части растения; в результате образуются улетучивающиеся газообразные соединения (пары воды, оксид углерода (IV) и др.) и минеральное вещество (зола). *Перегнивание* — неполное тление при ограниченном доступе кислорода в увлажненную растительную массу, при котором происходит частичное окисление и образуется перегной, содержащий твердые богатые кислородом соединения. *Оторфованье* — неполное разложение при ограниченном доступе кислорода и в условиях высокой влажности (застойные воды), в результате которого накапливаются твердые богатые углеродом скопления (торф). При этом происходит синтез углеводородных соединений и преобразование гуминовых кислот. При перегнивании и оторфовании из лигнин-целлюлозных тканей образуются гуминовые кислоты (гумификация) при участии аэробных бактерий и низших грибов. *Гниение* — разложение водорослей и простейших живых организмов в застойной водной среде без доступа кислорода протекает в восстановительной обстановке, при этом накапливаются твердые продукты, обогащенные водородом (из водорослей образуется сапрпель).

Растения, разложившиеся под влиянием биохимических агентов, затем подвергаются химическому преобразованию в направлении создания однородной коллоидальной массы — гумификации, гелификации, фюзенизации и битумизации (см. подразд.2.5).

Геологическая стадия состоит из ряда последовательных превращений: торфа — в бурый уголь; бурого угля — в каменный; каменного — в антрацит и далее в графит. Перечисленные процессы начинаются после

перекрытия торфяника кровлей, протекают в недрах Земли среди пластов горных пород в течение длительного периода времени (от нескольких миллионов до сотен миллионов лет) под влиянием давления вышележащих толщ и сравнительно высоких температур. Превращение органического вещества (углефикация) сопровождается обезвоживанием, уменьшением в объеме (бурые и каменные угли занимают объем соответственно в 3,5 раза и в 12 раз меньший, чем исходная органическая масса), изменением физических и технологических свойств, химического состава. Углефикация подразделяется на диагенез (преобразование торфа в бурый уголь) и метаморфизм (преобразование бурого угля в каменный и далее в антрацит и графит).

Бурый уголь — низший член углефикационного ряда гумусовых углей, переходная форма от торфа к каменному углю. От торфа он отличается более высокой степенью превращения остатков растений, обогащением (до 70 %) углеродом. Для угля этого вида характерна бурая (иногда — черная) черта. Благодаря присутствию в нем гуминового вещества происходит окрашивание раствора щелочи в темно-бурый цвет и раствора разбавленной азотной кислоты в цвета от ярко-желтого до красно-бурого. Плотность бурого угля — 0,8–1,35 г/см³. Уплотнение торфа под действием повышающейся температуры и тяжестью перекрывающих песчано-глинистых пород обуславливает переходы от землистых бурых углей к более плотным, приближающимся к каменным. Различают землистые, лигнитовые, плотные матовые и плотные блестящие бурые угли. Землистый бурый уголь — рыхлый, слабосцементированный, пористый с однородным или комковатым сложением представлен мелкозернистой бурой массой, которая при высыхании превращается в порошокатое вещество. Лигнитовый уголь (от лат. lignum — древесина) характеризуется лигнитовой (древесной) структурой и при высыхании раскалывается на слои, соответствующие годичным кольцам. Он залегает среди бурого угля слабой степени углефикации, переслаиваясь с ним или образуя самостоятельные пласты. Плотный матовый бурый уголь — сцементированный уголь, сложенный углеобразующими компонентами, имеющими признаки каменного и землистого бурого угля, при высыхании растрескивается. Плотный блестящий бурый уголь - порода черного цвета со слабозаметным буроватым оттен-

ком и смолистым блеском. Наблюдаются трещины усыхания. Бурые угли могут быть сложены гумитами, сапропелитами и смешанными природными типами.

Между бурыми и каменными углями выделены переходные угли - бурые длиннопламенные (БД). С типичными бурыми углями их сближает плохо выраженный эндокливаж и бурая черта, с каменными — цвет, плотность, вязкость.

Каменный уголь — твердая плотная порода, образовавшаяся в процессе углефикации (метаморфизма) бурого угля, от которого он отличается физическими и технологическими свойствами и химическим составом. По мере увеличения степени углефикации цвет гумусовых углей изменяется от черного до серо-черного, цвет черты — от коричневой до черной и темно-серой, блеск — от смолистого до яркого алмазного металловидного, снижаются прочность (от высокой до средней), вязкость, выход летучих (50–10 %) и доля водорода, возрастают плотность ($1,3–1,5 \text{ г/см}^3$), удельная теплота сгорания, массовая доля углерода и др. Каменные угли могут быть сложены гумитами и сапропелито-гумитовыми природными типами. Между каменными углями и антрацитами выделяют переходные угли - полуантрациты (ПА).

Антрацит — каменный уголь высокой степени углефикации (метаморфизма) представляет собой плотную и однородную породу серовато-черного и черно-серого цвета с металловидным или металлическим блеском и бархатисто-черной чертой. Излом раковистый и остроуголоватый, края обломков — острые, режущие. От каменных углей отличается также большей плотностью ($1,4–1,7 \text{ г/см}^3$), высокой массовой долей углерода (не менее 95 %), низким выходом летучих веществ (8–2 %). Антрациты характеризуются высокой электрической проводимостью, стойкостью к воздействию агрессивных сред, к истиранию и пластическим деформациям, низкой реакционной способностью и др. Они могут быть сложены гумитами и сапропелито-гумитами.

Иногда выделяют суперантрациты (перантрацит) — антрацит высшей степени углефикации (метаморфизма).

В Карелии в районе Онежского озера (о. Шуньга) среди метаморфизованных пород нижнего протерозоя установлен пласт антрацита (мощность 4 м) высшей степени метаморфизма, который назван шунги-

том. Доля углерода в чистых разновидностях шунгита на горючую массу составляет 98 %, выход летучих веществ — около 2 %. В нем обнаружены фрагменты растительной органики, напоминающие древесину, что позволило эти породы отнести к гумитам. Графит органического происхождения включает углефикационный ряд, возникший из растительного материала. Он образуется при контактовом воздействии интрузий на уголь (Тунгусский и другие угольные бассейны).

4.3 Угольный пласт

Угольный пласт — тело, сложенное углем и вытянутое по простиранию и падению на сотни и более метров, отграниченное от вмещающих пород поверхностями напластования (верхняя — кровля, нижняя — почва). Пласт — наиболее распространенная форма тел угольных месторождений. Угольный пласт мощностью менее 10 см называется прослоем или пропластком.

По строению пласты бывают простыми (без породных прослоев), умеренно сложными (1–3 породных прослоя) и очень сложными (переслаивание многочисленных угольных и породных прослоев). В умеренно сложных и очень сложных пластах выделяют пачки — части угольного пласта между породными прослоями.

Мощность пласта — кратчайшее расстояние от кровли до почвы. В угольных пластах различают несколько видов измеряемой мощности.

В зависимости от мощности угольные пласты подразделяются на весьма тонкие (0,5–1,3 м), средние (1,3–3,5 м), мощные (3,5–15 м) и весьма мощные (более 15 м). В СНГ весьма мощные (60–200 м) пласты каменного угля известны в Кузнецком и Экибастузском бассейнах, а бурого угля (мощностью 80–100 м) — в Канско-Ачинском бассейне и на месторождениях Башкирии и Украины. Самые мощные в мире пласты угля известны в Австралии (на месторождении Латроб Вэлли пласт бурого угля мощностью 330 м) и в Канаде (на месторождении Хат-Крик пласт мощностью 450 м, в верхней части близкий к торфу, в нижней — каменный уголь).

Элементы залегания пласта — линия простирания, линия падения и угол падения. Линия простирания пласта — линия, образующаяся при пересечении поверхности наклонно залегающего пласта с горизонтальной плоскостью. Линия падения пласта — линия, лежащая на его поверхности,

перпендикулярная линии простирания и направленная по падению пласта. На практике измеряют азимуты линий простирания и падения пласта. Азимут линии простирания, т. е. угол между направлением на север и линией простирания, имеет два значения, которые отличаются друг от друга на 180° . Азимут линии падения — угол между направлением на север и линией падения имеет одно значение. Азимуты линий простирания и падения могут принимать значения от 0 до 360° . Угол падения — угол между горизонтальной плоскостью и поверхностью пласта, как правило, имеет значение $0-90^\circ$. Опрокинутые пласты характеризуются углами падения более 90° .

В зависимости от значения угла падения пласты подразделяются на пологие (до 25°), наклонные (до 45°) и крутые (свыше 45°).

Мощность пласта по простиранию и по падению изменяется. У выдержанных по мощности пластов отклонение от средней величины составляет до 25 %, у относительно выдержанных — до 50 %, у невыдержанных — более 50 %.

Изменение мощности угольного пласта может быть обусловлено как особенностями накопления растительного материала (неровное основание ложа торфяника, неравномерное поступление органики, расщепление и размывы, фациальное замещение), так и процессами, происходившими после образования пласта (тектонические процессы, размывы).

При накоплении растительного вещества на неровном основании местами может отсутствовать нижняя часть пласта (рис. 10,а), а при неравномерном поступлении органики — верхняя часть (рис. 10,б).

Расщепление выклинивающегося пласта на краю болота происходит в результате различной способности к уплотнению растительного вещества и горной породы. Неравномерное прогибание торфяника может быть причиной того, что местами накапливается не растительное, а минеральное вещество, которое образует породные прослойки в угольном пласте. Расщепляющийся угольный пласт может сохранять общую полезную мощность и через некоторое расстояние слиться в единый пласт (рис. 11).

Известны случаи многократного расщепления основного пласта. Фациальное замещение представляет собой естественное выклинивание угольного пласта, обусловленное прекращением торфообразования и накоплением осадков обломочного, глинистого и карбонатного составов.

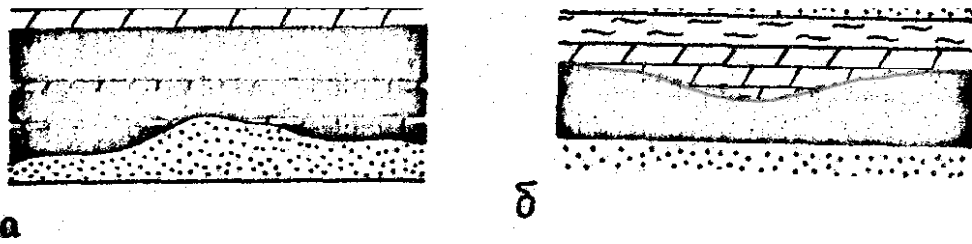


Рисунок 10 — Изменение мощности угольного пласта: а — при неровном основании участка накопления растительного материала; б — при неравномерном поступлении растительного материала

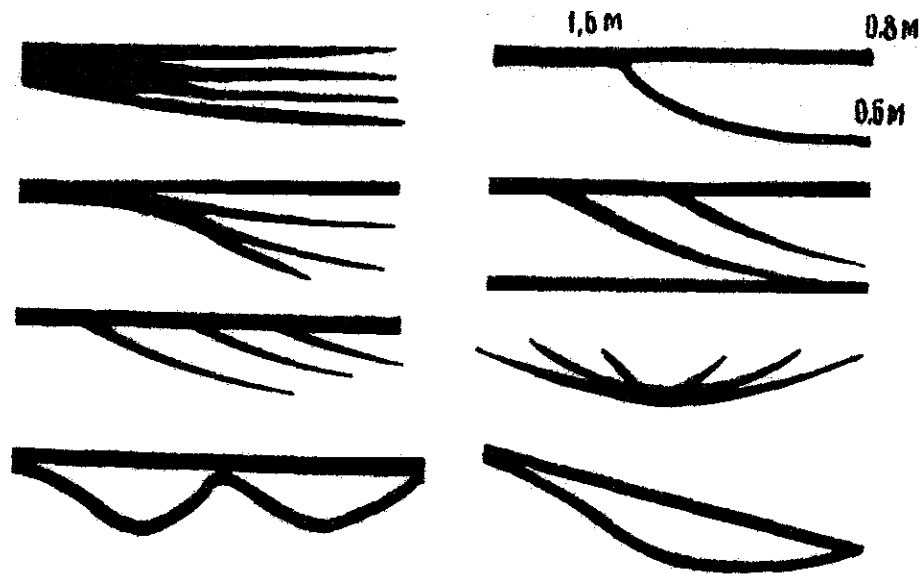


Рисунок 11 — Типы расщепления угольного пласта

Под влиянием тектонических деформаций (складчатые и разрывные) в одних случаях возникают раздувы, в других — сокращение мощности в пять и более раз. Чаще всего такие явления приурочены к осям крутых антиклинальных складок или к сопряжениям разрывов растяжения. Во всех случаях пласты перемяты, уголь измельчен до пылевидного состояния.

Наиболее распространенной причиной изменения мощности пласта является размыв. На размыв указывают уменьшение мощности пласта на сравнительно коротких расстояниях, присутствие эрозионного вреза, характер линии контакта между углем и замещающей породой, взаимоотношение размыва с породами почвы и кровли. Различают сингенетические и эпигенетические размывы (рис. 12). Сингенетические

размывы формировались русловыми потоками и болотными реками, протекавшими через торфяную массу. На месте размыва отлагались привнесенные осадки. Если течение водных потоков ослабевало или прекращалось, накопившиеся отложения покрывались растительностью, а затем — снова торфяной массой. Эпигенетические размывы угольного пласта связаны с эрозионной деятельностью водных потоков. Они характеризуются глубоким врезом и могут затрагивать не только угольный пласт, но и породы почвы.

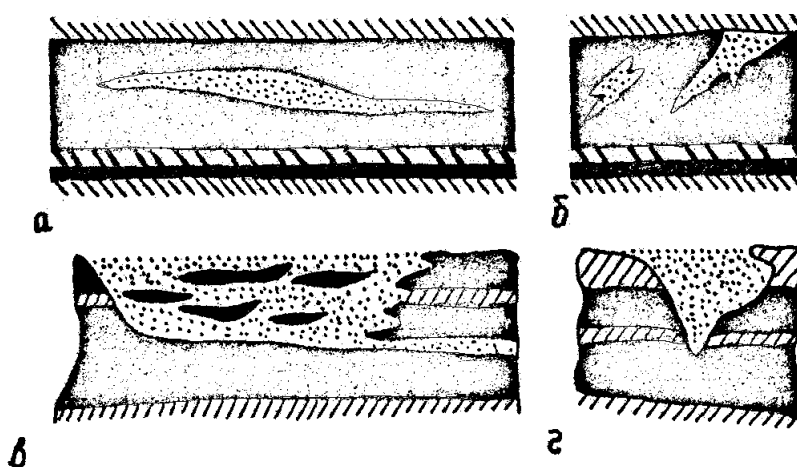


Рисунок 12 — Типы размывов угольного пласта:
а, б — сингенетический; в, г — эпигенетический

В угольных пластах обнаружены валуны, гальки, конкреционные тела и минеральные образования. Валуны и гальки магматических, осадочных и метаморфических пород привносятся в торфяник с корневой системой растений, со скоплениями растительного материала. Известны гальки, сложенные углем. Конкреционные тела по составу могут быть карбонатными (сложены кальцитом, доломитом и сидеритом), сульфидными (пирит, марказит) и др. Они характеризуются округлой и эллипсоидальной формой, размером до нескольких дециметров. Конкреции образуются в угольном пласте в процессе диагенеза (при превращении торфа в уголь).

Взаимоотношения пластов углей с вмещающими породами могут быть такими:

1) пласт угля вмещается значительной по мощности толщей однородной породы, образующей с углем резкий контакт, что свидетельствует о быстрой смене условий накопления;

2) пласт угля отделяется от вмещающих пород маломощным прослоем породы (часто — углистого состава), что указывает на постепенный переход к новым условиям накопления;

3) пласт угля подстигается или перекрывается толщей переслаивающихся песчано-глинистых пород, содержащих маломощные прослои углей, что характерно для неустойчивого режима при отложении осадков.

В Донбассе в большинстве случаев почвой угольных пластов являются аргиллиты и алевролиты. Песчаники в основании угольных пластов встречаются реже, известняки — в исключительных случаях. Породы кровли, как правило, имеют морское происхождение: аргиллиты и алевролиты представляют собой отложения мелководного моря, песчаники — прибрежных условий, а известняки — глубоководные осадки.

4.4 Угленосная формация

Угленосная формация — комплекс осадочных полифациальных, т. е. образованных в разных условиях (морские, переходные и континентальные) пород, содержащих пласты углей.

Угольные пласты, переслаиваясь с осадочными породами (песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки и др.), образуют угленосную формацию (угленосную толщу или угленосные отложения), которая характеризуется определенной мощностью и площадью распространения. Типы угленосных формаций выделяют по стратиграфическому (нижне - и среднекаменноугольная формации ископаемых углей Донбасса, палеогеновая формация бурых углей Правобережной Украины и т. д.) и по географическому (Донецкая, Кавказская угленосные формации и др.) принципам, по составу пород (глинистая, песчанистая угленосные формации и др.).

Образование угленосных формаций, как и толщ осадочных пород, происходит на общем фоне погружения площади с попеременным чередованием восходящих и нисходящих движений, сопровождающихся сносом в пониженные участки продуктов размыва пород повышенных частей рельефа. При переносе осуществляется разделение (дифференциация) рыхлого материала по крупности и плотности обломков. Последовательность отложения осадков такова: в прибрежной полосе — торфяники, далее в сторону моря - береговой ил, пески, глины и известняки (рис. 13). При подъеме площади понижается уровень воды (регрессия моря), в сто-

рону моря перемещается прибрежная полоса, где формируется торфяник, а вслед за ним откладываются береговой ил, пески, глины и известняки. Торфяник, ранее сформировавшийся и оказавшийся на поверхности континента, разрушается эрозионными процессами (рис. 13, позиции 2, 3).

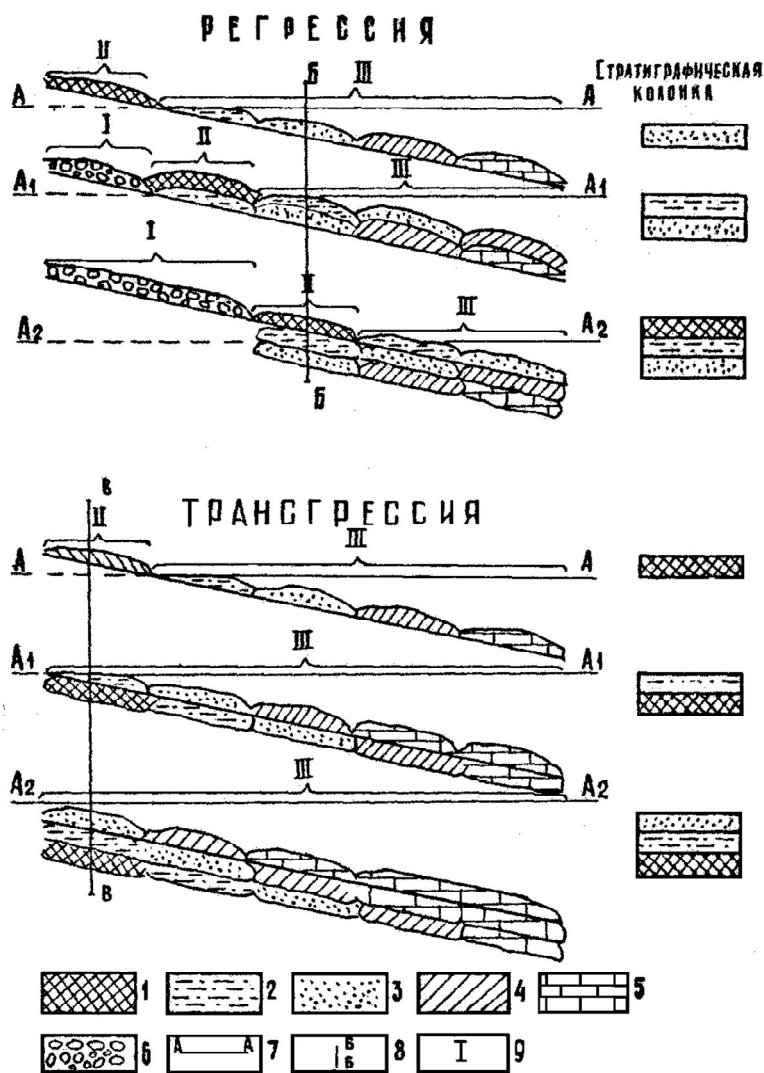


Рисунок 13 — Схематическая последовательность формирования угленосной формации при восходящих (регрессия) и нисходящих (трансгрессия) движениях площади осадконакопления:
 1 – растительный материал; 2 - мелководные песчано-глинистые осадки;
 3 – пески; 4 – глубоководные глины; 5 – известняки;
 6 - континентальные отложения; 7 – положение уровня моря; 8 – линия разреза регрессивного (Б-Б) и трансгрессивного (В-В) циклов осадконакопления; 9 – режим осадконакопления (I – континентальный, II - переходной, III – морской)

Благоприятные для формирования угольного пласта условия создает опускание площади и наступление моря (трансгрессия моря), что приводит к перемещению прибрежной полосы в сторону континента. На торфянике откладывается береговой ил, из которого в процессе диагенеза образуются аргиллиты и алевролиты, пески (песчаники), глины (аргиллиты) и известняки (рис. 13, позиции 5, 6).

