МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

РУКОВОДСТВО

ПО ИЗУЧЕНИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Раздел А

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Ленинград 1967

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

РУКОВОДСТВО

ПО ИЗУЧЕНИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Раздел А

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Ленинград 1967

П Р Е Д И С Л О В И Е

"Руководство по изучению геологического строения шахтных полей при подземной разработке угольных месторождений" составлено лабораторией шахтной геологии и геометризации недр ВНИМИ в результате проведения работ по теме: "Усовершенствование методики геологической документации горных выработок при разработке месторождений углей подземным и открытым способами". В 1968 г. будет издано аналогичное руководство по угольным карьерам.

"Руководство составлено с учетом требований "Временной инструкции по геологическому обслуживанию горных предприятий, разрабатывающих месторождения угля и горючих сланцев" и содержит два раздела: раздел А "Характеристика геологических факторов, влияющих на эксплуатацию" и раздел Б "Методика изучения геологических и горно-геологических факторов". Оно предназначено для геологов, ведущих геологическое обслуживание строящихся и действующих шахт.

В разделе А содержатся основные понятия о геологических явлениях, изучением которых повседневно занимаются шахтные геологи (состав и свойства углей и вмещающих пород; морфология угольных пластов; складчатые и разрывные нарушения; трещиноватость; качество углей; гидрогеологические условия; газоносность). В связи с отсутствием в учебных заведениях специальности и курса "шахтная геология" содержание этого раздела особенно полезно для геологов, имеющих небольшой стаж работы на угольных предприятиях.

В разделе Б даются рекомендации по геологической документации горных выработок и скважин, по методике изучения основных геологических и горно-геологических факторов, существенно влияющих на ведение горных работ, а также по методике построения сводных шахтно-геологических материалов.

В это "Руководство" не включены такие виды шахтно-геологических работ как подсчет запасов, учет потерь угля, методика эксплуатационной разведки, гидрогеологические работы на сильно обводнённых шахтных полях и т.п.

"Руководство" составлено на основании анализа и обобщения опыта работы шахтно-геологической службы в Кузнецком, Донецком, Челябинском, Кизеловском, Карагандинском, Печорском, Сучанском и Подмосковном бассейнах, а также с использованием источников, указанных в списке литературы. В работе широко использованы материалы по геологической документации горных выработок, составленные шахтными геологами указанных бассейнов и авторами данного "Руководства".

В окончательной редакции учтены замечания и предложения, присланные на проект "Руководства" следующими организациями: Главным геологическим управлением МУП СССР, Главным управлением геологии и технического бурения МУП Украинской ССР, Управлением угольной промышленности Казахской ССР; комбинатами: Кузбассуголь, Челябинскуголь, Воркутауголь, Интауголь, Востсибуголь, Донецкуголь, Свердловскуголь, Сахалинуголь, Грузуголь, Укрзападуголь, Тулауголь, Карагандашахтострой, Печоршахтострой, Кузбассшахтострой, Донецкшахтострой, Шахтспецстрой, Главдальвостокстрой; Институтом геологии и разработки горючих ископаемых АН СССР, Ленинградским горным институтом,

КузНИУИ, Кузбасской геологической экспедицией и др.

В разработке "Руководства" принимали участие научные сотрудники лаборатории шахтной геологии: Бичкова В.Н. (гл.5 разд.А, гл.5, § 4 гл.8, гл.9 разд. Б), Ганичева Т.Н. (гл.6 разд.А, гл.6 разд.Б), канд.геол.-мин.наук Забродин А.С. (гл.2, гл.3 разд. А, гл. I, гл.3, гл.9 разд.Б, прилож.I), Минин Н.И. (§§ 2,3,4 гл.I разд.А), Мудров А.М. (§ I гл.I, гл.2 разд.А, гл.I разд.Б), канд.геол.-мин.наук Насонова Н.М. (§ I гл.I разд.А, § 2 гл.I, подпараграф 2 § I гл.2, § 6 и § 7 гл.6 раздела Б), Пурвинг А.Г. (гл.2 разд.Б, прилож.I), канд.техн. наук Такранов Р.А. (гл.4 разд.А, подпараграф 3 § I гл.2, гл.4, гл.7 разд.Б), Шустерман А.С. (гл.7 разд.А, гл.8 разд.Б).

"Руководство" составлено под редакцией кандидата геол.-мин.наук Забродина А.С.

Раздел А

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ

ГЛАВА I

СОСТАВ И СВОЙСТВА УГЛЕЙ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

§ I. ТИПЫ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Под ископаемым углём понимается "твердая горючая осадочная порода растительного происхождения, содержащая некоторое количество минеральных примесей" /49/.

Ископаемые угли по исходному материалу объединяются в две группы: гумолиты (продукты преобразования высших растений) и сапропелиты (продукты преобразования низших растений, главным образом, водорослей). Внутри этих групп по основному углеобразующему веществу выделяются классы /73/: гумиты, липтобиолиты, гумито-сапропелиты и сапропелиты. В свою очередь классы в зависимости от соотношений микрокомпонентов углей (микроскопических составных частей растений) разделяются на петрографические типы.

Выделение типов ископаемых углей производится по петрографическому составу, под которым понимаются зафиксированные в угле, как и в другой горной породе, независимо от степени метаморфизма, особенности его вещественного состава и строения.

Каждый петрографический тип угля обладает рядом внешних (макроскопических) и внутренних (микроскопических) признаков.

Наиболее важными макроскопическими признаками углей являются: макроструктура, макротекстура, цвет, блеск, излом, твердость, вязкость (хрупкость), отдельность и кливаж.

Таблица I

Сравнительная характеристика основных типов углей
(определение по внешнему виду по В.В.Кирюкову)

Класс и петрографический тип		Внешние признаки: Макроструктура и сложение	Блеск		Цвет черты на фарфоровой пластинке	Кливаж	Вязкость, излом	загораемость от спички
I		2	3		4	5	6	7
Группа гумитов	Ксиловитрено-витреновый	Однородная, тонкие прослои (до 0,5 см), линзы	Блестящий	Изменяется при метаморфизме от тусклого полублестящего жирного (Б) до полублестящего (Д), стеклянного (Г) и ярко-стеклянного (Ж), алмазного (Т) и металлического (А)	Изменяется при метаморфизме от коричнево-бурого (Б) до коричневого (Д,Г), тёмно-коричневого (Ж), коричнево-чёрного (К), серого (Т), чёрного (А)	Развит более интенсивно сравнительно с клареновым углём	Весьма хрупкий. Излом ступенчатый, раковистый, глазковый.	не загораются
	Клареновый	Большей частью однородная или штриховатая и полосчатая. Мощные слои, пласты				Развит хорошо. Расстояние между трещинами эндокливажа: Б-слабо развит, трещины не замечены; Д,Г--3-5 см, Ж, К-0,2-0,5 см, Т-3 см, А-5 см	Хрупкий. Излом неровный или угловато-оскольчатый, глазковый. Края острые, поверхности гладкие	
	Дюрено-клареновый	Близок по свойствам к блестящему клареновому углю						
		Штриховатая, тонко и линзовидно-полосчатая. Слои в несколько см, до 50 и более см.	Полублестящий			Интенсивность трещиноватости ниже, чем у клареновых углей		

Продолжение таблицы 1

Класс и петрографический тип	Внешние признаки					
	Макроструктура и сложение	Блеск	Цвет черты на фарфоровой пластинке	Кливаж	Вязкость, излом	Загораемость от спички
I	2	3	4	5	6	7
Кларено-дюреновый	Близок по свойствам к матовому дюреновому углю, отличается от него большим блеском					Загораемость
	Штриховатая. Слои мощностью >5 см	Полуматовый		Слабо развит, но выше, чем у дюреновых		
Дюреновый споровый и смешанный	Однородная или полосчатая. Мощные слои, пласты	Матовый. Изменяется при метаморфизме от матового (Б) до полуматового (К,Т,А)	От коричневого до черного в зависимости от наличия минеральных включений и их состава.	Слабо развит. При метаморфизме постепенно увеличивается.	Вязкий. Излом неровный, поверхности шероховаты.	
Ксилено-фюзеновый	Неоднородная, уголь рыхлый. Отдельные слои и крупные линзы.	Матовый и полуматовый, шелковистый.	Черный	Развит неравномерно.	Хрупкий, сажистый. Излом занозистый, волокнистый. Вязкий.	