Из осадочных пород, слагающих угленосную формацию, наиболее распространены песчаники (пески), алевролиты (алевролиты), аргиллиты (глины) и известняки. Иногда (в зоне распространения антрацита) аргиллиты называют глинистыми сланцами, алевролиты — песчаными или песчанистыми сланцами, а их переслаивание — песчано-глинистыми сланцами.

В метаморфических породах сланцеватость возникает в условиях одностороннего давления за счет вышележащих толщ при повышенных температурах и выражается ориентированным расположением образованных при метаморфизме новых минералов (слюда, амфиболы и др.). Её не следует путать со слоистостью осадочных пород, слагающих угленосные формации, обусловленной поступлением различного по составу обломочного материала на дно бассейна в процессе накопления осадков. Среди метаморфических пород существование ископаемых углей и углистых пород невозможно, так как они в процессе метаморфизма были бы превращены в шунгиты, графиты и графитсодержащие сланцы. Необходимо обратить внимание на то, что угли подвергаются метаморфизму различной интенсивности, о чем свидетельствует разнообразие марок от Б до А. Но процессы преобразования пород осадочной угленосной формации не проявились настолько глубоко, чтобы их можно было бы отнести к метаморфическим.

Залегающая в почве угольного пласта порода (аргиллит, алевролит, реже — песчаник), содержащая корни растений, и поэтому характеризующаяся нарушенным ("кучерявым") сложением, называется "кучерявчиком". "Кучерявчик" - ископаемая почва торфяника. В пластах углей иногда присутствуют маломощные прослои глинистого состава, сложенные вулканическим пеплом, которые называются *тонштейнами*.

Горелые породы, или горельники — обожженные поверхностным или подземным пожаром плотно спекшиеся и трудно поддающиеся разрушению породы различного состава.

Конкреции (стяжения) — самостоятельные тела карбонатного и сульфидного составов округлой или эллипсоидальной формы размером до 1 м и более, размещающиеся согласно со слоистостью в осадочных породах и образовавшиеся в процессе диагенеза осадков (превращение осадка в породу).

Характерная особенность угленосных формаций — ритмичность строения, обусловленная цикличностью колебательных движений области осадконакопления. В интервалах залегания выделяют полные (последовательная смена в разрезе пород от углей к известнякам и обратно) и неполные (отдельные типы пород выпадают) ритмы.

Площади непрерывного распространения угленосных формаций колеблются от нескольких квадратных километров до сотен тысяч квадратных километров, мощность — от десятков метров до 10 км и более.

В зависимости от геотектонического режима осадконакопления угленосные формации подразделяются на геосинклинальный, переходный и платформенный генетические типы.

Признаками угленосных формаций геосинклинального типа являются широкое площадное распространение (до нескольких тысяч квадратных километров), значительная мощность (от сотен до нескольких тысяч метров); выдержанность разреза угленосных отложений на большой площади, значительное количество угольных пластов (от десятков до сотен; десятки пластов рабочей мощности), выдержанное и относительно выдержанное строение пластов углей средних и тонких по мощности, разнообразие марок углей (от бурых до антрацитов) и др. Геосинклинальное происхождение имеют, в частности, угленосные формации Донецкого, Кузнецкого, Карагандинского бассейнов, платформенное — Подмосковного, Канско-Ачинского, Днепровского и некоторых других бассейнов.

В крупных регионах может происходить накопление двух и более разновозрастных угленосных формаций (например, на Украине в карбоне — геосинклинальная формация каменных углей в Донбассе и в палеогене — платформенная бурых углей в Днепробассе).

Угленосные формации характеризуются коэффициентом угленосности и углеплотностью.

Коэффициент угленосности представляет собой отношение суммарной мощности h угольных пластов к мощности угленосной формации H , %:

$$K = \frac{h}{H} \cdot 100$$

Для Донбасса коэффициент угленосности составляет 0,6-0,7 %, для Кузбасса — 1,6-1,8 %, Экибастузского бассейна — 25 %, Канско-Ачинского бассейна — 45 %.

Углеплотность характеризуется отношением количества запасов в тоннах к площади угленосной формации в квадратных километрах (см. табл. 5).

4.5 Угленосные провинции, угольные бассейны и месторождения

Академик П.И. Степанов в 1937 г. выдвинул концепцию "поясов и узлов углеобразования" (рис. 14). А.И. Егоров в 1960 г. уточнил представления П.И. Степанова и выделил в каждой эпохе углеобразования три пояса: северный, экваториальный и южный.

Пояс углеобразования — древняя зона на земной поверхности, на территории которой в определенный геологический период обильно накапливались угленосные отложения и растительная масса.

Узел углеобразования — изолированная наиболее угленасыщенная площадь в составе пояса углеобразования, в пределах которой, сосредоточена основная масса запасов углей соответствующего возраста. Узел может состоять из одного, или объединять несколько бассейнов и месторождений, характеризуется общностью тектонического режима и его эволюции во времени.

Угленосная провинция по смыслу идентична узлу углеобразования и представляет собой огромную площадь, включающую в себя угольные бассейны и месторождения с одновозрастным осадконакоплением и углеобразованием в близких физико-географических условиях, приуроченных к крупной региональной структуре. В частности, в СНГ выделяются угленосные провинции: карбоновые Донецко-Кавказская, Мос-

ковско-Уральская и Казахстанская; пермские Печорская, Карагандинская; нижнемезозойские Восточно-Уральская, Среднеазиатская; верхнемезозойские Забайкальская, Ленская и др.; кайнозойские Украинская, Камчатская.

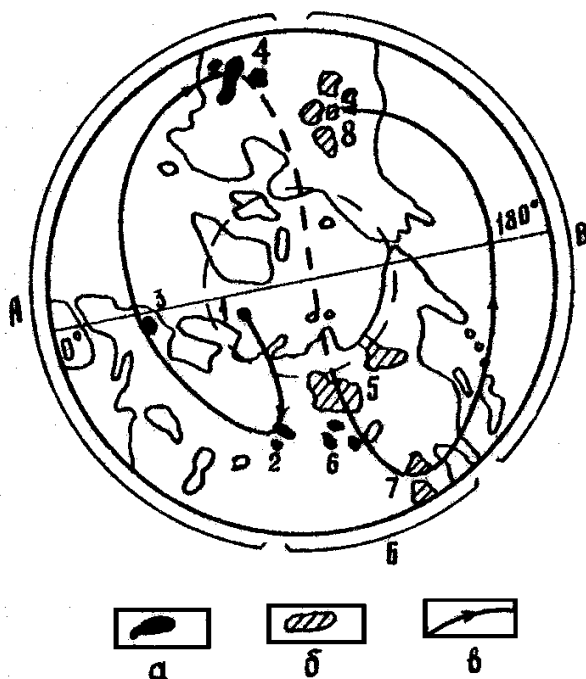


Рисунок 14 — Пояса и узлы угленакопления (по П.И. Степанову):
 1 – верхнедевонский (медвежьи о-ва); 2 – нижнекарбонный (Караганда); 3 – нижнее- и среднекарбонный (Донбасс, Западная Европа); 4 – нижнее- и среднекарбонный Восточный Северо-Американский; 5 – пермский Сибирский (Кузнецкий и Тунгусский бассейны); 6 – верхнемеловой-третичный Западный Северо-Американский; А – площадь карбонного угленакопления; Б – площадь пермского и юрского угленакопления; В – площадь верхнемелового и кайнозойского угленакопления; а – угленосные бассейны; б – угленосные площади; в – направление перемещения узлов угленакопления

Угольный бассейн — крупная (десятки — сотни тысяч квадратных километров) площадь сплошного или прерывистого развития угленосных отложений со значительными запасами угля, характеризующаяся общностью осадко- и угленакопления, приуроченная к единой тектонической структуре.

В зависимости от степени обнаженности угленосной толщи выделяются различные типы бассейнов:

открытые, где угленосные отложения обнажаются на дневной поверхности, но могут быть перекрыты наносами (Кузбасс);

полуоткрытые или *полузакрытые*, где только часть угленосных отложений обнажается на дневной поверхности, остальное скрыто под отложениями более молодого возраста (Донецкий и Карагандинский бассейны);

закрытые, где угленосные отложения сплошь перекрыты более молодыми осадочными породами (Челябинский бассейн). В пределах бассейна может находиться несколько угольных месторождений. По мнению А.И. Егорова под угольными бассейнами следует считать любые угленосные объекты, ограниченные генетическими контурами, независимо от их размеров.

Угольное месторождение — занимающее определенное стратиграфическое положение в осадочной толще земной коры естественное скопление угленосных отложений с пластами углей на площади десятки - сотни квадратных километров, которое экономически целесообразно разрабатывать.

Угленосный район — совокупность угольных месторождений, разобщенных в результате тектонических или эрозионных процессов. В Донецком бассейне известно 30 угленосных (геолого-промышленных) районов (Алмазно-Марьевский, Селезневский и др.).

Большие угленосные площади, на которых не доказано непрерывное развитие угленосных отложений с пластами углей, называют *угленосными площадями* и *угленосными областями*.

Угленоявление — угленосная площадь с небольшими или неустановленными запасами углей.

А.Г. Портнов (1988 г.) выделил три группы угольных бассейнов и месторождений: платформенную, парагеосинклинальную и орогенную. Далее, по принципу геотектонической принадлежности площади углеобразования в первой группе выделены классы: на платформенном чехле и на фундаменте, во второй группе: на геоантиклинальных поднятиях, в геосинклиналях, в третьей — на щитах, массивах, в складчатых областях, на платформенном чехле. В большинстве классов выделены

внутренний и внешний типы. В классификации показаны также типы угленосной формации по вещественному составу (терригенный, терригенно-карбонатный, терригенно-вулканогенный и др.) и ландшафтно-фациальным условиям осадко- и торфонакопления. В платформенной внутриконтинентальной группе выделены речные долины, равнинные озёра, дельты; в парагеосинклинальной прибрежно-морской группе выделены лагуны, мелководные области, устья и дельты рек; в орогенной прибрежно-морской группе выделены предгорные и межгорные водоёмы, побережья дельты рек, пресноводные предгорные внутриконтинентальные бассейны, лагуны и др. В каждом классе, кроме того, выделяют подразделения исходя из количественных характеристик (площадь распространения угленосных отложений, её мощность, количество угольных пластов), тектонических характеристик. По этой классификации Донбасс относится к парагеосинклинальной группе, к внутреннему (авлакогенному) типу (табл. 11). Краткая характеристика промышленных типов месторождений и бассейнов угля приведена в таблице.

Таблица 11 — Промышленные типы месторождений и бассейнов угля (по Г.К. Хрусталёвой)

| Группа | Класс | Тип | Представитель | Марка | Масштаб ресурсов | Промышленное значение |
|---------------|------------------------|------------|---|--------------------|-------------------------------|---|
| Платформенная | На платформенном чехле | Внутренний | Подмосковный (карбон) | Б-Д Реже Г-Ж | Мелкие, средние | Энергетическое для местных нужд |
| | | Внешний | Канско-Ачинский, Иркутский (юра) | Б-Г Реже Г-Ж | Очень крупные и сверхкрупные | Энергетическое (крупные электростанции) ОЖТ |
| | На фундаменте | Внутренний | Амуро-Зейский, Павловское, Приморье (палеоген-неоген) | Б | Мелкие, средние, реже крупные | Энергетическое для местных нужд, воск, УГП, УШР |

Продолжение таблицы 11

| | | | | | | |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------|---|-----|------------------------------|---|
| Пара-гео-синклинальная | | Внутренний (авлакогенный) | Донбасс (карбон), Таймыр (пермь) | Д-А | Очень крупные | Энергетика (кокс, коксохимия) |
| | | Внешний (краевого прогиба) | Печорский (карбон-пермь), Ленский (юра) | Б-Т | Сверхкрупные | Коксохимия, тепло- и электроэнергетика |
| Орогенная | На поднятиях и геосинклиналях | | Северный Кавказ, Урал (карбон), Сахалин (мел-палеоген), Камчатка (палеоген, неоген) | Б-А | Мелкие и средние | Энергетическое для местных нужд |
| | На щитах | Внутренний | Южно-Якутский (юра, мел) | Г-К | Крупные и очень крупные | Коксохимия, в меньшей степени энергетика |
| | | Внешний | Алдано-Чульманский район Южно-Якутского бассейна | Г-Т | Очень крупные | Коксохимия, в меньшей степени энергетика |
| | На массивах | Внутренний | Зея-Буреинский (мел) | Б-Д | Очень крупные | Энергетическое для местных нужд |
| | | Внешний | Кузнецкий (карбон, пермь), Буреинский (юр-мел), Зырянский, Партизанский (мел) | Д-Т | Очень крупные и сверхкрупные | Коксохимия, СЖТ, энергетика (ТЭС – крупных) |

Продолжение таблицы 11

| | | | | | |
|---------------------------------------|--|---|---|------------------------------------|---|
| В склад- чатых облас- тях | Внут- ренний | Минусинский (карбон- пермь), Забай- калье (юра- мел), Приаму- рье, Приморье (палеоген- неоген) | Б-Г реже Ж | Сред- ние, ре- же крупные | Энергетиче- ские для ме- стных нужд и ТЭС сырьё для получе- ния германия |
| | Внеш- ний | Челябинский (триас, юра), Забайкалье (юра-мел), Приамурье, Приморье (па- леоген-неоген) | Б-Г реже Ж | Средние и круп- ные | Энергетиче- ские для ме- стных нужд и ТЭС сырьё для получе- ния германия |
| | На плат- фор- менном чехле | Внеш- ний | Тунгусский (карбон- пермь), При- байкалье (па- леоген-неоген) | Б, Г- Ж | Мелкие и сред- ние |

4.6 Метаморфизм углей

Метаморфизм углей — превращение бурого угля последовательно в каменный уголь, антрацит и графит преимущественно под влиянием повышенной температуры и давления в земных недрах, сопровождающееся изменением химического состава, структуры и физических свойств. Происходящие изменения состава и свойств в основном затрагивают гелифицированные компоненты. Наиболее податлив к метаморфизму гумусовый уголь, наименее — сапропелевый. Главными процессами, протекающими при метаморфизме, являются: дегидратация, декарбоксилирование и деметанизация.

Основными факторами метаморфизма углей являются: состав вмещающих пород, воздействие эффузивных и интрузивных образований, минерализаторов, вертикального и бокового давления, температура и время.

По характеру геологических процессов, приведших к преобразованию растительного вещества в недрах Земли, различают следующие виды метаморфизма: региональный, термальный (контактовый и неконтактовый), динамометаморфизм и радиогенный.

Региональный метаморфизм происходит на больших площадях (регионах) в период погружения угленосной толщи при одновременном воздействии на угли температуры и давления. Ископаемые угли образуются в интервале температур от 30-40°C (переход бурых углей в каменные) и до 300°C (образование антрацитов) и при статическом давлении до 250 МПа.

В угольных бассейнах региональный метаморфизм обусловил существование вертикальной и горизонтальной зональности в распространении углей различной степени метаморфизма. Как заметил К. Хильт еще в 1873 г., с увеличением стратиграфической глубины наблюдается закономерное повышение степени метаморфизма углей (правило Хильта) при одном и том же составе исходного растительного материала выход летучих веществ, количественно отражающий степень метаморфизма углей в нижележащем пласте меньше, чем в вышележащем (рис. 15). В Донбассе через каждые 100 м отмечено закономерное падение выхода летучих веществ (градиент метаморфизма) в пределах 0,5-1,4 %, в Кузбассе — 0,5-3 %, в Рурском бассейне — 2-3 %.

Горизонтальная зональность в размещении углей с одинаковой степенью метаморфизма определяется тектоническими особенностями бассейна. В Донбассе зоны изометаморфных углей расположены почти симметрично по отношению к оси Главного антиклинала и соответствуют зонам увеличения мощности угленосной толщи каменноугольных отложений (рис. 16).

Термальный метаморфизм подразделяется на контактовый и неконтактовый. При контактовом метаморфизме изменение углей происходит при непосредственном соприкосновении вторгшихся в угленосную толщу изверженных пород. Размеры зон контактовых изменений зависят от состава внедрившихся пород (температура расплава основных пород — 1100–1300 °С, кислых — 800–900 °С, их расположения по отношению к угольному пласту (наиболее эффективно при внедрении в

почву угольного пласта), мощности и характера перекрывающих пород (влияет на продолжительность остывания магмы).

Непосредственное влияние теплоты малых интрузий типа даек, штоков, силлов на вмещающую их угленосную толщу изучено на угольных месторождениях в Донбассе, Кузбассе и на о. Сахалин. Угли на контакте с ними графитизированы, а по мере удаления от контакта можно встретить антрациты, тощие угли, кокс и т. д. Однако общая мощность измененных углей и пород обычно исчисляется несколькими метрами. Если исходный уголь был сильно метаморфизован, то влияние малых интрузий оказывается на нем незначительно. Иногда внедрившаяся магма не имеет непосредственного контакта с угольным пластом. В этом случае преобразование угля происходит под влиянием теплоты остывающего расплава, а степень изменения зависит от размеров и состава магматического тела, расстояния от пласта угля, пористости и теплопроводности вмещающих пород (неконтактовый метаморфизм).

Термальный метаморфизм различной степени проявился в Тунгусском, Кузнецком, Донецком и других угольных бассейнах. На территории Тунгусского бассейна в триасе произошло внедрение магмы в пермскую угленосную толщу с образованием секущих тел и стратифицированных залежей (рис. 17).

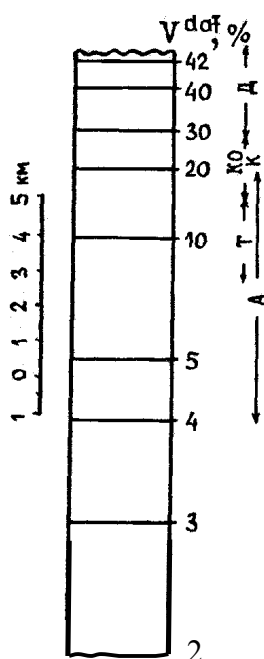


Рисунок 15 — Ступени глубинного метаморфизма (по В.И. Скоку)

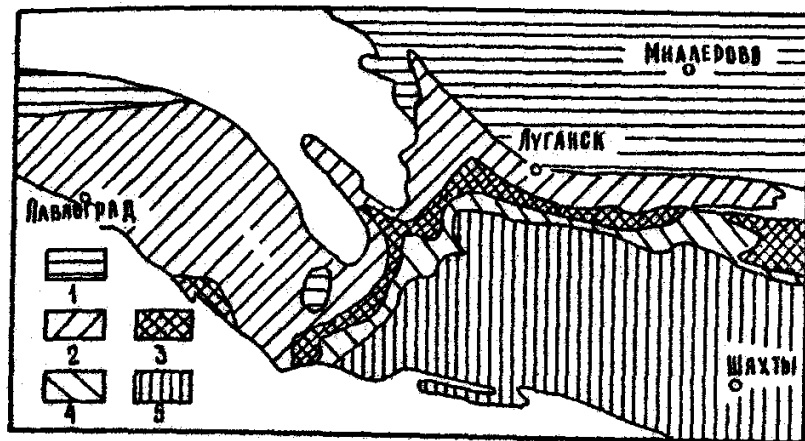


Рисунок 16 — Схема распространения углей разных степеней метаморфизма на поверхности каменноугольных отложений Донбасса: 1 — угли марки Б-Д; 2 — угли марки Д-Г; 3 — угли марок Ж-К-ОС; 4 — угли марки Т; 5 — угли марок ПА, А

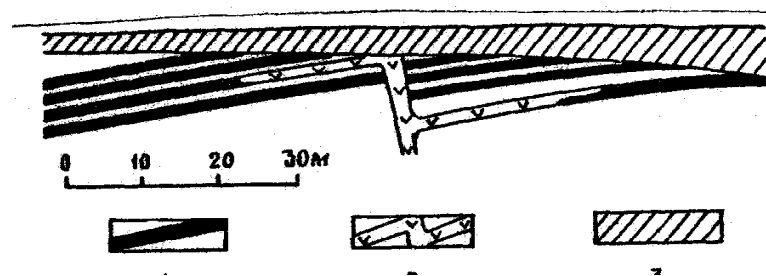


Рисунок 17 — Термальный метаморфизм углей: 1 — угольный пласт; 2 — изверженные породы; 3 — покровные отложения

Тепловое воздействие интрузий привело к изменению марочного состава углей от бурых до антрацитов и графита. В юго-западном Донбассе между с. Константиновка и ст. Еленовка на площади размером около 50 км^2 ниже-карбоновые угли имеют аномально завышенную степень метаморфизма. На общем фоне марок Г-Ж и К вклиниваются участки с тощими углями, полуантрацитами и антрацитами. Хотя эта площадь пересечена многочисленными секущими и пластовыми дайками, но высокометаморфизованные угли нередко находятся от них на значительном расстоянии. Это свидетельствует о том, что в данном случае наблюдается не контактное воздействие интрузивного комплекса на уголь, а влияние теплоты внедрившихся магматических тел.