Продолжение таблицы I

Класс и петрографический тип		Внешние признаки: Макроструктура и сложение	Блеск	Цвет черты на фарфоровой пластинке	Кливаж	Вязкость, излом	загораемость от спички
1		2	3	4	5	6	7
Липтобиолиты	Смоляной	Однородная или слабо-штриховатая. Линзы, слои, редко пласты	Матовый и полуматовый	Буровато-коричневый и коричнево-жёлтый	отсутствует	Плотный и вязкий. Излом ровный с зернистыми поверхностями или раковистый	Загораются горят без запаха
	Споровый	Линзы и тонкие (см) прослойки, редко пласты	Матовый	Коричнево-жёлтый	отсутствует	Рыхлый (бурый), плотный и вязкий (каменный уголь)	
	Кутикуловый	Плитчатый или листоватый, реже плотный "рогожка"	От матового и полуматового до полублестящего	Тёмно-коричневый	отсутствует	Вязкие и хрупкие с неровным изломом	
Гумито-сапропелиты		Однородная. Слои и прослои малой мощности	Матовый шелковистый и слабо жирный	Серый или коричневато-серый	отсутствует	Вязкий. Излом плоскораковистый, раковистый	
Сапропелиты		Однородная, массивная текстура	Матовый	Жёлтый и светлокоричневый	отсутствует	Вязкий. Излом раковистый	

К микроскопическим признакам относятся особенности внутреннего строения угля, отражательная способность и микротвёрдость.

Петрографический тип угля точно устанавливается только при микроскопическом изучении, однако уже по комплексу внешних признаков, представленному в табл.I, можно дать его предварительное определение.

В ископаемых углях выделяются четыре видимые невооруженным глазом составные части или ингредиента, различающиеся по форме, величине и вещественному составу: витрен, кларен, дюрен и фюзен. Витрен и фюзен являются простыми ингредиентами, т.к. представляют собой каждый порознь единый растительный фрагмент; кларен и дюрен - сложные, так как представляют собой комбинацию различных микроскопических компонентов.

Различные сочетания указанных составных частей угля определяют его макроструктуру. Последняя может быть однородной и неоднородной (см.табл.2).

Таблица 2

Разделение гумусовых углей по макроструктуре /73/

Род углей (по количеству ингредиентов)	Вид углей (по характеру ингредиентов)	Разновидность углей (по толщине включенных ингредиентов)
Однородные (один)	Однородный (один сложный ингредиент)	
Неоднородные (не меньше двух)	Полосчатый (один сложный ингредиент и один или два простых)	Штриховатая, тонко-, средне- и грубополосчатая
	Комплексно-полосчатый (два сложных ингредиента, могут присутствовать и простые)	Тонко-, средне- и грубополосчатая

Неоднородные угли по характеру ингредиентов разделяются на полосчатые и комплексно-полосчатые, а по толщине включённых ин-

градиентов на штриховатые (с включениями толщиной до I мм), тонко-полосчатые (I-3мм), среднеполосчатые (3-7мм) и грубополосчатые ($>$ 7 мм).

Особенности макроструктуры углей должны изучаться шахтным геологом и отражаться на геологических документах (колонках пластов и др.зарисовках) соответствующими знаками.

Под макротекстурой понимаются определимые визуально особенности пространственного распределения составных частей угля, независимо от их формы, размера и вещественного состава.

Главным текстурным признаком углей является слоистость. Последняя характеризует чаще всего матовые угли, как наиболее загрязнённые минеральными примесями.

Макротекстура может быть также массивной, зернистой и землистой.

Следует отличать текстуру углей (слоистость) от их структуры (полосчатости)

I. ГУМИТЫ

В классе гумитов в зависимости от содержания различных типов микрокомпонентов выделяется 6 петрографических типов углей, хорово различимых по блеску и макроструктуре: фюзено-ксиленовый, дюреновый, кларено-дюреновый, дюрено-клареновый, клареновый и ксиловитрено-витреновый /73/. Фюзен и витрен выделяются как простые ингредиенты, входящие в другие петрографические типы.

Ф ю з е н о - к с и л е н о в ы й т и п . Уголь фюзено--ксиленового состава - матовый, чёрный, сравнительно невысокой плотности. Структура его однородная или штриховатая, реже-полосчатая и еще реже - комплексно-полосчатая; степень метаморфизма невысокая. Изучение фюзено-ксиленового угля под микроскопом показывает почти полное отсутствие кутинизированных микрокомпо-

нентов и гелифицированной основной массы или последняя составляет не более 10% общего количества угля.

Поверхности напластования в нем обычно не различимы, трещины развиты слабо. Нередко фюзено-ксиленовые угли слагают угольные пласты и пачки (месторождения Средней Азии и Забайкалья).

Дюреновый тип. Дюреновый уголь имеет матовый блеск, серо-чёрный и чёрный цвет, неровный с шероховатой и реже с гладкой поверхностью излом. Механическая прочность угля высокая, трещины очень редки или отсутствуют. Структура угля обычно однородная, реже - штриховатая, полосчатая, комплексно-полосчатая. Дюреновый уголь состоит на 70% из форменных элементов и фюзенизированной основной массы; гелифицированная основная масса составляет ~ 30% и менее. Этот петрографический тип слагает слои различной мощности, а нередко и целые угольные пачки и пласты.

Кларено-дюреновый тип. Для кларено-дюренового угля характерны полуматовый блеск, серо-чёрный и чёрный цвет и неровный, с шероховатыми поверхностями излом. Структура угля может быть полосчатой. Механическая прочность угля высокая, трещины развиты слабо. В нём ещё преобладают кутинизированные и фюзенизированные микрокомпоненты, но содержание гелифицированной основной массы составляет уже 25-50% от общего количества угля. Кларено-дюреновый уголь является одним из основных углеобразующих петрографических типов и может слагать не только прослои и пачки, но и целые пласты угля.

Дюрено-клареновый тип. Подобно предыдущему петрографическому типу дюрено-клареновый также является одним из основных углеобразующих типов угля.

По интенсивности блеска он относится к полублестящим углям,

имеет чёрный цвет и неровный, ступенчатый, угловатый излом. Механическая прочность угля высокая, трещины развиты относительно слабо, хотя и несколько больше, чем у кларено-дюренового угля; структура дюрено-кларенового угля бывает однородной, штриховатой, полосчатой и комплексно-полосчатой. Вещественный состав дюрено-кларенового угля следующий: гелифицированная основная масса составляет 50-75%, остальные микрокомпоненты содержатся в пределах 50-25%.

К л а р е н о в ы й т и п. Клареновый уголь имеет яркий блеск, чёрный цвет и ступенчатый, плоско-раковистый или неровный излом. Трещины отдельности широко развиты. Основные поверхности эндокливажа покрыты "глазками". Структура угля может быть однородной, штриховатой и полосчатой. В вещественном составе кларенового угля резко преобладают гелифицированные микрокомпоненты. Формы залегания кларенового угля - линзы, прослои и пачки, иногда довольно значительной мощности.

К с и л о в и т р е н о - в и т р е н о в ы й т и п. Ксилитрено-витреновый тип относится к блестящим углям и имеет интенсивно-чёрный цвет и ступенчатый, неровный или раковистый излом. По структуре обычно однородный, реже - штриховато-полосчатый. В некоторых ксилитрено-витреновых углях наблюдается отчетливая тонкая слоистость, с которой связано образование тонкоплитчатой отдельности.

Для угля ксилитрено-витренового типа характерны малая прочность и хорошо развитая нормальная к напластованию трещиноватость. Этот тип угля почти полностью сложен гелифицированными микрокомпонентами. Его участие в строении угольных пластов невелико.

Ф ю з е н. Фюзен как простой ингредиент неоднородного угля напоминает обычный древесный уголь: имеет матовый шелковистый блеск, интенсивно чёрный цвет и отчетливо видимое волокнистое строение; отличается значительной хрупкостью, мягкостью и небольшим удельным весом; для него характерна высокая пористость и нередко сильная минерализация.

Встречается в угольных пластах в виде линз, примазок и редко гнёзд, располагающихся на поверхности наслоения. Каждая линза фюзена представляет собой единый растительный фрагмент, с хорошо сохранившейся клеточной структурой.