Динамометаморфизм (дислокационный, или тектонический) — преобразование углей под влиянием теплоты, выделяющейся при тектонических процессах. Из-за малого количества выделяемой при тектонических процессах теплоты этот вид метаморфизма признают не все геологи.

Радиоогенный метаморфизм протекает под воздействием теплоты, выделяющейся при распаде радиоактивных элементов в минералах (уранинит, уранофан и др.). Он отмечается в угольных пластах, находящихся близ источника радиоактивной теплоты.

Подразделение ископаемых углей на группы и стадии метаморфизма (ГОСТ 21489-76) производится по показателю отражения витринита в воздухе и в иммерсионном масле (табл. 12).

Таблица 12 — Группы и стадии метаморфизма углей

| Группа стадий метаморфизма | Стадии метаморфизма | Показатель отражения витринита | |
|----------------------------|---------------------|--|--------------------------------|
| | | в воздухе $R_a \cdot 10$, усл. ед. | В иммерсионном масле R_0 , % |
| Буроугольная | 0 ₁ | <58 | <0,30 |
| | 0 ₂ | 58-66 | 0,30-0,39 |
| | 0 ₃ | 66-69 | 0,40-0,49 |
| Каменноугольная | I | 70-76 | 0,50-0,64 |
| | I-II | 77-79 | 0,65-0,74 |
| | II-III | 83-86 | 0,85-0,99 |
| | III | 87-90 | 1,00-1,14 |
| | III-IV | 91-93 | 1,15-1,29 |
| | IV | 94-97 | 1,30-1,49 |
| | IV-V | 98-102 | 1,50-1,74 |
| | V | 103-107 | 1,75-1,99 |
| | VI | 108-114 | 2,00-2,39 |
| | VII-VIII | 115-123 | 2,40-2,99 |
| | VIII-IX | 124-131 | 3,00-3,59 |
| | IX | 132-142 | 3,60-4,49 |
| | X | ≥143 | ≥4,50 |

4.7 Выветривание углей

Выветривание угля — совокупность изменений горючего ископаемого под влиянием кислорода, воды, разности температур и других факторов, происходящих при нормальном давлении вблизи дневной поверхности в зоне аэрации. Изменение совершается в процессе как физического (механического), так и химического (окисление) выветривания. Оба про-

цесса протекают одновременно, тесно связаны между собой и приводят к появлению окисленных углей. *Физическое выветривание* происходит под действием колебаний температур и при участии воды, способствует дроблению угля, приводит к увеличению поверхности обломков, благоприятствует поступлению кислорода и окислению каустобиолита. *Химическое выветривание* протекает при участии кислорода (растворенного в воде и находящегося в составе воздуха), активность которого увеличивается при возрастании температуры, приводит к изменению химического состава и технологических свойств горючего ископаемого.

Интенсивность выветривания углей определяется климатом, рельефом местности, скоростью эрозионных процессов, мощностью и составом перекрывающих угольные пласты пород, гидрогеологическим и газовым режимами месторождения, условиями залегания и литологическим составом угленосной толщи, петрографическим составом, степенью метаморфизма и трещиноватостью углей. Глубина зоны выветривания может достигать сотен метров. Нижней границей считается глубина залегания угля, начиная с которой он имеет постоянный и близкий к нормальному состав.

По времени различают древнее и современное выветривание.

В процессе выветривания происходит изменение мощности пласта, физических (цвет, блеск, плотность, структура и др.) и технологических (влажность, зольность, выход летучих, коксуемость, удельная теплота сгорания, выход гуминовых кислот и смолы) свойств и химического состава (доля углерода, водорода и кислорода).

Мощность угольных пластов уменьшается в 8-10 раз, вблизи дневной поверхности уголь превращается в рыхлое землистое вещество. Это происходит в связи с раздавливанием или выдавливанием рыхлого угля, растворением и выносом органической части горючего ископаемого.

Цвет у бурых углей изменяется от темно-коричневого и буровато-чёрного до бурого, у каменных — от черного до темно-коричневого или бурого, что связано с образованием гуминовых кислот, придающих углям бурый цвет. Антрациты при выветривании сохраняют черный цвет. Вследствие протекания процесса разложения контактирующего с углем известняка, каустобиолит окисляется, приобретая белесоватую окраску. В Донбассе выходы такого угля называют "меловкой". Блеск у витрено-

вых и клареновых углей теряется, они становятся тусклыми и матовыми. Угли при этом из зернистых превращаются в землистые и сажистые, плотность их снижается.

В углях уменьшается содержание углерода (в окисленных антрацитах Донбасса доля элемента составляет 60 %) и водорода (0,3 %, т. е. в 12 раз меньше), но повышается доля кислорода (с 1,15 до 39,10 %).

При выветривании возрастают влажность (до 21 %, т. е. в 9 раз), зольность (до 42%, или в 6 раз), выход летучих (в 1,5-2,0 раза); в каменных углях появляются гуминовые кислоты. При этом снижаются удельная теплота сгорания, коксующесть и выход смолы.

В процессе выветривания в отличие от метаморфизма качество углей ухудшается. По устойчивости к выветриванию твердые горючие ископаемые располагаются в такой последовательности: торф — бурый уголь — каменный уголь — антрацит.

В связи с развитием открытого способа разработки месторождений (как наиболее дешевого) добыча и использование выветрелых (окисленных) углей ежегодно возрастают. В нашей стране почти половина угля добывается открытыми работами. Поэтому появилась необходимость классификации окисленных горючих ископаемых. Им присваивается марка неокисленного угля, дополняемая группой степени окисленности. Например: 2ГОК — второй газовый окисленный первой группы.

4.8 Месторождения нефти, газа, горючих сланцев

Нефть и газ локализуются в осадочных бассейнах. Выделяют нефтегазоносные комплексы, состоящие из пород-коллекторов, пород-флюидоупоров. Коллектора бывают пластовые и массивные, они ограничены плохо проницаемыми породами (флюидоупорами), образующими структурные ловушки, которые обеспечивают формирование залежи углеводородов. Залежи содержат нижнюю нефтяную и верхнюю газовую части, но бывают чисто нефтяные, нефтяные с газовой шапкой, нефтегазовые, газовые с нефтяной оторочкой, газоконденсатные, газоконденсатно-нефтяные, газовые и др. Залежи классифицируются по генезису, характеру границ и форме. Залежи обычно подстилаются подошвенной водой. Месторождения объединяют залежи полезного ископаемого, объединённые единым структурным элементом и заключённые в недрах одной площади.

Площадь месторождений измеряется десятками, сотнями, реже — тысячами квадратных километров (Печорский, Урало-Волжский бассейны Русской платформы). По величине извлекаемых запасов нефти и геологическим запасам газа месторождения подразделяются на: *уникальные* (более 300 млн. т нефти, или 500 млрд. м³ газа), *крупные* (60-300 млн. т нефти, или 75-500 млрд. м³ газа), *средние* (15-60 млн. т нефти, или 40-75 млрд. м³ газа), *мелкие* (до 15 млн. т нефти, или 40 млрд. м³ газа).

Мировые геологические запасы нефти и конденсата около 550 млрд. т. Основные ресурсы и добыча нефти сосредоточены в странах ОПЕК, США, России, Мексике и Норвегии. Мировые запасы природного газа составляют более 130 трлн. м³. Основные ресурсы природного газа сосредоточены в России (35 % общих запасов), Иране и ОАЭ. Незразведанные ресурсы газа в России сосредоточены на шельфе северных морей, в Западной и Восточной Сибири.

Добыча горючих сланцев ведётся главным образом в Китае, России и Эстонии. Наибольшее промышленное значение имеют сланцы озёрного происхождения пермских орогенных бассейнов Грин-Ривер (США) и Фушень (Китай) и морских толщ платформенного чехла юрского Волжского (Россия) и ордовикского Прибалтийского (Россия и Эстония) бассейнов. Органическое вещество горючих сланцев (кероген) включает битумоиды, гуминовые и сапропелевые кислоты и нерастворимое органическое вещество. Битумоиды извлекаются мягкими органическими растворителями (хлороформом, бензолом, эфиром, лёгким бензином и т. п.), гуминовые и сапропелевые кислоты — щелочными водными растворами. Кероген (сложное высокомолекулярное соединение) тесно связан с минеральной основой породы и выделяется после обработки плавлитом и соляной кислотами.

Контрольные вопросы

1. В какие геологические периоды происходило угленакопление?
2. Сочетание каких условий необходимо для угленакопления?
3. Какие геотектонические условия благоприятны для угленакопления?
4. Что такое компенсированное погружение?
5. Какие геоморфологические условия благоприятны для угленакопления?

6. В каких условиях может происходить угленакопление?
7. Что характерно для биохимической стадии углеобразования?
8. Чем различаются автохтонное и аллохтонное угленакопление?
9. При каких условиях происходит торфообразование?
10. Перечислите процессы биохимического преобразования растительного вещества в торфянике.
11. Какие процессы происходят на геологической стадии углеобразования?
12. Чем различаются бурые, каменные угли и антрациты?
13. Классификация угольных пластов по мощности.
14. Причины расщепления и выклинивания угольных пластов.
15. Причины изменения мощности угольного пласта.
16. Сингенетические и эпигенетические размывы угольного пласта.
17. Какими могут быть взаимоотношения угольного пласта с вмещающими породами?
18. От чего зависит форма, выдержанность и вещественный состав угольного пласта?
19. Состав горных пород почвы и кровли угольного пласта.
20. Понятие – угленосная формация.
21. Объясните процесс формирования угленосных формаций.
22. Что такое тонштейн и «кучерявчик».
23. Назовите различия между геосинклинальной и платформенной угленосной формацией.
24. Что такое коэффициент угленосности и углеплотность?
25. Перечислите площади углеобразования.
26. Как подразделяются угольные бассейны по степени обнажённости угленосной толщи?
27. Региональный и термальный метаморфизм углей.
28. Объясните правило Хильта.
29. Проявление термального метаморфизма углей в Донбассе.
30. Тектонический и радиогенный метаморфизм угольных пластов.
31. Изменения химического состава углей при выветривании.
32. Изменения технологических свойств углей при метаморфизме.
33. Изменения физических свойств углей при выветривании.
34. Дайте общую характеристику месторождений нефти и газа.

5 ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Согласно положениям о стадиях геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые (от 2 марта 2000 г.) Комитет Украины по вопросам геологии и использованию недр **выделил следующие стадии геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые:**

1. Региональное геологическое изучение территории Украины

Региональные геолого-геофизические исследования М 1:1000000-1:500000.

Региональные геологосъёмочные, геофизические и геологопрогнозные работы М 1:200-100000).

Геологосъёмочные и геологопрогнозные работы масштаба 1:50000 (1:25000).

2. Поиски и поисковая оценка месторождений полезных ископаемых

1.1 Поисковые работы

1.2 Поисково-оценочные работы

3. Разведка месторождений полезных ископаемых

Под *поисками* понимаются работы, направленные на обнаружение полезных ископаемых. Для их проведения выделяют перспективные территории по геологическим данным на основании мелкомасштабных (1:200000-1:50000) государственных геологических карт с учетом региональных геофизических и геохимических работ. Основанием для выделения служат поисковые критерии и поисковые признаки.

5.1 Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых

Региональное геологическое изучение (РГИ) недр производится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей **фундаментальную основу системного геологического изучения территории страны и прогнозирования** полезных ископаемых в недрах. Оно призвано обеспечивать обоснование и удовлетворение потребностей различных отраслей промышленности и сельского хозяйства при решении широкого круга вопросов в области геологоразведочных работ, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, рационального природопользования, охраны окружающей природной среды, про-

гнозирования опасных, включая катастрофические, природных процессов и явлений (землетрясения, сели, оползни, обвалы и т. д.).

Важнейшей задачей РГИ недр является научное моделирование и ранжирование по экономической значимости перспективных структурно-вещественных и минерагенических комплексов, локальный прогноз и начальная геолого-экономическая оценка потенциальных объектов минерального сырья, т. е. задача **прогнозирования**.

Основными видами работ при РГИ являются ранжированные по масштабам площадные геологические съемки (полистные [ГС] и групповые [ГГС]), геологическое доизучение ранее заснятых площадей [ГДП], глубинное геологическое картирование [ГГК]), гидрогеологические, инженерно-геологические съемки, комплексные геолого-гидрогеологические съемки, наземные и аэрогеофизические работы (гравиразведочные, магниторазведочные, электроразведочные, аэрогамма-спектрометрические) а также широкий комплекс специализированных работ: объемное, космофотогеологическое, аэрофотогеологическое, космоструктурное, геолого-минерагеническое, геохимическое картирование, тепловые, радиолокационные, многозональные и другие съемки, геолого-экономические, геоэкологические исследования и картографирование, мониторинг геологической среды, прогноз землетрясений, создание государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин, геологическая съемка шельфа, работы в Мировом океане и Антарктике, картосоставительские, картоиздательские и другие работы, их научно-методическое информационное обеспечение.

Виды, масштабы, последовательность и комплексность работ по РГИ недр определяются с учетом достигнутой степени геологической изученности и потребностей экономического развития отдельных территорий.

РГИ недр включает функционально связанный комплекс площадных и профильных работ общегеологического и специального назначения. Площадные работы проводятся в масштабах:

- 1:1500 000 и мельче — сводное и обзорное геологическое картографирование;

- 1: 1 000 000 (1:500 000) — мелкомасштабное геологическое картографирование;

- 1:200 000 (1:100 000) — среднемасштабное геологическое картографирование;

- 1:50 000 (1:25000) — крупномасштабное геологическое картографирование.

Основной задачей сводного и обзорного геологического картографирования территории масштаба 1:15000000 и мельче является составление карт и атласов, обобщающих геологическую информацию о геологическом строении и минерагении крупных территорий, осуществление широких межрегиональных и глобальных геологических построений и сопоставлений. Объектами изучения являются: территория страны, включая глубинные части земной коры, крупные геолого-структурные регионы, артезианские бассейны, горнорудные и нефтегазоносные районы, континентальный шельф, исключительная экономическая зона.

В состав работ входит анализ и обобщение имеющихся (преимущественно масштаба 1:1000000 и 1:200000) материалов по геологическому строению и минерагении исследуемой территории, при необходимости выполняются минимальные объемы полевых исследований. Конечный результат — сводные и обзорные карты геологического содержания, геологические атласы, геолого-геофизические и другие профили, включая цифровые и электронные их модели.

Основной задачей мелкомасштабного (1:1000000, 1:500000) картографирования является комплексное геологическое изучение суши и континентального шельфа с целью создания Государственных карт геологического содержания масштаба 1:1000000 в аналоговой и цифровой формах с электронными базами данных, формирующих банк фундаментальной геологической, гидрогеологической, геофизической, геохимической, геолого-экономической, эколого-геологической и другой информации, обеспечивающей разработку и реализацию стратегических вопросов изучения и рационального использования недр, развитие геологической науки, знаний о геологическом строении, гидрогеологических и инженерно-геологических условиях, нефтегазоносном и минерагеническом потенциале суши и континентального шельфа, динамике геологических процессов и явлений. Объектами изучения являются территории отдельных номенклатурных листов, крупные геолого-структурные регионы, административные и экономические районы,

глубинные части земной коры и верхней мантии, континентальный шельф, исключительная экономическая зона.

Основными видами работ этого масштаба являются геологические, аэрокосмические, геофизические, геохимические, гидрогеологические, инженерно-геологические, эколого-геологические съемки суши и континентального шельфа, геодинамические, прогнозно-минерагенические и другие специальные и тематические исследования. Они выполняются самостоятельно или в различном сочетании в зависимости от решаемых задач, геологического строения региона, степени его изученности, качества имеющейся геологической, геофизической и другой информации. *Конечным результатом* мелкомасштабного геологического картографирования территории страны являются Государственные карты геологического содержания масштаба 1:1000000. Они создаются на основе обобщения всех ранее полученных материалов геологических, гидрогеологических, эколого-геологических и других съемок масштаба 1:200000 и крупнее с использованием геофизических, геохимических, аэрокосмических и других данных, а также материалов по геотраверсам, глубоким и сверхглубоким скважинам и геодинамическим полигонам.

Среди Государственных карт геологического содержания масштаба 1:1000000 важнейшая роль принадлежит **комплектam полистной Госгеолкарты**, включающей в качестве обязательных карту дочетвертичных образований, карту четвертичных образований и карту полезных ископаемых с качественной характеристикой ресурсов.

Основной задачей среднемасштабного (1:200000, 1:100000) картографирования является комплексное геологическое изучение суши и континентального шельфа с составлением Государственных карт геологического содержания (геологических, геолого-экономических, гидрогеологических и др.) в аналоговой и цифровой формах с электронными базами данных, которые в совокупности выступают в качестве основного источника информации для обоснования прогнозных ресурсов всех видов полезных ископаемых и решения крупных проблем развития минерально-сырьевой базы, использования и охраны недр, других аспектов хозяйственной деятельности и регулирования недропользования. *Объектами изучения* являются регионы страны и, в первую очередь, горнорудные, нефтегазоносные, важнейшие экономически освоенные и

экологически напряжённые районы, шельф и исключительная экономическая зона.

В состав региональных исследований масштаба 1:200000 (1:100000) входят картографические работы, геологическая (ГС), гидрогеологическая (Г/ГС), инженерно-геологическая (ИГС) съемки, геолого-экономические и эколого-геологические исследования, геологическое (ГДП), гидрогеологическое (Г/гД) доизучение ранее заснятых площадей, объемное (ОГК), глубинное (ГГК) геологическое картирование и другие виды работ. Гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемки и гидрогеологическое доизучение ранее заснятых площадей могут комплексироваться с геолого-экологическими и соответствующими видами геологических съемок. Работы этого масштаба проводятся в комплексе с опережающими и сопровождающими аэрокосмическими, геофизическими, геохимическими съемками, геоморфологическими, прогнозно-минерагеническими и другими специальными исследованиями, которые в зависимости от степени изученности территории и решаемых задач могут выполняться самостоятельно или в различных сочетаниях.

При этом, полистные и групповые геологические, гидрогеологические съемки, геологические съемки шельфа (ГСШ) и другие работы масштаба 1:200000 проводятся на площадях, ранее не изучавшихся в этом масштабе. В районах, где такие работы проводились, однако имеющиеся карты геологического содержания не отвечают современным требованиям, проводится геологическое, гидрогеологическое и другие виды доизучения.

В районах 2-х и 3-х ярусного строения, где объекты изучения, в первую очередь перспективные на обнаружение полезных ископаемых, залегают на значительных, но доступных для изучения глубинах, проводится объемное или глубинное геологическое картирование.

Для хорошо изученных районов, обеспеченных геологическими и другими специализированными картами масштаба 1:50000, Государственные карты геологического содержания масштаба 1:200000 составляются преимущественно камеральным путем с минимальным объемом полевых рекогносцировочных и других работ, нацеленных на решение конкретных геологических задач.

При составлении листов Государственных карт геологического содержания используются данные ранее выполненных геологосъемочных работ всех масштабов, результаты геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических и экологических работ, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, материалы дистанционного зондирования, результаты работ по геотраверсам, глубинному и опорному бурению и т. п.

Конечным результатом РГИ масштаба 1:200000 является создание полистных Государственных карт геологического содержания масштаба 1:200000. В состав комплекта Госгеолкарты-200 в качестве обязательных включаются геологическая карта дочетвертичных образований, карта четвертичных отложений, карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения; в районах 2-х и 3-х ярусного строения — геологическая карта погребенной поверхности.

В результате ГСР-200 выявляются и оконтуриваются прогнозные площади (минерагенические зоны, бассейны, рудные районы и узлы, угленосные площади), дается комплексная оценка или переоценка изученной территории с определением перспектив обнаружения месторождений и оценкой прогнозных ресурсов объектов ранга бассейна, рудного района и узла по категории Р₃.

Основной задачей крупномасштабного (1:50000, 1:25000) геологического картографирования является геологическое изучение недр в масштабе 1:50000 (1:25000) с целью выявления локальных площадей и структур, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых, обоснования эколого-геологических и других мероприятий по охране окружающей среды. *Объектами изучения* являются перспективные на выявление месторождений полезных ископаемых минерагенические зоны, рудные районы и узлы, части продуктивных бассейнов, районы интенсивного промышленного и гражданского строительства, мелиоративных и природоохранных мероприятий, территории с напряженной экологической обстановкой.

В состав работ масштаба 1:50000 (1:25000) входят геологические (ГС-50, ГДП-50, ГГК-50), гидрогеологические и эколого-геологические съемки, опережающие и сопровождающие их дистанционные и наземные геофизические, геохимические, геоморфологические, прогнозно-минерагенические и другие исследования, которые могут выполняться

самостоятельно в порядке специализированного изучения или доизучения ранее заснятых площадей.

При геологосъемочных работах этого масштаба производится изучение участков распространения полезных ископаемых, установление геологической природы выявленных геофизических и геохимических аномалий, выделение новых или уточнение параметров известных рудных полей и других прогнозных площадей и перспективных участков с оценкой прогнозных ресурсов.

Конечным результатом РГИ недр масштаба 1:50000 является комплект обязательных и специальных геологических карт, комплексная оценка перспектив изученной территории с выделением рудных полей и определением или уточнением по ним прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_3 , оценка состояния и прогноз изменений геологической среды и рекомендации по ее сохранению.

С целью исследования общих геолого-геофизических закономерностей строения недр и их физического состояния, выявления глубинных причин возникновения природных процессов, условий формирования и размещения полезных ископаемых проводится глубинное изучение недр с использованием параметрических и сверхглубоких скважин и геофизических методов. Объектами изучения являются важнейшие нефтегазоносные, горнорудные, сейсмоопасные и другие районы страны, исследования которых актуальны для расширения минерально-сырьевой базы, оценки степени промышленного загрязнения, геологических опасностей (землетрясения и т. п.), а также геотраверсы, геологические и геодинамические полигоны. На основе глубинного изучения недр составляются комплекты карт и схем глубинного строения территории страны и отдельных ее регионов.

5.2 Поисковые критерии и поисковые признаки

Месторождения полезных ископаемых встречаются в земной коре достаточно редко. Их формирование связано с протеканием комплекса сложных геологических процессов, подчиняющимся строгим закономерностям. Поэтому цель поисковых и разведочных работ — выявление и изучение закономерностей образования и размещения месторождений полезных ископаемых.

Научно обоснованное проведение поисковых работ возможно при учёте совокупности геологических данных, определяющих возможность обнаружения тех или иных месторождений.

Поисковые критерии, на основании которых оцениваются перспективы изучаемых площадей и проводятся поисковые работы, делятся на две группы: геологические предпосылки поисков (поисковые критерии) и поисковые признаки.

Геологические закономерности, контролирующие размещение месторождений полезных ископаемых являются основой геологических поисковых предпосылок (критерии). Геологическое положение различных типов месторождений определяется комбинацией условий, благоприятных для их образования, которые имели место в период формирования месторождений.

Поисковые критерии — реально существующие геологические факторы, допускающие возможность нахождения месторождений в земной коре (эталонный признак для оценки вероятности присутствия полезных ископаемых, выработанный на основе опыта изучения нескольких или многих аналогичных месторождений): климатические, стратиграфические, фациально-литологические, структурные, магматические, метаморфические, геохимические, геоморфологические, геофизические и гидрогеологические.

В.М. Крейтером и В.И. Смирновым выделены группы геологических критериев: формационные (магматические и осадочные), стратиграфические, структурные, литолого-фациальные и геохимические.

Поисковые критерии отражают предшествующие процессы рудообразования, способствуют познанию их и создают условия для обнаружения промышленных скоплений полезных ископаемых, являются ведущими геологическими предпосылками прогноза и поиска месторождений. Наличие геологических критериев характеризует перспективность изучаемой территории.

Формационные критерии (осадочные, магматические) основаны на связи с различными формациями определённых групп полезных ископаемых. Формацию можно рассматривать как парагенезис пород, а месторождения можно уподобить аксессуарным минералам в породах. Месторождения магматического генезиса пространственно и генетически связаны с телами магматических пород, тектоническим структурам.

Месторождения осадочного генезиса приурочены к определённым стратиграфическим подразделениям, а также к определённым литолого-фациальным обстановкам. Поэтому целесообразно рассматривать отдельно стратиграфические, структурные, литолого-фациальные и геохимические предпосылки.

Стратиграфические критерии основаны на устойчивых связях оруденения с определёнными уровнями и типами геологического разреза земной коры. Они имеют особое значение для осадочных месторождений (угли, горючие сланцы, соли, фосфориты, бокситы), образованных одновременно с осадконакоплением. Установлено, что они приурочены к образованиям определенного возраста. Например, 90 % запасов железа связано с процессами, протекавшими в докембрии. В накоплении углей выделяется четыре периода: каменноугольный (Донбасс, Подмосковье), пермский (Караганда, Кузбасс), Юрский (Средняя Азия) и палеогеновый.

Фациально-литологические критерии базируются на связи полезных ископаемых к осадочным, вулканогенно-осадочным породам определённого состава и фаций. Эти критерии значимы при поисках месторождений соответствующего генезиса. Например, с прибрежно-морскими фациями связаны месторождения угля, метаморфическими фациями — графита и мусковита.

Магматические критерии основаны на пространственной и генетической связи эндогенных месторождений с определёнными интрузиями. Например, с ультраосновными породами связаны месторождения Pb, Cr, Cu, Ni, Ti, алмазов, со щелочными — Nb, Ta, Al, Zr, TR, а с кислыми — Sn, W, Mo, Au, Ag и др.

Структурные критерии базируются на закономерностях размещения оруденения в определённых геологических структурах (складчатых и разрывных) разного типа и масштаба. Главные структурные элементы земной коры — платформы и геосинклинали, характеризуются вполне определенным металлогеническим обликом. В их пределах размещение рудных месторождений определяется складчатыми и разрывными нарушениями. Особое внимание следует уделять зонам пересечений разрывных нарушений разных направлений. Металлогенические провинции часто вытянуты вдоль основных структур.

Геоморфологические критерии основаны на пространственной связи месторождений полезных ископаемых с современными и древними формами рельефа. Различают месторождения, сформированные в связи с формированием рельефа — экзогенные и месторождения, возникшие вне связи с рельефом. Геоморфологические критерии используются, прежде всего, для поисков и прогноза россыпей, формирующихся, например, в долинах рек и в прибрежной области водоёмов. Эндогенные месторождения часто образуют положительные формы рельефа.

Климатические — разные климатические зоны перспективны на определённые полезные ископаемые, так, зона аридного климата - для формирования доломитов, медистых песчаников, гипса, галита, калийных солей, гумидного климата — для формирования кор выветривания, россыпных месторождений Au, Pt, Ti, бокситов, Fe и Mn руд.

Геохимические — связь повышенных содержаний отдельных химических элементов в определённых породах с месторождениями соответствующих элементов или минералов.

Метаморфогенные — многие месторождения возникают в результате метаморфизма, другие подвергаются метаморфизации. Часто региональный метаморфизм вмещающих пород определённой степени может служить основанием для предположения о выявлении месторождений.

Гидрогеологические — указания на присутствие полезных ископаемых в результате изучения путей движения и состава подземных вод.

Поисковые признаки — геологические и негеологические данные, прямо или косвенно указывающие на присутствие полезного ископаемого. К геологическим данным относят обнажения полезных ископаемых, обломки полезного ископаемого, шлихи с полезными минералами, высокие концентрации элементов в горных породах, водах и растениях, геофизические аномалии. Поисковые признаки обусловлены образованием и разрушением месторождений.

К *прямым* поисковым признакам относятся: 1) выходы полезного ископаемого на поверхность; 2) ореолы и потоки рассеяния вещества полезного ископаемого; 3) особые физические свойства полезного ископаемого; 4) следы старых горных работ или переработки полезных ископаемых и исторические данные о горном промысле.

Ореолы и потоки рассеяния (основных и сопутствующих индикаторных элементов и минералов) подразделяются на *первичные (литогеохимические)* - околорудные изменения и повышенные содержания элементов во вмещающих породах, возникают в процессе формирования месторождения, важны при поисках «слепых» месторождений и *вторичные* — экзогенные ореолы, возникшие при разрушении месторождений и первичных ореолов, при поисках вскрытых эрозией месторождений (механические, лито-, гидро-, био-, и атмогеохимические).

Негеологические признаки — следы добычи и переработке полезных ископаемых (древние выработки и отвалы пород и шлаков), архивные, фондовые данные, литературные, фольклорные источники, материалы археологических раскопок (посуда, орудия производства, оружие), географические названия местности, рек (Картамыш — слой руды, свинца с тюрского, с. Медная Руда, "кан" — «руда», отсюда Хайдаркан, Кансай).

К *косвенным* поисковым признакам относятся: 1) изменения околорудных вмещающих горных пород (карбонатизация, хлоритизация, каолинизация); 2) наличие во вмещающих породах минералов и химических элементов, сопровождающих оруденение; 3) различие физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород (магнитные и радиоактивные аномалии – прямые поисковые признаки, электрические, гравитационные и сейсмические — косвенные); 4) характерные особенности рельефа (понижения, положительные формы, карстовые западины); 5) гидрогеологические; 6) ботанические; 7) топонимические, историко-географические данные о горных промыслах. Относительная ценность (вес) поисковых признаков зависит от конкретной геологической ситуации. В общем случае прямые поисковые признаки оцениваются выше, чем косвенные, так как они быстрее приводят к конечной цели — открытию месторождения.

Обнажения полезных ископаемых являются наиболее достоверными поисковыми признаками. Они подразделяются на естественные и искусственные. Под первыми понимают естественные выходы минерального сырья на поверхность. Искусственные обнажения образуются при проходке различных выработок — скважины, шурфы и др. Необходимо помнить, что полезные ископаемые процессами выветривания могут быть существенно изменены.

Концентрации элементов в породах и в водах возникают одновременно с образованием месторождений. Например, свинцово-цинковые руды и ртуть. При разрушении руд повышенные концентрации могут накапливаться в воде, в растениях и атмосфере. Отсюда различают первичные и вторичные концентрации элементов или ореолов. Первичные ореолы распространены в горных породах вокруг тел полезных ископаемых, называются литогеохимическими и являются важными поисковыми признаками. В процессе выветривания и переотложения минерального вещества возникают вторичные ореолы: литогеохимические (осадочные породы), гидрогеохимические (вода), биогехохимические (растения), атмогеохимические (воздух).

Анализ поисковых критериев и признаков позволяет наметить благоприятные геологические обстановки для возможного нахождения полезного ископаемого. Их выделяют до начала полевых поисковых работ. В результате составляется прогнозная карта 1:200000-1:50000. Эти карты содержат сведения о стратиграфии, магматизме, тектонике, литологических комплексах, о полезных ископаемых, геохимическим ореолах и геофизических аномалиях.

5.3 Методы поисков

Различают геологические, минералогические, геохимические и геофизические, которые завершаются горно-буровыми методами. По условиям применения они подразделяются на дистанционные (космические и аэрометоды), наземные и подводные (табл. 13).

Наземные

Многообразие типов полезных ископаемых определили поисковые методы, которые можно подразделить на группы: а) методы геологической съемки; б) геолого-минералогические – изучение на поверхности коренных выходов горных пород (минералогическое картирование, протоочно-шлиховой, шлихо-взрывной) и рыхлых отложений: валунно-ледниковый, обломочно-речной, шлиховой; в) геохимические методы: литогеохимические, гидрогеохимические, биогехохимические и атмогеохимические; г) геофизические: магнитометрические, радиометрические, гравиметрические, сейсмометрические и электрометрические.

Таблица 13 — Классификация современных методов поисков месторождений полезных ископаемых (по В.В. Аристову)

95

| Класс методов по условиям применения (подкласс методов по техническим средствам) | Группа методов по характеру изучаемых полей и аномалий | | | | Группа методов проверки |
|--|--|---|---|---|--|
| | Геологические | Минералогические | Геохимические | Геофизические | Горно-буровые |
| Космические (со спутников, с межпланетных кораблей, с планетоходов) | Визуальные наблюдения, фотография | Минералогическое опробование поверхности планет | Химическое опробование поверхности планет | Геофизические исследования планет | Бурение на поверхности планет |
| Воздушные (с самолётов, с вертолётов, с дирижаблей, десанты) | То же | Минералогическое опробование в десантном варианте | Аэромасспектрометрическая и аэроспектрозональная съёмки, химическое опробование в десантном варианте | Аэромагнитная и аэроэлектрометрическая съёмки, аэрогамма-съёмка. Геофизический десант | Проходка горных выработок и бурение скважин в десантном варианте |
| Наземные (пешеходные маршруты, с автомобилей, с вездеходов) | Геологическая съёмка, поисковые маршруты | Вскрытие выходов, изучение ореолов рассеяния валунно-ледниковым, обломочно-речным, шлиховым методами и минералогической съёмкой | Литогеохимический, гидрогеохимический, биогеохимический, геоботанический, атмосферно-геохимический методы | Магнитометрические, гравиметрические, сеймометрические, электрометрические, радиометрические, ядерно-физические, термометрические, биофизические методы | Проходка горных выработок и бурение скважин |
| Подводные (с кораблей, с подводных лодок, аквалангисты) | То же | Шлиховой метод | Литогеохимический и гидрогеохимический методы | То же, кроме биофизических методов | То же |

Визуальные поиски включают в себя: 1) метод прямого обнаружения рудных выходов путём площадного искаживания местности и тщательного осмотра пород в естественных обнажениях и высыпках; 2) метод ковшевого (лотикового) опробования рыхлых отложений и проточек с визуальной проверкой наличия рудных (и сопутствующих) минералов (простейшая разновидность и прототип шлихового метода); 3) метод выявления и прослеживания косвенных визуальных признаков оруденения по породам, водам и растительности.

Геологическая съёмка является основным поисковым методом, так как в ее основе лежат прямые и непосредственные геологические наблюдения местности по систематической сети маршрутов, в результате которых выявляют коренные выходы полезного ископаемого, рудные обломки, в аллювиальных отложениях обнаруживают зёрна полезных минералов, особое внимание обращается на литологический разрез и контакты горных пород, фиксируются складчатые и разрывные нарушения, зоны измененных пород, магматические проявления, так как именно к этим участкам могут быть приурочены полезные ископаемые.

Геолого-минералогические методы поисков основаны на выявлении механических ореолов рассеяния или обломков полезного ископаемого месторождения в зоне выветривания или гипергенеза.

Обломочно-речной метод заключается в нахождении и прослеживании вверх по течению обломков или галек полезного ископаемого и характерных вмещающих пород. Наблюдения ведутся вверх по течению рек. При приближении к источнику сноса количество обломков увеличивается, а степень их окатанности уменьшается. С исчезновением галек поиски направляются вверх по бортам долины, где и вскрывается коренной источник обломков. По полученным данным составляют схемы обломочного веера и производится вскрытие коренного источника обломков.

Валунно-ледниковый метод — применяется для поисков месторождений в районах развития ледниковых отложений, поиски полезных ископаемых по ледниковым валунам с полезными ископаемыми. В основе лежат исследования состава валунного материала, следы движения ледника по коренным породам (бараньи лбы, ледниковые шрамы) и выявляется направление сноса обломочного материала.

Шлиховой метод основан на изучении механических ореолов рассеяния. Сущность его заключается в систематическом шлиховом опробовании рыхлых отложений, изучении состава шлихов, прослеживании и оконтуривании ореолов рассеяния и выявлении по ним коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых. *Шлих* - концентрат тяжёлых минералов, получаемый в результате промывки материала пробы из рыхлых отложений или дробленных коренных пород. Шлихи характеризуют состав механических ореолов и с их помощью можно определить пути сноса полезных ископаемых и их коренной источник. С помощью шлихового метода обнаруживают россыпные и коренные месторождения золота, платины, рутила, алмазов и др. Анализ шлиха производится после промывки пробы и заключается в определении оставшихся минералов (золото, платина, алмазы). Место отбора и номер пробы записываются в журнал. Результаты опробования выносятся на шлиховую карту.

Геохимические методы основаны на выявлении геохимических ореолов (повышенные концентрации) ценных химических элементов. Наиболее распространен литогеохимический метод поисков повышенных концентраций в коренных породах (первичные ореолы) и в рыхлых отложениях (вторичные ореолы). Первичные ореолы формируются вокруг рудного тела в процессе образования, пробы отбираются из коренных пород, поиски по вторичным ореолам – опробуются рыхлые отложения, перекрывающие рудные тела. Над рудным телом отмечается максимальная концентрация полезного химического элемента.

Гидрогеохимические — фиксируются гидрохимические ореолы рассеяния элементов в поверхностных и подземных водах.

Атмохимические (газовые) методы основаны на изучении распределения газовых компонентов в подземной и приземной атмосфере с целью выявления газовых ореолов рассеяния газов и радиоактивных эманаций. Широко используются при поисках месторождений природного газа, нефти, угля, радиоактивных руд — He, Hg, CO₂. При поисках эндогенных рудных месторождений широко используется газортутный метод. Одни газы являются компонентами рудообразования (CO₂, Ar, H₂S, CH₄, O₂, Cl, F), другие поступают по тектоническим разрывам

(CO₂, He, H₂, углеводороды, Ar, Hg, Br, I), третьи — продукты распада радиоактивных элементов (радон, торон, актинон, криптон).

Биогеохимические — основаны на фиксации повышенной концентрации элементов в растениях, произрастающих в пределах ореолов рудных месторождений. При этом отбираются пробы растений, которые подвергаются озолению с последующим определением химического состава материала золы обычно спектральным методом. Биогеохимические исследования проводят при изучении закрытых территорий.

Геоботанический — основан на особенностях растений в рудной зоне (чрезмерное, либо наоборот угнетённое развитие) и характерный набор растений.

Основным видом анализа геохимических проб является полуквантитативный спектральный анализ на широкий набор химических элементов (40–50). Результаты опробования наносят на разрезы в виде содержаний химических элементов, показанных линиями с одинаковым содержанием (изоконцентрации).

Геофизические методы основаны на изучении физических свойств горных пород и полезных ископаемых. При этом фиксируются аномалии, обусловленные телами полезных ископаемых, породами и геологическими структурами. Эти методы особенно эффективны для поисков месторождений, скрытых под мощными рыхлыми отложениями и месторождений, расположенных на больших глубинах (нефть и газ, радиоактивные руды, уголь, колчеданные руды и подземные воды).

Магнитометрический метод заключается в определении магнитного поля Земли на поисковом участке, зависящего от вещественного состава и геологического строения поискового участка. Этим методом легко обнаруживаются ферромагнитные минералы - магнетит, пирротин.

Радиометрический метод используется при поисках радиоактивных руд путём определения радиоактивности природных образований (уран, радий, торий, актиний), Искусственная радиоактивность применяется для определения состава горных пород, месторождений свинца, цинка, ртути, сурьмы и молибдена.

Эманационная съёмка основана на определении радона, торона и актинона в подпочвенном воздухе.

Радиогидрологические методы заключаются в изучении водных ореолов рассеяния радиоактивных элементов и гелия (водотоки и подпочвенный воздух – редкоземельные пегматиты, фосфориты, россыпи).

Гравиметрический метод основан на фиксации аномалий поля тяготения на поверхности Земли, обусловленных разной плотностью горных пород, обнаруживается минеральное сырьё с большой (железо, хром, железные, медноколчеданные руды) или малой (уголь и соли) плотностями.

Сейсмометрический метод используется для изучения глубинного строения Земной коры, структур, рельефа поверхности коренных пород путём изучения скорости распространения и времени пробега в земной коре продольных упругих волн, вызываемых взрывами в скажинах. Метод эффективно используется для поисков нефтяных и газовых месторождений, выявления благоприятных структур на больших глубинах, в частности для детализации неоднородностей, тел горных пород и трещин.

Каротаж применяется для изучения стенок скважин.

Скважинная геофизика используется для изучения пород межскважинного пространства.

Электроразведка включает в себя методы сопротивлений (электропрофилирование, электротондирование, метод заряженного тела), изучения полей физико-химического происхождения (естественного электрического поля, вызванной поляризации), низкочастотного электромагнитного поля — ЕП, ЗП, ВП, ЧИМ, контактный способ поляризационных кривых, дипольное индуктивное профилирование, радиоволновое просвечивание (изучение поглощения излучения высокой частоты, создаваемого передатчиками), магниторазведка, сейсморазведка (ВСП, акустическое просвечивание).

Технические методы поисков.

К ним относятся расчистки, закопушки, шурфы, канавы, картировочные и поисково-структурные скважины. Горные выработки располагаются по поисковым линиям, применение их при поисках ограничено.

5.4 Поисковые работы

Объектами исследований при поисковых работах являются бассейны, рудные районы, узлы и поля или их части, выявленные при региональных геолого-геофизических и геолого-минералогических исследова-

дованиях масштабов 1:200000 и 1:50000 и по которым имеется оценка прогнозных ресурсов категорий P_3 и P_2 . Поисковые работы могут производиться также на ранее опоскованных площадях, если это обусловлено изменением представлений о геологическом строении и рудоносности перспективных площадей, изменением конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследований или внедрением новых более эффективных технологий поисковых работ и обработки их результатов, а также на площадях распространения техногенных образований (отходов), которые могут стать источником минерального сырья.

Поиски могут проводиться в масштабах 1:200000 – 1:10000 в зависимости от сложности геологического строения, формационного типа и масштабов оруденения, глубинности исследований. Применяются: геолого-минералогические, геохимические, геофизические и другие виды и методы исследований, выполняется бурение поисковых скважин и проходка поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребённых месторождений используется глубокое бурение в сочетании со скважинными геофизическими и геохимическими методами. В результате работ выделяются перспективные участки и аномалии. Основным результатом поисков — геологически обоснованная оценка перспектив исследованных площадей. На выявленных проявлениях оцениваются прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1 . По материалам поисковых работ составляются геологические карты опоскованных участков в соответствующем масштабе и разрезы к ним, карты результатов геофизических и геохимических исследований, отражающие геологическое строение и закономерности размещения продуктивных структурно-вещественных комплексов.