Толщина линз составляет доли сантиметра, редко достигая первых единиц сантиметра, длина и ширина линз не превышает I8-I2 см.

В породах угленосной толщи фюзен ориентирован косо и даже нормально по отношению к наслоению.

В и т р е н. Витрен как простой ингредиент неоднородного угля отличается от всех других составных частей ярким стеклянным блеском, интенсивно чёрным цветом и хрупкостью; залегает в виде линз, каждая из которых представляет собой единый растительный фрагмент, полностью утративший клеточное строение и превратившийся в бесструктурное гелифицированное вещество (под микроскопом в некоторых витренах различим узор клеточных стенок). В отличие от основной массы витрен характеризуется четкими контурами, плотным сложением и отсутствием включений.

Размеры линз витрена колеблются в широких пределах: толщина от $<$ I мм до I-2 см; длина от 5 до 20-30 см, а нередко и до I-2 м.

Для витрена характерны вертикальные трещины эндокливажа, нередко заполненные кальцитом и пиритом, расстояние между которыми

измеряются долями мм, а также раковистый излом и "глазковая" отдельность.

2. ЛИПТОБИОЛИТЫ

К этому классу относятся угли, которые состоят исключительно из стойких частей высших растений: оболочек спор, кутикулы, коры, луба, смоляных тел. К типичным липтобиолитам относятся угли, в которых кутинизированные элементы составляют не менее 90% общего количества угля /73/. По вещественному составу липтобиолиты сближаются с углями дюренового типа, однако в последних содержание кутинизированных элементов несколько ниже.

Отличительной чертой всех липтобиолитов является матовый блеск и бурый, различной интенсивности и оттенков цвет.

В соответствии с преобладающим микрокомпонентом выделяются следующие петрографические типы: смоляной, споровый, кутикуловый и коровый липтобиолиты (последний встречается очень редко).

С м о л я н о й л и п т о б и о л и т. Смоляной липтобиолит имеет высокую плотность и шероховатую или зернистую поверхность излома. В угле макроскопически хорошо различаются тоненькие иголочки смолы диаметром менее I мм и длиной до 5 мм. Кроме смоляных тел в угле этого типа изредка встречаются обрывки кутикул и оболочки спор.

Смоляные липтобиолиты встречаются вместе с гумусовыми углями как в виде пачек, так и в виде смешанных гумусово-липтобиолитовых и липтобиолито-гумусовых пачек и пластов угля. Контакты смоляных липтобиолитов с гумусовым углем и породой, как правило, постепенные.

С п о р о в ы й л и п т о б и о л и т. Этот относительно редко встречающийся уголь почти целиком состоит из оболочек спор, лишь 5-I0% угольной массы составляет цементирующее веще-

ство. По внешнему виду споровый липтобиолит имеет матовый блеск, тёмно-коричневый цвет и однородную структуру. В буроугольной стадии он рыхлый, в каменноугольной – плотный и вязкий. Обычно споровый липтобиолит встречается в гумусовых углях в виде прослоев и линз, однако в ряде случаев (Донбасс и Кизеловское месторождение) он может слагать довольно мощные пачки и целые пласты.

К у т и к у л о в ы й л и п т о б и о л и т. Характерной его особенностью является плитчатая или листоватая отдельность. Иногда кутикуловый липтобиолит может иметь массивное сложение и стеклянный блеск. Этот петрографический тип угля самостоятельных угольных пластов не слагает, а встречается в гумусовых углях в виде прослоев.

3. САПРОПЕЛИТЫ

Группа сапропелитов содержит два класса ископаемых углей: гумито-сапропелиты и сапропелиты.

Г у м и т о – с а п р о п е л и т ы. К этому классу относятся угли переходных разностей, т.е. такие, в которых основной углеобразующей частью являются остатки водорослей, но, вместе с тем, бывает значительным и содержание микрокомпонентов высших растений (главным образом, спор и основной массы).

К гумито-сапропелитам относятся касьянит, оболенскит и кеннель. Первые два петрографических типа встречаются очень редко и экономической ценности не представляют. Кеннельский уголь иногда слагает пласты промышленного значения.