Результатом проведения поисковых работ является составление технико-экономического обоснования промышленного значения месторождения. Итоговый отчёт включает геолого-экономическую оценку выявленных объектов по укрупнённым показателям и рекомендации о целесообразности и очередности дальнейшего проведения работ.

5.5 Поисково-оценочные работы

Поисково-оценочные работы завершают этап поисков для оценки возможного промышленного значения месторождения, осуществляется выбор объектов на определенной территории для выполнения предва-

рительной разведки. Составляют технико-экономический доклад с обоснованием промышленного значения месторождения. В результате выполнения работ некоторые минеральные проявления рекомендуются рассматривать как перспективные объекты, остальные - из-за отсутствия промышленной ценности отбраковываются. В стадию поисково-оценочных работ выполняются: 1. геологическая съемка масштаба 1:25000 - 1:1000 в зависимости от размера и характера объекта; 2. крупномасштабные поисковые работы с применением детальных геохимических, минералогических и геофизических методов исследования; 3. в пределах поисковых объемов проводят горные выработки и разведочные скважины; 4. гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения и исследования в объёмах, достаточных для обоснования способа вскрытия и разработки месторождения; 5. технологическая оценка полезного ископаемого по лабораторным, а при необходимости полупромышленным и промышленным пробам.

Итогом поисково-оценочных работ является: 1. на основе изучения поверхности и единичных разведочных пересечений на глубине определить промышленный тип месторождения; 2. определение ориентировочного контура месторождения в плане и геологическое обоснование распространения полезного ископаемого на глубину; 3. определение количества минерального сырья категорий C_1 , C_2 , горнотехнических условий разработки и возможности переработки; качество и условия залегания; 4. выяснение экономических условий района — транспортные магистрали, энергетические ресурсы, местные материалы и рабочая сила. Определяются факторы, негативно влияющие на показатели горного предприятия. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду. При оценке условий разработки месторождения применяется метод аналогий.

После окончания оценочных работ разрабатываются кондиции и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается предварительная оценка промышленной ценности месторождения, определяется целесообразность передачи объекта в разведку и освоение.

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. На площади оценочных работ проводится геологическая съёмка и составляется геологическая

карта масштаба 1:25000 – 1:1000 (в зависимости от размеров месторождения). Геологическая съемка сопровождается детальными минералогическими, геохимическими, геофизическими исследованиями, вскрытие и прослеживание тел полезных ископаемых осуществляется канавами, шурфами, поисково-картировочными скважинами. На экономически обоснованную глубину возможной разработки месторождения изучение оруденения осуществляется буровыми скважинами, реже подземными горными выработками. Бурение сопровождается комплексом скважинных геофизических и геохимических методов. Применяется широкий комплекс опробования полезного ископаемого, технологические исследования по лабораторным, иногда – малым или большим технологическим пробам (по природным разновидностям руд), разрабатывается принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого. Изучаются гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, геоэкологические особенности участка месторождения, важные для проектирования добычи полезного ископаемого. В результате обеспечивается оценка промышленного значения месторождения, с подсчетом всех или большей части запасов по категории C_2 (на участках детализации — категория C_1). По менее детально изученной части месторождения оцениваются прогнозные ресурсы кат. P_1 .

В результате оценочной стадии выполняется геолого-экономическая оценка месторождения (составляется технико-экономический доклад).

Контрольные вопросы

1. Какие выделяют стадии геологической съёмки и поисков на Украине и в России?
2. Назовите основные задачи обзорного, средне и крупно масштабного геологического картографирования.
3. Назовите последовательность региональных геологических исследований в России и на Украине.
4. Назовите объекты и задачи глубинного изучения недр.

5. Что общего и в чём различие между поисковыми критериями и признаками?
6. Какая геологическая информация лежит в основе выделения геологических критериев?
7. Какие геологические и негеологические данные выступают в качестве поисковых признаков?
8. Какие геофизические аномалии являются прямыми поисковыми признаками?
9. Что такое первичные и вторичные ореолы рассеяния минералов и химических элементов?
10. Перечислите прямые и косвенные поисковые признаки.
11. Перечислите наземные методы поисков.
12. Какие минералогические и геохимические методы поисков вы знаете?
13. Что такое геологическая съёмка?
14. Какие геофизические методы поисков вы знаете?
15. Назовите итоги поисково-оценочных работ.
16. Опишите результаты поисковых работ.

6 РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Цель разведки — выявление промышленных месторождений полезных ископаемых, получение разведанных в недрах запасов минерального сырья и других данных, необходимых для проектирования и последующего функционирования горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

Полнота и достоверность представлений о строении, составе недр и содержащихся в них залежей полезных ископаемых зависят от густоты сети наблюдений, характера и степени неоднородности изучаемых объектов. Чем меньше размеры и выше изменчивость свойств месторождений, тем более плотная сеть наблюдений требуется для получения достоверных данных о его составе и строении.

6.1 Задачи разведки

Главной задачей разведочных работ является определение количества, качества и условий залегания полезного ископаемого. Эти параметры позволяют оценить промышленное значение разведываемого месторождения.

Количество полезного ископаемого зависит от размеров тел. Для одних месторождений размеры определяются четкими геологическими границами, обусловленными структурой и вещественным составом месторождения, для других — условно, по результатам геологоразведочных работ.

Понятие "качество полезного ископаемого" включает не только химический состав и минеральный состав, но и технологические свойства. По различным качественным показателям выделены природные типы и промышленные сорта.

Под *условиями залегания* понимают: 1. элементы залегания — простирание, падение и склонение тела полезного ископаемого; 2. глубина залегания; 3. гидрогеологические условия; 4. крепость, устойчивость, трещиноватость и другие физические свойства пород. Условия залегания характеризуют возможность вскрытия и отработки залежей полезного ископаемого, поэтому называются горнотехническими условиями месторождения. Экономические условия определяются возмож-

ностями транспорта и водоснабжения, энергетическими ресурсами, наличием строительных и других материалов, населением и профилем его хозяйственной деятельности.

Оценка месторождений выполняется методом оценочных сопоставлений. Фактические данные, полученные по месторождению сопоставляются с данными по другим месторождениям разведанным, или эксплуатируемым, в результате чего решается вопрос о промышленной значимости месторождения.

Решение указанных частных задач требует применения определенных технических средств разведки.

6.2 Принципы разведки

Каждое месторождение должно быть разведано с соблюдением следующих принципов: 1. полнота исследования; 2. последовательных приближений; 3. принцип аналогий; 4. равномерность (равная достоверность); 5. наименьших трудовых и материальных затрат и затрат времени.

Принцип полноты исследований требует: 1. оконтуривание месторождения; для очень крупных (бассейнов) оно может выполняться приблизительно по общим геологическим данным; 2. полное пересечение тела полезного ископаемого разведочными выработками, так как только в этом случае можно установить мощность тела, элементы залегания, запасы, типы и сорта полезного ископаемого; 3. месторождение должно изучаться комплексно, со всесторонним изучением качества с целью попутного извлечения примесных элементов, а также использования непромышленных запасов; 4. использование всех данных для выяснения гидрогеологических, инженерно-геологических и горно-технических особенностей месторождений. Степень детальности исследований определяется необходимостью возмещения затрат на её получение.

Принцип последовательных приближений заключается в последовательном изучении месторождения по этапам и стадиям. Это вызвано тем, что сразу невозможно получить необходимые сведения по всему месторождению.

Принцип последовательных приближений (равномерности) заключаются в таких требованиях: 1. равномерное заложение разведочных выработок по всему месторождению; 2. равномерное опробование

горных выработок; 3. использование равнозначных и равноточных методов исследования минерального вещества.

Принцип аналогии основан на использовании накопленного опыта изучения однотипных с разведваемым месторождений, сходных по геолого-структурным условиям локализации, вещественному составу и распространению полезного ископаемого.

Принцип наименьших трудовых и материальных затрат не допускает переразведку месторождения (неоправданно густая сеть разведочных выработок, большое количество проб при опробовании), так как это вызывает перерасход государственных средств.

Принцип наименьших затрат времени требует проведение работ в кратчайшие сроки широким фронтом геологоразведочных работ, с использованием большого числа разведочных станков и других агрегатов, проходкой одновременно максимального числа разведочных выработок.

6.3 Методы разведки

При разведке месторождений используются те же методы, что и при поисках, но с большей детальностью, на более высоком качественном и технологическом уровнях.

Основные методы разведки: детальное геологическое картирование, линейные пересечения (разрезы) тел полезных ископаемых системами буровых скважин и горных выработок, опробования и оценочные сопоставления. Приповерхностные части месторождения вскрываются горными выработками (канавы, траншеи, шурфы) и мелкими скважинами. Все выходы тел полезных ископаемых прослеживаются и опробуются. Разведка месторождений на глубину проводится скважинами до горизонтов, целесообразных для разработки. При разведке месторождений сложного строения разведочное бурение комбинируют с проходкой подземных горных выработок. Применяются также геофизические, геохимические и минералогические исследования. С помощью геологических разрезов выясняются формы тел и их размеры, внутреннее строение и условия залегания тел полезных ископаемых. В зависимости от применяемых технических средств разведки разрезы могут быть вертикальными (скважины), горизонтальными (горные выработки) и комбинированными.

Детальное геологическое картирование выполняется на инструментальной графической основе: топографических планах поверхности в масштабе от 1:10000 до 1:500 и маркшейдерских погоризонтных планах масштаба 1:1000 и 1:500. Привязка обнажений, разведочных скважин и выработок на поверхности осуществляется с помощью теодолитных ходов и геометрического нивелирования, а пунктов наблюдений в подземных горных выработках — к маркшейдерским точкам теодолитных и вертикальной съёмки. Составление детальных геологических карт происходит в основном на стадии предварительной разведки, затем они дополняются и уточняются. На последующих стадиях разведки проводятся более детальные геологические съёмки на базе маркшейдерских планов и составляют погоризонтные геологические планы.

Определение качества сырья устанавливается в процессе опробования. Под опробованием понимается весь комплекс работ по определению качества независимо от того, как отбираются и исследуются пробы.

Оценка месторождения выполняется путем сопоставлений с требованиями к количеству и качеству минерального сырья.

6.4 Технические средства разведки

К основным техническим средствам разведки относятся горные разведочные выработки и буровые разведочные скважины, а также геофизические методы.

Горные разведочные выработки служат как для прослеживания тел полезных ископаемых на поверхности, так и для вскрытия глубинных частей месторождения. Они подразделяются на поверхностные (расчистки, канавы (траншеи), шурфы, дудки) и подземные (шахты, штольни, квершлагги, штреки, орты, рассечки, восстающие). По ним получают наиболее достоверные разведочные данные, но стоимость таких работ высокая. Наиболее информативными являются выработки, пройденные вкост тел полезных ископаемых (канавы, шурфы, дудки, квершлагги, рассечки). Другие выработки, пройденные по простиранию и падению тел, позволяют определить прерывистость полезного ископаемого, изменчивость его морфологии и качества.

Канавы. Проводятся до глубин 2-3 м длиной 20-30 м. Магистральные канавы проходятся на сотни м, ширина канав 0,7-1,0 м.

Шурф (дудка) — вертикальные выработки глубиной до 100 м с сечением 1-2 м² (шурф и дудка) и 6-13,8 м² (разведочные шахты).

Штольни применимы в условиях расчлененного рельефа, задаются по простиранию или вкрест. Поперечное сечение 3,0-5,8 м².

Из штолен и шахт проводят подземные горные выработки.

Квершлаг — горизонтальная выработка вкрест простирания пород.

Штрек — горизонтальная выработка по простиранию пород.

Орт (рассечка) — горизонтальная выработка из штрека или штольни для пересечения тела полезного ископаемого.

Гезенки и восстающие — вертикальные и крутонаклонные подземные выработки сечением 2-4 м², соединяющие соседние горизонты или играющие роль рассечек для оконтуривания полезного ископаемого выше или ниже горизонта.

Буровые разведочные скважины являются наиболее распространенным средством разведки. Их стоимость в 3-4 раза ниже горных работ, скорость проходки в 2-3 раза больше горных работ, но и информация менее надежна.

Колонковое бурение — наиболее распространенный вид буровых разведочных работ. Сущность состоит в разрушении горной породы буровой коронкой под торцом буровой колонны при непрерывном действии осевой нагрузки и вращательного усилия. Разрушенные частицы выносятся с забоя скважины на поверхность промывочной жидкостью - водой или глинистым раствором, либо воздушной струей. Одновременно происходит охлаждение режущего наконечника бурового снаряда (твёрдосплавная, алмазная и дробовые коронки). Преимущество колонкового бурения: 1. бурение вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин любого направления; 2. возможность принудительного искривления на определенных глубинах — бурение куста скважин; 3. получение керна - цилиндрического образца горной породы и полезного ископаемого. Наиболее распространены буровые установки с глубиной бурения до 1200 м (300М, ЗИФ, 650М, 1200МР, СБА-800, УКБ-7).

Другие виды вращательного бурения с разрушением горной породы по всему забою скважины — роторное и турбинное, которые широко применяются при разведке нефтяных и газовых месторождений.

Ударно-канатное бурение широко применяется при разведке россыпей, пологозалегающих тел полезных ископаемых, штокверков. При этом измельчение породы в скважине осуществляется падающим снарядом большого веса. На конце снаряда крепится долото, которое после каждого удара скалывает часть пород забоя. После углубки на 20-58 см бурение прерывается, и скважина очищается от раздробленного материала (шлама). Особенности: 1. вертикальное бурения 2. неглубокое бурение (до 600 м); 3. бурение без отбора керна; 4. значительный диаметр бурения (168-219 мм). Ударное бурение осуществляется станками УКС-22, УКС-30, УГБ-50М и др.

Роторное и турбинное бурение является безкерновым и осуществляется сплошным забоем. Первое осуществляется при помощи мощных вращающих устройств на поверхности, второе - путем опускания в скважину турбобура. Эти виды бурения применяются при бурении глубоких и сверхглубоких скважин (на нефть и газ).

Для разведки неглубоко (до 10-30 м) залегающих месторождений применяют ручное ударно-вращательное и шнековое бурение.

6.5 Геофизические методы разведки

Геофизические методы применяются для прослеживания и контурирования тел полезных ископаемых или продуктивных площадей, как в плане, так и в разрезе. При этом выполняется опробование полезных ископаемых, выявляются рудовмещающие структуры и залежи полезных ископаемых, повышается качество геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических сведений.

Каротаж скважин основан на воздействии локальных естественных и искусственных физических полей внутри скважин на специальный зонд, откуда возникшие сигналы по каротажному кабелю передаются на регистрирующие и обрабатывающие наземные приборы. Природа этих полей различна. Для регистрации параметров электрического поля используют методы самопроизвольной поляризации (ПС) и кажущихся сопротивлений (КС). Радиоактивность пород в разрезе скважины фиксирует гамма-каротаж (ГК); изменение вертикальной составляющей магнитного поля измеряется с помощью магнитного каротажа (МК), тепловой режим определяют проведением термического каротажа. Каро-

таж выполняется для литологического расчленения разреза, уточнения мощностей и положения контактов, разновидностей пород, зон оруденения, тектонических нарушений.

При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях широко применяются методы скважинной геофизики. Среди них наиболее часто применяются электрические, ядерно-физические и магнитные методы каротажа: самопроизвольной поляризации (ПС), кажущихся сопротивлений (КС), вызванной поляризации (ВП), гамма-каротажа (ГК), плотностного гамма-каротажа (ГГК-С), нейтронного каротажа (НК-Н, НК-Т, НТК-С), магнитного каротажа (МК), тепловой режим определяют проведением термического каротажа. ГГК-С используют для оценки зольности углей. Термический каротаж помогает изучить криологические условия в разрезе скважины; с помощью КС, ПС, НГК и ННК расчленяют породы по пористости, проницаемости и водообильности.

Гравиметрические работы крупных масштабов на земной поверхности дают возможность очерчивать рудные тела по контурам аномалии силы тяжести (железные, хромитовые, медноколчеданные и полиметаллические руды). При этом используются гравиметры и гравитационные вариометры.

Магнитометрические работы позволяют оконтуривать рудные тела с высокой точностью, если их магнитные свойства резко отличаются от свойств окружающих пород (железные и медно-никелевые руды, алмазоносные трубки в Якутии и др.).

Сейсмометрические работы большое значение имеют для оконтуривания залежей нефти и солей с последующей проверкой единичными скважинами.

Электрометрические работы наиболее распространены и позволяют сделать заключения о пространственном положении и размерах тел полезных ископаемых. Электрический каротаж угольных скважин позволяет коррелировать их разрезы, выявлять пласты угля и оценивать их мощность.

6.6 Прослеживание и оконтуривание тел полезных ископаемых

Как уже отмечалось, главной задачей разведочных разрезов является определение формы тела полезного ископаемого и его размеров с тем, чтобы подсчитать количество минерального сырья, для этого ве-

дуются наблюдения по естественным и искусственным обнажениям - по горным выработкам и буровым скважинам, проведенным по определенной системе.

Чтобы иметь представление об объеме тела, необходимо получить несколько разрезов. Размеры должны быть расположены параллельно друг другу в направлении максимальной изменчивости основных параметров (вкрест простирания). В зависимости от положения разрезов и выработок в разрезах различают квадратную, прямоугольную и ромбическую сети. Изучение формы и размеров залежи производится при помощи горных выработок и буровых скважин путем прослеживания по простиранию и вкрест простиранию. Прослеживание позволяет определить границы залежей и в конечном итоге оконтурить тела. Различают три способа оконтуривания: 1. оконтуривание в результате непрерывного прослеживания; 2. оконтуривание путем ограниченной интерполяции; 3. оконтуривание путем экстраполяции (неограниченная интерполяция).

Непрерывное прослеживание контактов выполняется, когда мощность тела полезного ископаемого меньше размеров прослеживающей выработки (штрека, восстающие, канавы) или же эта выработка проходит непосредственно по контакту тела полезного ископаемого с вмещающими породами. В результате непрерывного прослеживания границы тел не требует последующих уточнений.

При *интерполяции* контур проводится в интервалах между соседними выработками, (например, содержание меди в выработках 1,4 % и 0,2 %, промышленная кондиция — 0,6 %).

Экстраполяция применима в краевых частях месторождений, на флангах и на глубине, ниже самых глубоких разведочных выработок. Она проводится за пределами «промышленных» выработок на расстоянии, равном половине расстояния между выработками. Данным способом отстраивается только внешний контур залежи. Существует два вида экстраполяции: ограниченная и неограниченная. *Ограниченная экстраполяция* – это проведение контура между выработками, одна из которых пересекла полезное ископаемое, а другая — нет. Конкретное положение опорной точки и контура определяются либо по формальным признакам – на половину, треть, четверть расстояния между этими выработками, либо на основании геологических закономерностей. При *неограничен-*

ной экстраполяции контур отстраивают за пределами выработок, подсёкших полезное ископаемое, установленных пределов экстраполяции при этом нет, положение опорных точек контура определяются либо по формальным признакам — на четверть, половину, целое, удвоенное или другое расстояние между разведочными выработками, либо по геологическим признакам.

Оконтуривание залежи в пределах выработок при равномерном распределении полезного компонента при чётких границах тела полезного ископаемого, когда подсчётные контуры совпадают с геологическими, в задачу оконтуривания входит только проверка соответствия установленным кондициям. Для маломощных тел полезных ископаемых промышленный характер полезного пересечения определяется метропроцентом. При неравномерном распределении полезного компонента в теле полезного ископаемого, его внешние границы определяются по результатам опробования.

По данным разведки проводят внутренний и внешний (предполагаемый) контуры. *Внутренний контур* проводится по выработкам с промышленным содержанием минерального сырья. Он ограничивает тело с достаточно достоверными запасами полезного ископаемого. *Внешний контур* проводится способом *интерполяции* (посередине между «пустыми» и «промышленными» выработками) и *экстраполяции*. Существуют геологические (граница фаций, тектоническое нарушение, естественное выклинивание) и формальные приёмы *неограниченной экстраполяции*: а) проведения внешнего контура параллельно внутреннему на расстоянии, равном расстоянию между разведочными выработками или половине среднего расстояния между ними; б) как короткие стороны прямоугольного треугольника; в) как длина тела по прямоугольнику с высотой.

6.7 Стадии разведочного процесса

Процесс разведки месторождений твердых полезных ископаемых разделен на три *стадии*: предварительная, детальная и эксплуатационная разведка. Каждая последующая от предыдущей отличается степенью детальности исследований и достоверностью результатов, все возрастающей от начала разведки до ее завершения, определяется принципом по-

следовательных приближений. В полном объёме стадийность разведочного процесса осуществляется на крупных и важных месторождениях.