Кеннель по внешнему виду представляет собой уголь, обладающий матовым или шелковистым, иногда чуть жирным блеском и серым или слегка буроватым цветом. Он представляет собой агрегат, состоящий из гелифицированной основной массы, относительно больно-

го количества микроспор и единичных водорослей. Излом у кеннеля раковистый или округленно-гладкий; характерны высокие твёрдость и вязкость. Структура угля однородная. Из других его свойств следует отметить малый удельный вес (у чистых кеннелей - I,2) и и способность загораться от спички.

С а п р о п е л и т ы. В классе сапропелитов по степени сохранности структуры водорослей выделяют два подкласса: богхедовидные угли, в которых преобладают водоросли, сохранившие свою структуру, и сапроколлиты, в которых водоросли потеряли свою структуру. Среди богхедовидных углей выделяют богхеды и кеннель-богхеды. Богхед имеет матовый блеск и серый, или светло- и тёмнокоричневый цвет. В его строении принимают участие остатки водорослей и, в меньшей степени, основная масса. Форменные элементы высших растений встречаются редко. Излом у богхеда крупнораковистый, структура однородная. Удельный вес его малый (I,2), механическая прочность высокая - уголь вязкий и крепкий. Чистые богхеды встречаются редко и обычно залегают в форме линз и прослоев в основании пластов гумусовых углей /72,73/.

В подкласс сапроколлитов входит только один редко встречающийся тип углей - сапроколлит.

Основные физические, химические и технологические свойства углей в значительной мере зависят от состава и количественных соотношений микрокомпонентов.

Институтом геологии и разработки горючих ископаемых АН СССР совместно с другими угольными институтами разработана единая терминология микрокомпонентов угля, которая приведена в табл.3.

Таблица 3.

Номенклатура микрокомпонентов ископаемых углей для технологических целей

ГОСТ 9414-60

Наименование групп	Обозначения групп	Микрокомпоненты	Обозначения микрокомпонентов
Витринит	Vt	Коллинит	Vt_1
		Телинит	Vt_2
Семивитринит	Sv	Семиколлинит	Sv_1
		Семителинит	Sv_2
		Микстинит	Sv_3
Фюзинит	F	Семифюзинит	F_1
		Микринит	F_2
		Фюзинит	F_3
		Склеротинит	F_4
Лейптинит	L	Споринит	L_1
		Кутинит	L_2
		Резинит	L_3
Альгинит	Alg	Альгоколлинит	Alg_1
		Альготелинит	Alg_2
Минеральные примеси	Ml	Глинистый материал	Ml_1
		Сульфиды железа	Ml_2
		Карбонаты	Ml_3
		Прочие	Ml_4

Для изучения различных свойств ископаемых углей применяется ряд петрографических и смежных с ними методов /64,73/, которые охватывают:

I) изучение генетических типов углей, их текстурных и структурных особенностей;

2) подсчет содержания микрокомпонентов в средних пластовых пробах для определения вещественно-петрографического состава угля;

3) определение отражательной способности в аншлифах, аншлифах-брикетах и в спаренных шлифах с применением фотоэлектрических умножителей - для изучения степени метаморфизма;

4) люминесцентную микроскопию - для изучения углей, преимущественно сапропелитов и частично-липтобиолитов. Этот метод основан на неодинаковом свечении микрокомпонентов при облучении ультрафиолетовыми лучами;

5) люминесцентный метод - для разделения углей по степени метаморфизма путем облучения бензольных вытяжек ультрафиолетовыми лучами;

6) изучение степени окисленности углей в аншлифах-брикетах и в спаренных шлифах точечным способом с помощью масляной иммерсии;

7) определение микротвердости петрографических компонентов для изучения степени метаморфизма угля;

8) тонкое разделение угля по удельному весу в смесях бензола и четыреххлористого углерода на отдельные микрокомпоненты;

9) электроноскопический метод выяснения молекулярной структуры и степени дисперсности угля-для установления степени метаморфизма.

§ 2. ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩИ

Угленосные толщи слагаются осадочными породами, главным образом континентального происхождения, среди которых распространены конгломераты, граведиты, песчаники, алевролиты и аргиллиты.