Предварительная разведка охватывает все месторождения и проводится на объектах, получивших положительную оценку в период предшествующих поисково-разведочных работ. В эту стадию должны быть выяснены общие размеры месторождения, получены приблизительные представления о формах и размерах основных тел, о качестве полезного ископаемого, об условиях залегания месторождения, о гидрогеологических и других горнотехнических особенностях, существенных для обоснованной промышленной оценки месторождения. В эту стадию завершается детальное изучение поверхности месторождения и составление крупномасштабных карт 1:10000-1:5000 на инструментальной топографической основе. Разведка осуществляется при помощи бурения с минимальным использованием горных выработок. При этом проводятся крупномасштабные геофизические и геохимические съёмки. Опробование осуществляется по немногочисленным выработкам, проводится предельно полно, чтобы уже на этой стадии решить вопрос о пригодности полезного ископаемого для дальнейшего использования. Отбираются технологические пробы для лабораторных испытаний, выделяются промышленные типы и сорта полезного ископаемого. Запасы подсчитываются по категориям C_1 и C_2 , которые обеспечивают надёжную оценку месторождения. По данным предварительной оценки разрабатываются временные кондиции, составляют отчёт с подсчётом запасов, на основании которого разрабатывается технико-экономический доклад (ТЭД), в котором показана целесообразность промышленного освоения месторождения и перехода от предварительной к детальной разведке.

Детальная разведка проводится на месторождении, или на отдельных его участках, намеченных к промышленному освоению в ближайшие 5-10 лет. Она подготавливает месторождения для передачи в промышленное использование в соответствии с требованиями классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых. Задачей разведки является уточнение геологического строения, формы, условий залегания тел, качества, гидрогеологических и других горнотехнических условий. На этой стадии завершается крупномасштабное картирование (1:2000 – 1:500). Сгущается разведочная

сеть с целью перевода запасов из категорий C_1 и C_2 , в категории А и В. При этом увеличивается удельный вес горных работ. Качество изучается по каждому сорту полезного ископаемого в промышленных условиях на обогатительных фабриках и промышленных предприятиях. По результатам детальной разведки составляется технико-экономическое обоснование (ТЭО) разведочных постоянных кондиций, составляется также геологический отчет с подсчетом запасов, в котором обобщаются все материалы разведок, необходимые для утверждения запасов в ГКЗ и последующего составления проекта разработки месторождения.

Доразведка месторождения выполняется для получения дополнительной информации, необходимой в связи с пересмотром проектной производственной мощности горнорудного предприятия, технологии добычи и переработки минерального сырья. Доразведка сосредотачивается на флангах, глубоких горизонтах, обособленных рудопродуктивных телах или залежах для восполнения отработанных запасов разведанными запасами высоких (промышленных) категорий. По итогам работ составляется отчет.

Эксплуатационная разведка начинается с момента организации добычи полезного ископаемого и продолжается в течение всего периода разработки месторождения. Цель эксплуатационной разведки – получение достоверных данных, необходимых для безопасного ведения работ, оперативного планирования горно-подготовительных, нарезных и очистных работ и обеспечения наиболее полного извлечения из недр полезных ископаемых и попутных компонентов.

По отношению к добычным работам она может быть опережающей или сопровождающей. Опережающая разведка осуществляется раньше добычных работ на 1-2 года системами подземных горных выработок небольшого сечения и неглубоких скважин в пределах этажа, горизонта, группы блоков, подготавливаемых и нарезаемых для этих работ. Результаты этой разведки используют при текущем планировании. Сопровождающая эксплуатационная разведка проводится в пределах блоков, камеры, уступа карьера и служит для оперативного планирования добычи полезного ископаемого. В процессе эксплуатационной разведки уточняются контуры тел полезных ископаемых, их условия залегания, внутренне строение, качественная характеристика и количество запасов,

пространственное положение промышленных типов и сортов руд, гидро-геологические, горно-геологические и другие факторы разработки месторождения по отдельным участкам, горизонтам и блокам.

В состав работ входит проходка разведочных выработок, бурение скважин, шпуров, опробование различными методами, геофизические исследования.

Полученные результаты, а также данные эксплуатационного опробования используют: для разработки эксплуатационных кондиций; текущего и оперативного планирования добычи полезного ископаемого; пересчёта запасов с переводом их в более высокие категории и выделением подготовленных и готовых к выемке запасов; определения плановых и фактических потерь и разубоживания; контроля за полнотой, качеством и технологией отработки месторождения.

Контрольные вопросы

1. Цель разведки месторождений полезных ископаемых.
2. Задачи разведки месторождений полезных ископаемых.
3. Что понимается под условиями залегания полезных ископаемых?
4. Каким методом выполняется оценка месторождений полезных ископаемых?
5. Объясните принцип полноты исследования месторождений полезных ископаемых.
6. В чём заключается принцип последовательных приближений?
7. В чём заключается принцип аналогий и принцип наименьших трудовых и материальных затрат?
8. Перечислите основные методы разведки.
9. Какие работы включает в себя детальное геологическое картирование?
10. Охарактеризуйте основные виды горных разведочных выработок.
11. Охарактеризуйте основные виды разведочного бурения.
12. Что такое каротаж скважин?
13. Какие физические методы включает каротаж скважин?
14. Особенности применения гравиметрических и сейсмометрических работ.

15. Назовите особенности применения магнитометрических и электрометрических работ.
16. Оцените способы оконтуривания тел полезных ископаемых.
17. Какие виды экстраполяции применяются при оконтуривании тел полезных ископаемых?
18. Перечислите стадии разведочного процесса.
19. С какой целью выполняется предварительная разведка?
20. На каких объектах выполняется детальная разведка?
21. Какие документы составляются по результатам предварительной и детальной разведки?
22. Запасы каких категорий получают по результатам предварительной и детальной разведки?
23. Назовите особенности доразведки и эксплуатационной разведки.
24. Для чего используются результаты эксплуатационной разведки?

7 ОПРОБОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Пробы, отбираемые при разведке месторождений твёрдых полезных ископаемых, представляют собой массу различных по составу и размерам минеральных частиц, отобранных из продуктивных залежей в естественном залегании или из технологических продуктов её отработки. Опробывание месторождений и искусственных скоплений (например, отвалов) полезных ископаемых в процессе поисков и разведки производится с целью установления их качества. Данные опробования используются для подсчета промышленных запасов месторождения, для выбора способа и схемы переработки. Опробование производится с отбором проб и без отбора проб.

7.1 Опробование без отбора проб

Ядерно-геофизические методы опробования проводятся без отбора проб для определения вещественного состава, плотности, влажности, пористости и др. Они основаны на использовании естественных и искусственных радиоактивных элементов. На изучении естественной радиоактивности основаны радиометрические методы опробования руд по интенсивности и спектральному составу гамма-излучения. Они применимы при опробовании месторождений урана, тория и каменной соли.

Эти методы, основанные на использовании искусственных источников ионизации, получили широкое развитие за последние десятилетия. В процессе опробования в скважину опускается зонд с генератором гамма-излучения или нейтронов и регистрирующее устройство, отделённое экраном. При этом проводится серия замеров, совокупность которых рассматривается как одна проба.

7.2 Опробование с отбором проб

Процесс опробования с отбором проб включает отбор, обработку и испытания проб. Выбор способа взятия пробы обусловлен геолого-минералогическими и морфологическими особенностями залежи, видом полезного ископаемого и степенью его изменчивости и техническими средствами разведки. Способы отбора проб по увеличению степени достоверности подразделяются на точечный (дискретный), линейный и большеобъёмный. К первым относятся - штуфной, точечный и вычер-

пывания, ко второму — бороздовый и шпуровой, к третьему — задири-
ковый и валовый.

Точечные (дискретные) пробы отбирают точечным, горстьевым и штуфным способами.

Штуфной — применяется при техническом и минералогическом видах опробования, заключается в отбойке кусков (штуфов) весом 0,5–2,0 кг, отбитых при проведении выработок, применяется редко, при изучении минерального состава, структур, текстур, физических свойств (объемная масса, влажность, прочность) минерального сырья, а также при отборе музейных и коллекционных образцов.

Точечный — материал пробы составляется из кусочков размером 15-30 мм и массой 10–20 г., взятых в забое или на стенке выработки по определённой сетке, в узлах которой отбиваются кусочки, составляющие начальную пробу (несколько килограмм). Сетка может быть квадратной, прямоугольной или ромбической, расстояние между её узлами составляет десятки сантиметров. Число частных проб, составляющих рядовую пробу, колеблется от 10 до 20. Общая масса рядовой пробы составляет от 2–3 до десятков килограмм. Для механической отбойки точечных проб применяются пробоотборники на базе пневматических перфораторов.

Вычерпывание (горстьевой) — для опробования рыхлых масс минерального сырья – навала отбитого полезного ископаемого, песков и россыпей, отвалов. При этом в пределах навала по углам мысленно расположенной сетки отбираются частные пробы, составляющие начальную пробу. Этот способ является разновидностью точечного. Число частных проб колеблется от 10 до 50. Масса отдельной частной пробы составляет 50-600 г.

Линейные пробы отбираются бороздовым и шпуровым способами.

Бороздовый — наиболее распространённый способ взятия проб в геологоразведочной практике, при этом на обнаженной поверхности рудного тела проводятся борозды, форма и размеры которой зависят от мощности тела и характера распределения в нём полезного ископаемого. Борозды расположены по направлению наибольшей изменчивости содержания полезного компонента, которое часто совпадает с мощностью залежи. Если рудное тело характеризуется полосчатыми или слоистыми текстурами, тела полезных ископаемых имеют значительную

мощность, производится секционное опробование по типам руд. Пробы в кварцитах отбирают в их стенках на высоте 1–1,2 м от почвы, в штреках при крутом падении — в забоях или кровле, при пологом — в стенках. В канавах пробы отбирают по дну, иногда стенкам; в шурфах, восстающих, уклонах — по стенкам. При отборе проб в крепких породах применяют пробоотборники режущего или ударного действия.

Шпуровой — применяется на заключительных стадиях разведки и при эксплуатации для уточнения мощности рудопродуктивных залежей. В пробу отбирают буровую муку, шлам, возникшие в процессе бурения шпуров перфораторами, при этом не задерживается продвижение забоя. Способ эффективен в случае неполного вскрытия тела полезного ископаемого большой мощности горными выработками.

Большеобъёмные пробы отбираются валовым или задирковым способами.

Задирковый — площадной способ взятия пробы, применяется при опробовании тел полезных ископаемых малой мощности (до 40 см), а также при очень неравномерном распределении ценных компонентов, при этом выполняется отбойка ровного слоя полезного ископаемого (мощностью 3–10 см) по всей обнажённой части рудного тела в забое, кровле или почве горной выработки. Применяется при отборе механическим способом большеобъёмных проб для технологических испытаний, масса пробы может достигать нескольких сотен килограммов.

Валовый — наиболее достоверный способ, заключается в сплошном отборе минерального сырья, получаемого при проходке горной выработки. При этом в пробу может поступать вся отбитая горная масса или её часть с определённых интервалов проходки горных выработок (каждая 3-я, 5-я, 10-я и т. д. лопатка, бадья, вагонетка и др.). Применяется при взятии технологических проб, для определения содержаний на месторождении слюды, оптических минералов, драгоценных камней, алмазов, обладающих изменчивым качеством и распределением основных ценных компонентов. Масса пробы может достигать тысяч килограммов.

Опробование скважин осуществляется способами, близкими к линейным. Отбор проб при колонковом бурении производится из керна, а при его отсутствии — из шлама. Керн (столбик породы) раскалывается на гидравлическом или механическом ударном керноколе вдоль оси попо-

лам, при небольшом объёме опробования раскалывание керна возможно вручную при помощи зубила и молотка. В пробу берётся половина керна, расколотого керноколом (или распиловкой, или высверливанием) по длинной оси; вторая половина оставляется для минералогического изучения. При низком выходе керна применяют геофизические методы (каротаж скважин) для уточнения положения контактов тел полезных ископаемых, иногда их состава. При опробовании скважин ударно-канатного бурения опробуют шлам, шарошечного и пневмоударного — шлам или буровая мелочь при помощи специальных шламоуловителей. При ручном или механическом ударно-вращательном бурении пробы отбираются при помощи желонки, ложек, пробоотборника и грунтонасоса.

7.3 Виды опробования

Различают следующие виды опробования: химическое, минералогическое, геохимическое, геофизическое и ядерно-геофизическое, рядовое, техническое, технологическое, товарное. При этом пробы отбираются в недрах из коренного залегания, а также из перемещённых перемешанных рыхлых масс.

Рядовое опробование — основной вид и проводится в массовом порядке для систематического определения количества и качества полезного ископаемого, подразделяется на геофизическое, химическое и минералогическое. Является основой геометризации недр и подсчёта запасов минерального сырья.

Наиболее распространёнными геофизическими методами являются магнитометрические и ядерно-физические (радиометрические). Разрабатывается наиболее рациональный комплекс геофизических методов в каждом конкретном случае.

Химическое опробование выполняется на рудных месторождениях для определения содержаний основных и попутных полезных элементов и вредных примесей.

Минералогическое опробование проводится при разведке россыпных и коренных месторождений для определения содержания ценных минералов.

Геохимическое опробование заключается в определении малых содержаний химических элементов (спектральный, атомно-адсорбционный анализы).

Геофизические методы применяются для определения содержания полезных компонентов в горных выработках и для экспресс-анализа отобранных проб.

Техническое опробование — изучение физических и технических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород (влажность, разрыхляемость, кусковатость, крепость, буримость, размеры кристаллов, прочность асбестового волокна, полируемость строительного камня и др.).

Технологическое опробование — изучение технологических свойств минерального сырья, изучаются в лабораторных, полупромышленных и в производственных условиях, помогает выбрать рациональную схему и оптимальный режим технологической переработки полезного ископаемого, обеспечивающие комплексное извлечение полезных компонентов и утилизацию отходов. Выясняются гравитационные, флотационные, электромагнитные свойства, плавкость, спекаемость и др.

Товарное опробование выполняется для определения качества добытых масс полезного ископаемого или концентратов в вагонах, автомашинах, трюмах судов и др.

7.4 Обработка проб

Масса исходной пробы во много раз превышает массу необходимого для лабораторных и технологических испытаний материала, поэтому для их выполнения от проб отбираются навески. При отборе навески необходимо сохранить её представительность относительно исходных масс. При химическом и геохимическом виде опробования в процессе обработки проб получают навеску для анализа, представляющую собой тонко измельченный порошок (с диаметром частиц до 0,1 мм) массой от первых граммов (для спектрального анализа) до 100г. Содержание в навеске компонентов, подлежащих аналитическому определению, должно соответствовать их содержанию в исходной пробе и в её сокращенной массе на любой стадии обработки.

Оптимальные соотношения массы пробы Q , до которой она может быть сокращена, и размеров её наиболее крупных частиц d на начало каждой стадии рассчитывают по формуле Ричардса-Чечотта:

$$Q=kd^2,$$

где Q — надёжная масса сокращённой пробы; d — диаметр максимальных частиц, мм; k — коэффициент, зависящий от степени неоднородности распределения ценного компонента в полезном ископаемом (составляет 0,05-1,0). Он принимается по аналогии с таковыми разрабатывающихся подобных месторождений или определяется экспериментальным путём.

Значения коэффициентов k , рекомендованные для разных типов распределений полезных компонентов, приведены в таблице 14.

Формула Ричардса-Чечотта является упрощённой формулой Демонда и Хафердаля:

$$Q = k \cdot d^\alpha,$$

где α — коэффициент, зависящий от соотношения диаметров частиц в пробе (равен 1,5–2,7), определяется экспериментально.

Процесс обработки включает последовательные операции по дроблению (до 10 мм), измельчению (4–1,5 мм), истиранию (до 0,07 мм), грохочению и просеиванию, перемешиванию и сокращению проб. При грохочении и просеивании через сита происходит разделение частиц пробы по классам крупности.

Таблица 14 — Значение коэффициента k в формуле $Q=kd^2$ в зависимости от типа распределения полезного компонента

| Характеристика типа распределения полезного компонента | k |
|---|-----------|
| Равномерное | 0,05 |
| Неравномерное | 0,10 |
| Очень неравномерное | 0,20-0,30 |
| Крайне неравномерное | 0,40-0,50 |
| Крайне неравномерное (руды золота с крупными (более 0,6мм) обособлениями) | 0,8-1,0 |

Определив надёжную массу пробы по этой формуле, проводим её сокращение, предварительно подвергнув пробу перемешиванию.

Перемешивание выполняется для достижения однородности пробы, устранения сегрегации по плотности и размеру частиц. Для этого выполняют перелопачивание большеобъёмной пробы на твёрдой и гладкой горизонтальной площадке. Смешивание пробы небольшой массы выполняют способом кольца или конуса. Сокращение пробы выполняют квартованием, или на желобковом (струйчатом) делителе. При последнем квартовании две противоположные пробы объединяют в пробу для анализа, остальные две образуют дубликат, подлежащий хранению.

Далее пробы подвергают спектральному, химическому и фазовому анализу, которые позволяют определить содержания основных и примесных химических элементов, а также их формы нахождения. Кроме того пробы подвергаются техническим испытаниям, таким например, как влажность, зольность, калорийность угля. Определение сортности и марок минерального сырья выполняют в специальных лабораториях с учётом требований соответствующей отрасли промышленности. При технологических испытаниях определяют химический, минеральный и гранулометрический состав минерального сырья, его главные физико-технические свойства. При характеристике химического состава определяют содержания порообразующих оксидов, основных и сопутствующих компонентов, полезных и вредных примесей. Минеральный состав изучается с помощью минералогопетрографического, минералографического, шлихового и других лабораторных методов. Определяют также гранулометрический состав проб, кусковатость, средняя плотность, твёрдость, хрупкость и другие характеристики, влияющие на технологию переработки.

Контрольные вопросы

1. Для чего используются результаты опробования?
2. Какие методы опробования не требуют отбора проб?
3. В чём заключаются ядерно-физические методы опробования?
4. Чем обусловлен способ взятия проб?
5. Какой способ взятия проб наиболее достоверный?

6. Как отбираются пробы при точечном способе опробования?
7. В чём состоит бороздовый и шпуровой способ взятия проб?
8. В каких случаях применяется валовый и задирковый способы взятия проб?
9. Как опробуются скважины?
10. Какие бывают виды опробования?
11. Что такое рядовое опробование?
12. Какие лабораторные анализы отобранных проб применяют при химическом опробовании?
13. Зачем применяется техническое опробование?
14. Зачем выполняется технологическое опробование?
15. Что такое товарное опробование?
16. В чём заключается обработка проб?
17. Воспроизведите формулу Ричардса-Чечотта и Демонда-Хафердаля.
18. Какие операции включает в себя обработка проб?

8 ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО, СЛОЖНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

8.1 Группировка месторождений по сложности геологического строения

В зависимости от сложности геологического строения месторождения твёрдых полезных ископаемых подразделяются на следующие группы:

1-я группа. Месторождения (участки) простого геологического строения с крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабонарушенным залеганием, характеризующимися устойчивыми мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. В процессе разведки возможно выявление запасов категорий А, В, С₁, С₂.

2-я группа. Месторождения (участки) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, характеризующимися неустойчивыми мощностью и внутренним строением тел полезного ископаемого, либо невыдержанным качеством и неравномерным распределением основных ценных компонентов. К этой группе также относятся месторождения углей и ископаемых солей простого геологического строения со сложными горно-геологическими условиями разработки. В процессе разведки выявляются запасы категорий В, С₁ и С₂.

3-я группа. Месторождения (участки) очень сложного геологического строения со средними и мелкими по размерам телами полезных ископаемых с интенсивно нарушенным залеганием, характеризующимися очень изменчивой мощностью и внутренним строением либо значительно невыдержанным качеством полезного ископаемого и очень неравномерным распределением основных ценных компонентов. Запасы месторождений группы разведываются преимущественно по категориям С₁ и С₂.

4-я группа. Месторождения (участки) с мелкими, реже средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием, либо характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего

строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого и прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Запасы месторождений этой группы разведываются преимущественно по категории C_2 .

Месторождения угля и горючих сланцев подразделяются на три группы.

Месторождения нефти и газа подразделяются на простые (выдержанная мощность и коллекторские свойства продуктивных пластов), сложные (невыдержанная мощность и коллекторские свойства продуктивных пластов), очень сложные (литологические замещения, разрывные нарушения, невыдержанная мощность и коллекторские свойства продуктивных пластов),

При отнесении месторождений к той или иной группе используются также количественные показатели оценки изменчивости основных свойств продуктивных тел, например по коэффициентам вариации их мощности и содержаний полезных компонентов.

8.2 Классификация запасов полезных ископаемых по степени разведанности

Основным продуктом поисковых и разведочных работ являются прогнозные ресурсы и запасы полезных ископаемых. Подсчёт запасов полезных ископаемых осуществляется недропользователями по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ. Подсчёту подлежат запасы, залегающие в природных условиях, без учёта потерь и разубоживания при их добыче. Такие запасы называются *геологическими*. Наряду с основными компонентами подсчитываются попутные полезные компоненты, если их извлечение технически возможно, экономически целесообразно и экологически безопасно.