Иногда в разрезе содержатся органогенные и хемогенные отложения морского происхождения, представленные карбонатными породами, чаще всего известняками. В виде исключения в разрезе могут присутствовать магматические породы и вулканогенные отложения. Однако мощность последних и их роль в разрезе угленосных бассейнов невелика.

Ведущую роль среди вышеперечисленных пород играют песчаные и глинистые отложения, придающие определенный характерный облик угленосным толщам.

К о н г л о м е р а т ы в угленосных толщах встречаются в ограниченных количествах, не превышающих нескольких процентов от всей толщи. Однако именно благодаря своей редкости и приуроченности к определенным стратиграфическим слоям они могут служить маркирующими горизонтами. Конгломераты образуют или самостоятельные слои, или чаще более или менее мощные неправильные линзы разделенные песчаниками. Обилием конгломератов отличаются мезозойские угленосные толщи, в которых они иногда образуют целые свиты или горизонты (конгломератовая свита Кузбасса, Иркутский бассейн и др.).

Конгломераты состоят из довольно мелких хорошо окатанных галек, сцементированных песчаником. Размер галек от 0,5 до 4 см. Соотношение между гальками и песчаниковым цементом различно - от отдельных редких галек до почти полного преобладания последних. Гальки представлены кварцем, кремнем, изверженными породами, сидеритом, реже - аргиллитом и алевролитом. Цемент представлен, большей частью крупнозернистым песчаником.

П е с ч а н и к и во всех угленосных бассейнах составляют наиболее значительную массу пород угленосной толщи, иногда слагая до 40-50% их общей мощности. По степени однородности составляющих частей они относятся к полимиктовым породам (сложенным в основ-

римых количествах кварцем, полевыми шпатами, цветными минералами и обломками разных пород). Часто они содержат обуглившиеся растительные остатки, а иногда и минерализованные стволы деревьев.

Среди полимиктовых песчаных пород угленосной толщи особое место занимают аркозы и граувакки.

А р к о з ы - песчаники, состоящие преимущественно из зерен кварца и кислого полевого шпата (ортоклаза) с примесью слюды, каолина и др. Содержание ортоклаза колеблется от 25 до 60%. Цвет породы часто светлокоричневый, розовый или красный, поэтому аркозы по внешнему виду напоминают граниты.

Г р а у в а к к и - песчаники состоящие из плохо сортированных, угловатых зерен кварца (35-45%), полевых шпатов (15-30%) и обломков различных пород (главным образом, основных изверженных пород, туфогенных и осадочных), вкрапленных в глинистый цемент. Для граувакк характерен серый, темный зеленовато - или голубовато-серый почти черный цвет.

А л е в р о л и т ы - сцементированная порода более, чем на 50% состоящая из частиц размером от 0,01 до 0,1 мм. Они встречаются почти во всех угленосных бассейнах, составляя в разрезе угленосных толщ до 20% мощности всех отложений. Эти породы характеризуются тонкой слоистостью и обилием растительного детрита (обломков растений). Для алевролитов характерна горизонтально-линзовидная слоистость, обусловленная чередованием слойков мелко- и крупноалевролитового материала с отчетливыми различиями в цвете и резкими границами. Ширина слойков может меняться от долей миллиметра до нескольких сантиметров.

А р г и л л и т ы в разрезе угленосных бассейнов составляют от 30 до 80% мощности всех отложений. Аргиллиты сложены однородной глинистой массой и содержат свыше 50% частиц размером менее 0.01 мм. Кроме глинистых минералов (каолин, гидрослюда и др.)

встречаются чешуйки терригенной (остаточной) слюды, рассеянные зерна кварца и полевого шпата, реже - зерна тяжелых и темноцветных минералов.

Аргиллиты угленосных толщ обычно имеют массивное сложение: примесь песчанистого или углистого материала создает тонкую слоистость пород.

Алевролиты и аргиллиты иногда (например в Донбассе) называют песчано-глинистыми и глинистыми сланцами, что не совсем правильно. Сланцы, типичные метаморфизованные породы, существенно отличаются от слоистых алевролитов и аргиллитов сланцеватой текстурой, часто не совпадающей со слоистостью и возникающей в результате явлений метаморфизма /31/.