Прогнозные ресурсы полезного ископаемого оцениваются в пределах перспективных территорий и отдельных частей месторождений по благоприятным геологическим предпосылкам, выявленным в процессе регионального геологического картирования, результатам поисков и методом законтурной экстраполяции запасов на флангах и глубину, а также по аналогии с разведанными месторождениями.

Классификации запасов и прогнозных ресурсов предусматривают оценку степени изученности, разведанности запасов, сложность геологического строения и их экономического значения.

По степени изученности месторождения подразделяются на *оцененные* и *разведанные*. К первой относятся объекты с параметрами, позволяющими принять решение о целесообразности или нецелесообразности проведения разведочных работ. Разведанные запасы предполагают проходку горных выработок и скважин, а также получение такой полноты параметров (горнотехнические, гидрогеологические условия, качество, технологические свойства полезного ископаемого), которые позволяют выполнить технико-экономическое обоснование их промышленного освоения.

Все работы по геологическому изучению недр подлежат государственной регистрации. Разведанные запасы подлежат рассмотрению и утверждению в Государственной комиссии по запасам полезного ископаемого, а строительные материалы и местное минеральное сырьё — в территориальных комиссиях по запасам министерств или ведомств (ГКЗ).

Государственный учет запасов производится геологическим Фондом. С этой целью составляется кадастр месторождений (приводятся сведения о количестве и качестве полезного ископаемого, об условиях отработки), а по каждому виду минерального сырья — ежегодные сводные балансы (запасы, утвержденные в ГКЗ, и сведения о добыче и потерях минерального сырья в недрах).

Запасы твёрдых полезных ископаемых по степени их разведанности подразделяются на категории А, В, С₁ и С₂. Первые три называются разведанными, а категория С₂ — предварительно оцененной. Отнесение запасов к той или иной категории определяется условиями и требованиями действующей "Инструкции по классификации запасов", которые утверждает Государственная комиссия по запасам (ГКЗ). Прогнозные ресурсы твёрдых полезных ископаемых подразделяются по степени их обоснования на категории Р₁, Р₂ и Р₃.

Категория А — детальное и полное выяснение условий залегания, размеров, формы и строения тел, природных типов и промышленных сортов минерального сырья, выделение безрудных и некондиционных участков внутри тел, полное выяснение технологических свойств и качества.

Контур определён скважинами и горными выработками путём интерполяции данных между смежными пересечениями. Такие запасы выделяются на участках детализации месторождений первой группы сложности.

Категория В — выяснение основных особенностей условий залегания, формы и строения тел, природных типов и промышленных сортов сырья без выделения безрудных и некондиционных участков, без выяснения качества и основных технологических свойств. Контур залежи проводится по результатам опробования скважин и горных выработок или интерполяцией (для выдержанных залежей), допустимы включения ограниченных зон экстраполяции, обоснованных геологическими предпосылками, интерпретацией геофизических и геохимических данных. Выделяется на участках детализации месторождений 1-й и 2-й групп сложности геологического строения.

Категория С₁ — выяснение в общих чертах условий залегания, формы и строения тел, природных типов, сортов и технологических свойств. Основные параметры и показатели оценены предварительно. Контур проводится по результатам опробования скважин и горных выработок путем экстраполяции. Составляет основную часть запасов на месторождениях 1–3 групп сложности и участках детализации 4-й группы.

Категория С₂ — предварительно оцененные запасы, условия залегания, форма и распространение тел определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных единичными горными выработками и скважинами. Контур запасов принят в пределах геологически благоприятных структур и комплексов пород с использованием экстраполяции. Качество и технологические свойства определены по единичным лабораторным пробам, либо по аналогии с подобными месторождениями. Выделяются при разведке месторождений всех групп сложности, на месторождениях 4-й группы сложности составляют основную часть запасов.

На месторождениях первой группы в процессе разведки выявляют запасы категорий А, В и С₁. На месторождениях второй группы разведки осуществляются по категориям В и С₁. На месторождениях четвертой группы запасы подлежат разведке по категориям С₁ и С₂.

Запасы нефти, газа и конденсата подразделяются также на категории А, В, С₁ и С₂.

Категория А — запасы залежи изучены настолько, что определены их тип, форма и размеры, эффективной нефте- и газо-насыщенной толщины, типа коллектора, характера изменения коллекторских свойств, состава и свойств нефти, газа и конденсата, а также основных особенностей геологического строения залежи, определяющих условия её разработки.

Запасы рассчитываются по залежи, разбуренной в соответствии с утверждённым проектом её разработки.

Категория В — запасы залежи, установленные на основании промышленных притоков нефти или газа, полученных в скважинах на различных гипсометрических уровнях. Указанные для категории А параметры изучены так, что можно составить проект разработки залежи.

Категория С₁ — запасы залежи, установленные при разведочном и эксплуатационном бурении скважин на основании промышленных притоков нефти или газа и положительных результатов геологических и геофизических исследований в неопробованных скважинах. Изученность запасов должна быть достаточной, чтобы обеспечить получение данных для составления технологической схемы разработки месторождения нефти или проекта опытно-промышленной разработки месторождения газа.

Категория С₂ — запасы залежи, подсчётные параметры которой определены в общих чертах по результатам геологических и геофизических исследований с учётом данных по более изученной части, или по аналогии с разведанными месторождениями.

Прогнозные ресурсы — потенциальные запасы известных и предполагаемых месторождений. Их количественная оценка основывается на основании благоприятных геологических предпосылок, геофизических и геохимических данных, положительных поисковых признаков и известных закономерностях образования и размещения определённых генетических и промышленных типов аналогичных месторождений, известных в районе. Параметры оценки последних являются предположительными, устанавливаются косвенно и могут определяться без привязки к конкретным телам полезных ископаемых.

К прогнозным относятся ресурсы, использование которых целесообразно при существующей или осваиваемой прогрессивной разведочной и горнодобычной технике и технологии переработки сырья. В случае необходимости подлежат учету и некондиционные прогнозные

ресурсы, отвечающие по качеству забалансовым рудам (не разработана технология обогащения, ниже экономически обоснованной глубины (границы) рентабельности эксплуатационных работ).

Прогнозные ресурсы твёрдых полезных ископаемых подразделяются по степени их обоснованности на категории P_1 , P_2 и P_3 (табл. 15).

Ресурсы категории P_1 оценивают вероятный прирост запасов при последующей разведке путём увеличения площади и глубины их распространения за пределы внешнего контура. Ресурсы оценивают по региональным геологическим, геофизическим и геохимическим данным.

Ресурсы категории P_2 оценивают потенциальные запасы вероятных для открытия месторождений в пределах площади распространения полезного ископаемого (поля, узла). Ресурсы оценивают по региональным геологическим, геофизическим и геохимическим данным.

Ресурсы категории P_3 оценивают потенциальные запасы предполагаемых месторождений на основании благоприятных геологических предпосылок (критериев), выявленных при средне и мелкомасштабном геологическом картировании, дешифрировании космических снимков, анализе результатов геофизических и геохимических исследований.

Перспективные и прогнозные ресурсы нефти и газа подразделяются на категории C_3 , D_1 и D_2 .

Категория C_3 — перспективные ресурсы, оцененные на основании геолого-геофизических данных и сложившихся представлений о геологическом строении и нефтегазоносности изучаемой провинции, или области.

Таблица 15 — Схема классификации запасов и ресурсов для твердых полезных ископаемых

| | | | | | | |
|--|---|-------|--------------------------|--------------------|-------|-------|
| Общий минерагенический потенциал (минерально-сырьевые ресурсы) | | | | | | |
| Запасы | | | | Прогнозные ресурсы | | |
| Разведанные | | | Предварительно оцененные | | | |
| A | B | C_1 | | C_2 | P_1 | P_2 |

Категория Д₁ — прогнозные ресурсы углеводородов стратиграфо-формационных комплексов, оцениваемых в пределах региональных структур с доказанной промышленной нефтегазоносностью.

Категория Д₂ — прогнозные ресурсы, оцененные в пределах региональных структур, промышленная нефтегазоносность которых ещё не доказана.

8.3 Подготовленность разведанных месторождений для промышленного освоения

Разведанные месторождения или их участки, по которым утверждены запасы, подлежат передаче для промышленного освоения горнодобывающим министерствам и ведомствам.

Подготовленность месторождения (участка) для промышленного освоения определяется государственной комиссией по запасам. Целесообразная степень изученности угольных месторождений, подготовленных для промышленного освоения, определяется в зависимости от сложности геологического строения:

1 группа — месторождения простого строения (угольные пласты с ненарушенным или слабонарушенным залеганием, выдержанная мощность, строение и качество), (50 % запасов должны быть разведаны по категории А+В, в т. ч. не менее 20 % по А);

2 группа — месторождения сложного строения (изменчивая мощность и строение, невыдержанное качество или очень сложные горно-геологические условия разработки), запасы по категории А не оцениваются из-за высокой стоимости геолого-разведочных работ, запасы по категории В — 50 % и по категории С₁ — 50 %.

3 группа — месторождения очень сложного строения, выявление запасов по категориям А и В нецелесообразно, запасы разведываются по категории С₁.

На месторождениях четвёртой группы запасы подлежат разведке по категориям С₁ и С₂.

На разведанных и разрабатываемых месторождениях соотношение балансовых запасов различных категорий, используемых при проектировании, реконструкции предприятия по их добыче или дальней-

шем развитии горно-эксплуатационных работ, устанавливается недропользователем (табл. 16).

Таблица 16 — Требуемое соотношение различных категорий балансовых запасов, используемых при проектировании предприятий по их добыче

| Категория запасов | Металлические и неметаллические полезные ископаемые | | | | Угли и горючие сланцы | | |
|-------------------|---|----|----|-------|-----------------------|----|-----|
| | Группы | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| A+B | 30 | 20 | - | - | 50 | 50 | - |
| В том числе: | | | | | | | |
| A не менее | 10 | - | - | - | 20 | - | - |
| C ₁ | 70 | 80 | 80 | 20-50 | 50 | 50 | 100 |
| C ₂ | - | - | 20 | 80-50 | - | - | - |

8.4 Подсчет запасов полезного ископаемого

Основным продуктом поисковых и разведочных работ являются прогнозные ресурсы и запасы полезных ископаемых.

Запасы полезного ископаемого определяются по формуле:

$$P = S m d c,$$

где P — запасы, т, S — площадь тела, m^2 ; d — объемный вес, t/m^3 ; m — мощность тела, м; c — среднее содержание полезного компонента, %.

Таким образом, подсчёту запасов предшествуют:

- 1) вычисление или измерение на плане площади тела или площади поперечных сечений тела S ;
- 2) вычисление средней мощности тела или среднего расстояния между параллельными разведочными сечениями тела m ;
- 3) вычисление средней объёмной массы полезного ископаемого d ;
- 4) вычисление среднего содержания полезного компонента c .

Площади возникают в результате оконтуривания тел полезных ископаемых на топографических и маркшейдерских планах, вертикальных или горизонтальных проекциях. Проекция тел полезных ископаемых на горизонтальную плоскость осуществляется при их пологом залегании, а на вертикальную — при крутом падении.

Площадь тела (S) измеряется планиметром, курвиметром или палеткой, а в случае разбивки на простые геометрические фигуры — известным математическим выражениям. Обычно измерения площадей проводятся несколько раз, в подсчёте запасов участвуют средние их оценки, при условии, что частные замеры расходятся не более, чем на 3-5 %. Наиболее простым и надёжным является метод палетки.

Мощность тел полезных ископаемых (m) определяется по материалам опробования и геологической документации горных выработок и скважин, данных их каротажа. Пересечённые разведочной скважиной интервалы продуктивной залежи (по керну или каротажу) позволяют получить наблюдаемые мощности, которые пересчитываются в истинные мощности при помощи тригонометрических формул:

$$m_{и} = m_{г} \sin \alpha; m_{и} = m_{в} \cos \alpha; m_{и} = m_{скв} \cos(\alpha - \beta) \cos \gamma,$$

где α — угол падения залежи, β — зенитный угол наклона скважины в месте пересечения залежи; γ — угол между азимутальным направлением скважины и азимутом падения залежи.

Средняя мощность залежи определяется как среднее арифметическое значение частных замеров мощностей по сквозным сечениям залежи, если точки замеров распределены равномерно. При закономерном изменении мощности пласта в определённом направлении и неравномерном распределении точек замеров мощность может определяться как средневзвешенное по площади или на длину влияния частных замеров.

Средняя плотность полезного ископаемого определяется непосредственно на месте, путём выемки определённого объёма горной массы и последующего её взвешивания, а также по результатам испытаний лабораторных проб. При этом вводится поправка на естественную влажность. Каждая проба представляет собой штуф (образец) с естественной влажностью, пористостью, кавернозностью и трещиноватостью.

Средняя плотность (d) штуфа вычисляется как отношение его массы в воздухе к разности масс в воздухе и воде. Пористые и трещиноватые штуфы предварительно опускают в расплавленный парафин.

Естественная влажность (w, %) определяется как отношение потери массы образца в результате высушивания к массе влажного образца.

И тогда средняя плотность образца с учётом поправки за влажность определяется по формуле:

$$d_{\text{сух}} = d_{\text{вл}}(100-w)/100$$

Аналитические исследования проводятся с предварительно высушенными навесками, содержание полезного компонента даётся на воздушно-сухую массу.

Содержание полезного компонента (с) является качественной характеристикой, может приводиться на химические элементы, оксиды элементов, в процентах и массовых единицах на 1 т или 1 м³ руды или песков.

В разведочной практике применяют два способа подсчёта средних величин m , d и c : методом *среднего арифметического* и *среднего взвешенного*. Метод среднего взвешенного предпочтителен в случае, если форма полезного ископаемого невыдержанная, а измеренные мощности сильно колеблются (при расчёте средней мощности и средней плотности).

При неравномерной разведочной сети и при значительных колебаниях объёмной массы следует взвешивать как на мощность, так и на площади влияния.

Среднее содержание полезного компонента обычно вычисляют как средневзвешенное по мощности и объёмной массе. Лучшим считается способ, дающий наименьшую дисперсию средних содержаний.

В случае, когда отсутствует корреляционная зависимость между содержанием и каким-либо другим параметром (мощностью, объёмной массой, площадью или длиной влияния пробы) используют среднеарифметическую формулу. В случае присутствия «ураганных» проб, превышающих средние содержания по разведочному пересечению более чем на 20 %, а по подсчётному блоку более чем на 10 %, то такие пробы исключают из подсчёта запасов, а вместо них принимают пробы с наиболее высоким содержанием из числа рядовых проб по данному разведочному пересечению или блоку соответственно.

При подсчёте запасов иногда вводятся поправочные коэффициенты, которые существенно изменяют представления о качестве и количестве полезного ископаемого. На разведочных стадиях обычно определяют линейный коэффициент рудоносности.

Из существующих *методов подсчета запасов* наиболее распространены методы блоков и разрезов. Другие методы подсчёта оказались не адекватными применяемым системам разведки.

Реже используется статистический метод. В последние годы распространение получил компьютерный метод подсчёта запасов с использованием блочных моделей. Точность и достоверность посчитанных запасов определяются геологической изученностью и фактическими данными разведки, в меньшей степени зависят от применяемых методов подсчёта запасов. Способ блоков осуществляется методами среднего арифметического, геологических блоков и эксплуатационных блоков. Способ разрезов реализуется методами вертикальных, горизонтальных разрезов, а также линейным методом.

Метод среднего арифметического является упрощенным приёмом и применяется на ранних стадиях геологоразведочных работ (предварительно оцененных запасов) для ориентировочных оценок запасов. Средняя мощность тела, среднее содержание и среднее значение объемного веса получают как среднеарифметическое по всем выработкам. Этот метод не позволяет получить данные о распределении сортов полезного ископаемого, применяется при равномерном распределении выработок и скважин. Запасы подсчитываются по формулам:

$$V = Sm; Q = Vd; P = Q c/100,$$

где V — объём залежи, m^3 ; S — площадь залежи на проекции, m^2 ; m — средняя мощность залежи, m ; Q — запасы полезного ископаемого, t ; d — объёмная масса, t/m^3 ; c — среднее содержание полезного компонента в залежи, %; P — запасы полезного компонента, t .

Метод геологических блоков — ведущий при подсчёте запасов полезных ископаемых и единственный при подсчёте угля. Этот метод является универсальным для подсчёта запасов плоских тел полезных ископаемых, разведанных как по геометрически правильной, так и неправильной сети. Выделение и оконтуривание подсчётных блоков осуществляется по степени разведанности и близким значениям ведущих геолого-промышленных параметров (мощности, содержанию полезных компонентов, условиям залегания) и технологическим свойствам. Истинная форма блока заменяется формой плоского параллелепипеда,

площадь основания которого равна площади блока, а высота — средней мощности залежи. Если исходные данные по разведочному пересечению существенно различаются, то запасы считаются с определением среднего взвешенного. Запасы каждого блока подсчитываются по формулам, принятых при подсчёте запасов методом среднего арифметического. Общие запасы полезного ископаемого подсчитываются суммированием запасов по всем блокам.

Метод эксплуатационных блоков применяется по данным разведочных горных выработок и буровых скважин. Эксплуатационные блоки оконтурены горными выработками с двух, трёх, четырёх сторон, а также детально опробованные. Оконтуривание и подсчёт запасов проводится по каждому блоку, аналогично методу геологических блоков.

Графические построения сводятся к составлению продольных проекций залежей. Запасы полезного ископаемого подсчитываются, как произведение его площади, средней мощности и средней объёмной массы. Для подсчёта запасов полезного компонента запасы полезного ископаемого умножают на среднеблочное содержание полезного компонента.

Площадь тела разделяется на части по сортам, типам или степени разведанности. В каждом блоке подсчёт выполняется способом среднего арифметического.

Метод широко применяется при подсчёте запасов плоских тел.

Метод многоугольника (ближайшего района) основан на том, что вокруг каждого пункта пересечения тела полезного ископаемого горной выработкой или скважиной участка, все точки которого ближе к этой выработке, чем к любой соседней. При этом на плане подсчёта запасов каждую выработку соединяют с соседними прямыми линиями, каждая из которых затем делится пополам перпендикуляром к ней. Пересекающиеся перпендикуляры замыкают вокруг каждой выработки многоугольник, на который распространяются данные, полученные по этой выработке. В результате подсчётный план расчленяется на систему многоугольников, а тело полезного ископаемого — на группу сомкнутых многогранных призм, основанием которых служат построенные многоугольники, а высотой является мощность тела по выработке, расположенной в центре многоугольника. Запасы полезного ископаемого

вычисляются в каждой призме на основании данных одного разведочного пересечения, суммирование запасов всех призм определяет общие запасы тела полезного ископаемого.

Метод изолиний основан на преобразовании тела полезного ископаемого в равновеликое тело, ограниченное с одной стороны плоскостью, а с другой — топографической поверхностью (системой замкнутых изолиний равной высоты). Объем такого тела вычисляют по известным формулам определения объема, ограниченного топографической поверхностью. При этом на подсчетных планах возле каждой выработки, пересекающей залежь, выписывается её мощность, после чего методом интерполяции проводятся изолинии мощности. Объем тела, ограниченного топографической поверхностью определяют формулами приближенного интегрирования, усеченного конуса, или трапеций соответственно:

$$1. V = h/3[(S_0+S_n)+4(S_1+S_3+S_5+\dots)+2(S_2+S_4+S_6+\dots)]\pm 1/3\sum S_m h;$$

$$2. V = h/3\sum(S_{n-1}+S_n+\sqrt{S_{n-1}S_n}) \pm 1/3\sum S_m h;$$

$$3. V = h(S_m/2+S_1+S_2+\dots+S_{n-1}+S_n/2) \pm \sum S_m h.$$

Во всех формулах: V — объем тела, ограниченного системой изолиний разных высот; h — расстояние между сечениями; S_0 — площадь, ограниченная нулевой изолинией; S_1, S_2 — площади, ограниченные соответствующими изолиниями; S_m — площадь конечных впадин и выступов. Площади впадин берутся со знаком «минус», а площади выступов со знаком «плюс».

Метод разрезов является основным способом, наиболее полно учитывающим геологические особенности тела полезного ископаемого. Тело разбивается на блоки разведочными линиями, на основании которых можно построить вертикальные геологические разрезы или погоризонтные планы. Заключенная между смежными разрезами часть тела полезного ископаемого представляет собой призму, объем которой определяется по формуле: $V=(S_1+S_2)/2 \cdot l$, где S_1 и S_2 — площади смежных сечений; l — длина между ними, или усеченную пирамиду с объемом $V= (S_1+S_2+\sqrt{S_1S_2}/3) l$. Эта часть тела может рассматриваться в качестве одного блока или разделяться на несколько блоков, отличных друг от друга вещественным составом полезного ископаемого, степенью разведанности и т. п.

Вначале подсчитывают запасы вдоль разведочной линии, мощность которой принимается за 1 м, а площадь измеряется планиметром или палеткой. Запасы между двумя параллельными сечениями представляют собой произведение полусуммы запасов, заключенных между ними, на расстоянии между сечениями: $P_{1-2} = \frac{P_1 + P_2}{2} r$, где P_{1-2} — запасы между сечениями 1-2; P_1, P_2 — запасы по 1 и 2 сечениям; r — расстояние между сечениями.

Запасы подсчитываются отдельно в каждом блоке, а затем суммируются. В случае если разрезы не параллельны, вводятся поправки за непараллельность разрезов.

В зависимости от характера выклинивания крайних блоков, которые опираются лишь одной стороной на разведочный разрез, объём их вычисляется по формуле пирамиды, конуса или клина.

Метод широко применяется для подсчёта запасов изометричных, трубообразных и сложных по форме тел полезных ископаемых.

Линейный метод — разновидность способа разрезов, применяется на россыпных месторождениях. Различают две разновидности, опирающиеся соответственно на одну и две линии. Последний вариант на россыпях применяется чаще.

Статистический метод применяется на месторождениях с неравномерным (гнездовым) распределением ценных компонентов, если обычные способы опробования и подсчёта запасов неприемлимы. Это относится в основном к месторождениям 4-й группы, когда совмещаются разведочные и эксплуатационные работы.

По результатам разведочно-эксплуатационных работ определяется среднее количество добытого полезного ископаемого с единицы площади, или объёма залежи. Выход полезного компонента характеризует продуктивность изученного участка. Для подсчёта запасов преимущественно по категории C_2 среднюю величину продуктивности распространяют на всю потенциальную рудоносную площадь или объём. При подсчёте запасов статистическим способом определяются извлекаемые запасы полезного ископаемого. Для оценки запасов в недрах необходимо к извлекаемым запасам прибавить запасы, заключённые в виде потерь, которые определяются эксплуатационным путём. Способ

эффективен для малых скоплений ценных компонентов, изолированных друг от друга, таких как хрусталеносные гнёзда пьезокварца, а также при подсчёте запасов отдельных сортов и типов руд и оценке прогнозных ресурсов категории Р₁.

Объёмный метод применяется на месторождениях нефти и газа. В первом случае определяется масса нефти в насыщенном объёме пород-коллекторов, приведённая к стандартным условиям. **Запасы нефти** при этом рассчитываются по формуле:

$$Q_в = F h m_o \beta_n \eta_n \theta \rho,$$

где $Q_в$ — добычные запасы нефти, тыс. т;
 F — площадь нефтеносности, тыс. м²;
 h — средняя эффективная нефтенасыщенная мощность пласта, м;
 m_o — средний коэффициент открытой пористости, долях ед.;
 β_n — средний коэффициент нефтенасыщенности, долях ед.;
 η_n — коэффициент нефтеотдачи, долях ед.;
 $\theta = 0,3$ — средний перерасчётный коэффициент, долях ед.;
 ρ — средняя плотность нефти на поверхности после её дегазации, т/м³.

Значения подсчётных параметров m_o, β_n, θ округляем до сотых частей единицы, а параметров η_n и ρ — до тысячных.

Площадь нефтеносности определяют при помощи планиметра на подсчётных планах, которые представляют собой структурные карты кровли (почвы) продуктивного пласта с нанесёнными на них всеми пробуренными скважинами, контурами нефтеносности и границами категорий запасов. Средние значения подсчётных параметров определяются как среднеарифметические, средневзвешенные по площади, или объёмом залежи.

При помощи объёмного метода определяется объём **свободного газа**, который заполняет пустоты пластов-коллекторов в пределах залежи и приведённый к стандартным условиям. Расчёты ведутся по формуле

$$V_в = F h m \beta_г \eta_г f(P_o a_o - P_k a_k) / P_{ст},$$

где $V_в$ — добычные запасы газа, млн. м³; F — площадь газоносности, тыс. м²; h — средняя эффективная газонасыщенная мощность пласта, м; $m, \beta_г$ — средние коэффициенты пористости и газонасыщенности,

долях ед.; η_z — коэффициент газоотдачи, долях ед.; f — температурная поправка, долях ед.,

$$f = (273^{\circ} + 20^{\circ}) / (273^{\circ} + t_{nn}),$$

где P_k — давление в конце разработки, мПа,

$$P_k = 0,1e^{1239 \cdot 10^{-9} H \rho_z},$$

где H — глубина на уровне центра тяжести залежи, см; ρ_z — относительная плотность газа по воздуху; a_o, a_k — поправочные коэффициенты на сжимаемость газа при давлении P_o и P_k ; $a = 1/z$; $P_{cm} = 0,1$ мПа.

Параметры F, h, m, β_z определяются, как и при объёмном методе расчёта запасов нефти.

Контрольные вопросы

1. Как группируются месторождения по сложности геологического строения?
2. Определение каких параметров предшествует подсчёту запасов?
3. Как измеряется площадь тела полезного ископаемого для подсчёта запасов?
4. Как определяется мощность тел полезных ископаемых?
5. Какие способы подсчёта средних исходных величин для подсчёта запасов используются в разведочной практике?
6. Какие методы подсчёта запасов наиболее распространены?
7. Охарактеризуйте метод среднего арифметического и метод многоугольника подсчёта запасов.
8. В чём состоит метод изолиний подсчёта запасов?
9. В каких случаях применяется метод разрезов подсчёта запасов?
10. Формулы объёма каких фигур используются при подсчёте запасов методов разрезов?
11. На каких месторождениях применяется линейный способ подсчёта запасов?
12. На каких месторождениях применяется статистический способ подсчёта запасов?
13. В чём состоит объёмный метод подсчёта запасов?
14. Как подразделяются запасы по степени разведанности?

15. Как подразделяются месторождения по степени изученности?
16. В чём состоит государственный учёт запасов?
17. Запасы каких категорий относятся к разведанным и предварительно оцененным?
18. Запасы каких категорий относятся к прогнозным ресурсам?
19. Укажите особенности выделения категорий запасов для месторождений нефти, газа и конденсата.
20. На основании каких исследований подсчитываются прогнозные ресурсы?
21. Как классифицируются прогнозные ресурсы?
22. В чём состоит геолого-промышленная оценка месторождений?

9 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

9.1 Обоснование кондиций в условиях разрабатываемых месторождений

В процессе разработки месторождения:

- 1) производится пересчёт запасов и учет их движения по результатам разведочных и эксплуатационных работ;
- 2) оценка промышленной значимости обнаруженных новых тел;
- 3) пересмотр кондиций.

Если в процессе эксплуатационной разведки выявленные запасы превышают ранее разведанные более чем на 50 % или не подтверждаются на 20 %, производится полный пересчёт запасов и переутверждение их в ГКЗ.

Для месторождения устанавливаются свои кондиции, которые представляют собой технические и экономические обоснованные предельные требования горной промышленности к качеству, количеству и горно-геологическим параметрам месторождения, при которых обеспечиваются оптимальные варианты оконтуривания, подсчёта запасов и разработки. Главными показателями кондиций является минимальное промышленное содержание или предельное содержание ценного компонента, при котором промышленное использование полезного ископаемого еще экономически целесообразно, бортовое содержание (такое содержание компонентов в пробе, при котором оно еще может быть включено в промышленный контур), минимальная промышленная мощность (по разведочному пересечению), максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных участков, максимальное содержание вредных примесей, перечень подлежащих учёту сопутствующих компонентов.

9.2 Классификация промышленных запасов

Запасы полезных ископаемых подсчитываются в недрах в соответствии с экономически обоснованными параметрами кондиций, подтверждёнными государственной экспертизой, без введения поправок на потери и разубоживание при добыче, обогащении и переработке концентратов.

Раздельному государственному учёту подлежат запасы полезных ископаемых разрабатываемых, вводимых в эксплуатацию, намечаемых к разработке и разведываемых месторождений и запасы резервных разведанных и резервных оцененных месторождений.

Разведанные запасы твёрдых полезных ископаемых по экономическому значению подразделяются на *балансовые* и *забалансовые*.

К *балансовым (экономическим) запасам* относятся такие, разработка которых экономически целесообразна при существующей технике и технологии добычи и переработки минерального сырья с соблюдением требований законодательных актов по рациональному использованию недр и охране окружающей среды. В эту группу включают запасы категорий А, В, С₁ и С₂.

Забалансовые (потенциально экономические) запасы на момент оценки не могут быть использованы по технологическим, горнотехническим, правовым, экологическим условиям, либо характеризуются низким качеством, но в будущем могут стать экономически эффективными при благоприятной рыночной конъюнктуре или при значительном снижении эксплуатационных производственных затрат на их добычу и переработку, обусловленном техническим прогрессом.

Забалансовые запасы подсчитываются при экономической целесообразности их сохранения в недрах для последующего их извлечения, либо попутного извлечения, складирования и сохранения для использования в будущем. При подсчёте забалансовых запасов производится их подразделение в зависимости от причин отнесения к забалансовым (экономических, технологических, горно-технических, экологических и т. п.).

Оценка балансовой принадлежности запасов осуществляется на основании технико-экономических обоснований (ТЭО), подтверждённых государственной экспертизой. ТЭО предусматривает наиболее эффективные способы разработки месторождений, их стоимостную оценку, содержит параметры кондиций, обеспечивающие максимально полное и комплексное использование запасов с учётом природоохранного законодательства.

Промышленными запасами являются часть балансовых, которые подлежат извлечению из недр. Они равны балансовым за вычетом проектных потерь и запасов, нецелесообразных для отработки по технико-

экономическим причинам. Проектные потери складываются из общешахтных (целики под охраняемыми объектами, барьерные целики и целики для охраны капитальных выработок) и эксплуатационные (целики, обусловленные системой разработки и технологией горных работ).

Подготовленные запасы подразделяются на вскрытые, подготовленные и готовые к выемке. *Вскрытые запасы* — для разработки подземным способом дополнительные капитальные горные выработки не требуются. Они подсечены (вскрыты) шахтными стволами, штольнями, капитальными квершлагами и т. д. *Подготовленные запасы* — часть вскрытых, которые подсечены основными подготовительными выработками. *Готовые к выемке* — такие запасы, к которым выполнены все требующиеся подготовительные и нарезные работы, а также закончены работы по оборудованию очистных забоев. При эксплуатации промышленные запасы переходят в разряд *погашенных*. Они имеют разные формы: отбитая (в забое), добытая (в транспортной системе), складированная и отгруженная (товарная).

9.3 Потери и разубоживание полезных ископаемых

Запасы полезных ископаемых, оцененные в процессе детальной разведки, не могут быть полностью отработаны. Разница между количеством подсчитанных и извлеченных запасов образует потери. *Коэффициент потерь при добыче* — отношение количества потерянных и погашенных балансовых запасов.

Разубоживание (потеря качества) — снижение содержания полезного компонента в добытом полезном ископаемом по сравнению с содержанием его в массиве (примешивание пустых пород или некондиционных тел). Количественные потери качества выражаются коэффициентами разубоживания.

При разработке подземным способом фактические потери угля составляют 25–35 %, разубоживание 18–30 %.

В настоящее время наряду с потерями и разубоживанием используют показатели полноты и качества извлечения полезного ископаемого. *Коэффициент извлечения количества полезного ископаемого* — отношение количества добытого сырья к количеству погашенных запасов, а *коэффициент изменения качества* — отношение среднего содержания

полезного компонента в тех же объёмах. Различают потери в массиве (целики, остатки на контакте тела с вмещающими породами, на флангах, на участках выклинивания и др.) и в отбитой массе (смешивание сырья с вмещающими породами, обрушенными породами, оставление в забое, в местах погрузки и разгрузки и др.). Разубоживание сырья может быть первичным (прирезка вмещающих пород, разработка породных прослоев и др.) и вторичным (отслоение пород в висячем блоке и т. д.).

Определение коэффициентов извлечения и потерь изложены в соответствующих инструкциях и подразделяются на прямые и косвенные методы. При *прямых методах* потери определяются по замерам в натуре или на геолого-маркшейдерском плане при оконтуривании и опробовании пласта на стадии эксплуатационной разведки и после окончания очистных работ. *Косвенные методы* оценки потерь и разубоживания основаны на сопоставлении количества полезного ископаемого в погашенных запасах и его количеству в добытой массе. Окончательные величины потерь и разубоживания можно получить после отработки блока.

На каждом предприятии существуют свои нормированные потери и разубоживание. Они устанавливаются проектом предприятия. Контроль за соблюдением установленных нормативов потерь и разубоживания возлагается на геологическую и маркшейдерскую службы, ОТК предприятия.

9.4 Учет состояния и движения запасов. Государственный кадастр и баланс

Для обеспечения рационального использования недр постоянно ведётся учёт потерь и разубоживания полезного ископаемого с группировкой потерь по месту их образования, определяются показатели извлечения количества полезного ископаемого и изменения его качества. Достоверность учёта полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр подлежит проверке со стороны органов государственного геологического контроля и государственного горного надзора.

Запасы полезных ископаемых подлежат государственному и текущему учёту. Государственным учётом предусматривается составление их ежегодных балансов, используемых при перспективном планировании.

Движением запасов называется изменение их количества в результате добычи, разведки, переоценки и другим причинам за определенный период. В процессе эксплуатации кроме погашения запасы подвергаются таким изменениям: приращение, перевод в более высокую категорию (из C_1 в А или В), списанию с переводом в забалансовые, снятие с баланса и передача другому предприятию, постановка на баланс и др. Причинами изменения запасов могут быть разведка, переоценка, неподтверждение, изменение технических границ, добыча, потери и др.

Порядок ведения ежегодного учёта движения разведанных запасов, их погашения, списания не подтвердившихся запасов, потерь и разубоживания определяется специальными формами, заполнение которых обязательно для геологоразведочных организаций и горнодобывающих предприятий и выполняется на основе текущего учёта.

Текущий (геолого-маркшейдерский) учёт состояния и движения разведанных запасов эксплуатируемых месторождений заключается в подготовке исходных материалов для текущего и оперативного планирования горнопроходческих и добычных работ. Он составляется по данным доразведки и эксплуатационной разведки, месячных замеров выполненных горных работ, эксплуатационного и товарного опробования, технологического и товарного балансов.

Сопоставление баланса запасов, погашенных в недрах, с учётом потерь и разубоживания, к товарному балансу запасов служит контролем за ведением горных работ.

Показатели полноты и качества выемки полезных ископаемых предусматриваются в перспективных, текущих и оперативных планах объёма добычи минерального сырья. При перспективном планировании по данным детальной разведки определяют объёмы добычи сырья с заданными качественными показателями по годам. Текущее планирование, охватывающее годовой, квартальный и месячный объёмы, выполняется по результатам эксплуатационной разведки и эксплуатационного опробования. Оперативное планирование позволяет непосредственно влиять на ведение горных работ в течение декады, суток и смены, выполняется на основе эксплуатационной разведки. Использование данных эксплуатационного опробования позволяет снижать уровень потерь и разубоживания, эффек-

тивно управлять качеством полезного ископаемого, повышать достоверность учёта его добычи, движения и списания запасов.

Учет состояния и движения запасов является основой государственных кадастров месторождений полезных ископаемых и государственных балансов запасов полезных ископаемых.

Государственный кадастр содержит сведения по каждому месторождению, характеризующие количество и качество запасов, горно-геологические условия разработки, геолого-экономическую оценку. Кадастр ведется организациями, входящими в систему Министерства геологии. Кадастр составляется (пополняется) на 1 января каждого года. В него вносятся данные по минерально-сырьевой базе предприятия, степени разведанности и подготовленности месторождения, обеспеченности предприятия разведанными запасами. Учет запасов начинается с момента передачи месторождения в эксплуатацию.

Государственный баланс запасов составляется горными предприятиями по всему месторождению и по каждому виду полезного ископаемого. В балансе указывается общая добыча сырья. В случае уменьшения учтенных балансовых запасов происходит их списание, контроль за которым осуществляется органами Госгортехнадзора. Списанию подлежат запасы: добытые, потерянные при добыче, переданные в использование другим предприятиям, несоответствующие вновь установленным кондициям, нецелесообразные к отработке по технико-экономическим причинам и др.

Важным элементом учета состояния и движения запасов и деятельности всей геологической службы горного предприятия является организация комплексного изучения и рационального использования минерального сырья. При геологической изученности недр ставится вопрос об определении количества и качества основного сырья и попутных компонентов. При разработке месторождение должно быть обеспечено применение наиболее рациональных и эффективных методов добычи как основных, так и сопутствующих видов сырья, их сохранность и учёт, если они используются, а также утилизация вскрышных пород и отходов производства. Возможность комплексного использования минерального сырья определяется геологическим (наличие попутных компонентов) и экономическим (целесообразность извлечения и использования) факторами.

Контрольные вопросы

1. Какая степень изученности угольных месторождений необходима для месторождений первой и второй групп сложности геологического строения?
2. Какая степень изученности угольных месторождений необходима для месторождений третьей и четвёртой групп сложности геологического строения?
3. Как устанавливаются кондиции для месторождений и какие показатели кондиций вы знаете?
4. Что такое балансовые запасы?
5. Что такое забалансовые запасы?
6. В каких случаях подсчитывают забалансовые запасы?
7. На основании какого документа выполняется оценка балансовой принадлежности запасов?
8. Какие запасы называют промышленными?
9. На какие группы подразделяются подготовленные запасы?
10. Как определяется коэффициент потерь при добыче полезных ископаемых?
11. Что понимается под разубоживанием полезных ископаемых.
12. Как определяется коэффициент извлечения и коэффициент изменения качества?
13. Какие виды потерь полезных ископаемых бывают?
14. Раскройте прямые и косвенные методы оценки потерь и разубоживания полезных ископаемых.
15. Какие службы контролируют соблюдение установленных нормативов потерь и разубоживания?
16. С какой целью ведётся постоянный учёт потерь и разубоживания полезного ископаемого?
17. Составление какой документации предусматривает государственный учёт запасов полезных ископаемых?
18. Что понимается под движением запасов?
19. Какие причины вызывают изменения запасов на горнодобывающих предприятиях?
20. Какие причины могут вызвать изменения запасов?

21. Что включает в себя текущий учёт состояния и движения запасов?
22. Как можно проконтролировать ведение горных работ?
23. Как осуществляется перспективное и текущее планирование добычи полезных ископаемых?
24. Какую информацию содержит государственный кадастр месторождения?
25. Какую информацию содержит государственный баланс месторождения?
26. Какие запасы подлежат списанию?
27. В чём состоит комплексное изучение и рациональное использования минерального сырья на горнодобывающих предприятиях?

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков В.П. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых / В.П.Бирюков, С.Н. Куличихин, Н.Н Трофимов. — М. : Недра, 1978. — 348 с.
2. Вахромеев С.А. Месторождения полезных ископаемых, их классификация и условия образования / С.А. Вахромеев. — 2-е изд. перераб. — М. : Недра, 1979. — 288 с.
3. Горовой А.Ф. Основы геологии твёрдых горючих полезных ископаемых / А.Ф. Горовой. — К. : УМК ВО, 1992 — 120 с.
4. Горовой А.Ф. Геологія та розвідка вугільних родовищ : навч. посібник / А.Ф. Горовой, В.В Кирюков, А.М. Брижаньов. — К. : ІСДО, 1994. — 232 с.
5. Ермолов В.А. Месторождения полезных ископаемых : учебник для вузов / В.А. Ермолов, Г.В. Попов, В.В. Мосейкин. — М. : МГУ, 2001. — 570 с.
6. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ / А.Б. Каждан. — М. : Недра, 1985.
7. Короновский Н.В. Геология для горного дела : учебное пособие / Н.В. Короновский, В.И. Старостин, В.В. Авдонин. — М. : Академия, 2007. — 576 с.
8. Милютин А.Г. Геология : учебник для вузов. — М. : Высшая школа, 2004. — 413с.
9. Нагорний Ю.М., Нагорний В.М., Приходченко В.Ф. Геологія вугільних родовищ : Навч. посібник. — Дніпропетровськ : НГУ, 2005. — 338 с.
10. Хрусталёва Г.К., Труфанов В.Н. Геология и промышленные типы месторождений твёрдых горючих ископаемых : Учебник. — Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2007. — 240 с.
11. Шпайхер Е.Д., Салихов В.А. Месторождения полезных ископаемых и их разведка : Учебное пособие. — 2-е изд., перераб. — Новокузнецк : СибГИУ, 2002. — 239 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Горовой Анатолий Федорович
Шубин Юрий Павлович

**ГЕОЛОГИЯ:
РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие

В авторской редакции

Художественное оформление обложки

Н. В. Чернышова

Заказ № 150. Формат 60x84¹/₁₆.

Бумага офс. Печать RISO.

Усл. печат. л. 8,7 Уч.-изд. л. 7,5 Издательство не
несет ответственность за содержание материала,
предоставленного автором к печати.

Издатель и изготовитель:

ГОУВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет»
пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР, 94204
(ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ ЦЕНТР, ауд. 2113, т/факс 2-58-59)

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя
и распространителя средства массовой информации

МИ-СГР ИД 000055 от 05.02.2016.