И з в е с т н я к и в составе угленосных отложений встречаются редко. Среди угольных месторождений Советского Союза они известны только в Донбассе, Подмосковном, Карагандинском и Кизеловском бассейнах,

Известняки угленосных толщ - мелководные морские образования характеризуются наличием обломков раковин и водорослей.

При описании пород угленосной толщи должны быть отражены следующие их признаки: I) состав, 2) цвет, 3) структура, 4)текстура - тип и характер слоистости, 5) пористость, крепость и другие физико-механические свойства, 6) минеральные включения и примеси, 7) органические остатки - (состав, сохранность).

Связанные переходом обломочные и глинистые породы угленосных толщ, разделяются по количеству ($\gtrsim$ 50%) и преобладающему размеру ($\gtrsim$ 0,0I мм) минеральных частиц. Согласно классификации, принятой в лаборатории ИГИ АН СССР /I23/, породы, образованные более чем на 50% частицами с размером $>$ 0,0I мм, относятся к обломочным и $<$ 0,0I мм - к глинистым.

Обломочные породы, по величине слагающих их обломков, подразделяются: на грубообломочные породы, сложенные более чем на половину из частиц более I мм в поперечнике; песчаные отложения, состоящие преимущественно (более чем на половину) из зерен от 0,I до I мм, и алевритовые породы, в которых преобладают зерна от 0,I до 0,0I мм в поперечнике.

В свою очередь грубообломочные, песчаные и алевритовые породы по гранулометрическому составу подразделяются на более мелкие группы.

Схема классификации обломочных пород дана в табл.4 /I25/.

Таблица 4

Структурная классификация обломочных пород

Размеры обломков в мм	Наименование обломков	Наименование пород			
		рыхлые		сцементированные	
		окатанные	неокатанные	окатанные	неокатанные
Больше I00	Валуны	Скопление валунов	Скопление остроугольных валунов	Валунные конгломераты	Валунные брекчии
	Галька:	Галечники:	Щебень:	Конгломераты:	Брекчии:
I00–50	крупная	крупнообломочные	крупнообломочные	крупногалечные	крупнообломочные
50–I0	мелкая	мелкообломочные	мелкообломочные	мелкогалечные	мелкообломочные
I0–I	Гравийные зерна	Гравий	Дресва	Гравелиты	
	Песчаные зерна:	Пески:		Песчаники:	
I–0,5	крупные	крупнозернистые		крупнозернистые	
0,5–0,25	средние	среднезернистые		среднезернистые	
0,25–0,I	мелкие	мелкозернистые		мелкозернистые	
	Алевритовые зерна:	Алевриты:		Алевролиты:	
0,I–0,05	крупные	крупнозернистые		крупнозернистые	
0,05–0,0I	мелкие	мелкозернистые		мелкозернистые	
Меньше 0,0I	Пелитовые зерна	Пелиты (глинистые породы)		Аргиллиты	

В грунтоведении принята трехчленная классификация, по которой к глинистой фракции относятся зёрна $d < 0.005$ мм, к пылеватой (алевритовой) - зёрна $d = 0.005$–$0{,}05$ мм к песчаной - - зёрна $d = 0.05$–2 мм.

На рис.I представлена классификация грунтов по В.В.Охотину в виде диаграммы-треугольника с изображением результатов гранулометрического анализа трех образцов грунта.

Наименование породы даётся по преобладающему составу обломочного материала в соответствии с классификацией пород, приведенной в табл.4. Оно должно отражать наиболее характерные признаки породы. Например: "песчаник среднезернистый кварцевый".

Среди обломочных пород большое значение имеют смешанные породы, в которых ни одна из групп песчаных, алевритовых или глинистых частиц не достигает 50%, причем иногда они представлены в близких пропорциях. Для обломочных пород разнородного состава общепринятой терминологии еще не выработано и порода именуется по составу преобладающей части с указанием примесей других компонентов /I23/. Например: "глинисто-алевритистый песчаник" - это порода, в которой песчаная фракция превышает 50% обломочной части, а примесь представлена глинистыми и алевритовыми частицами, причем первых больше, чем вторых.

Определение породы должно производиться в основном макроскопически (путем сравнения с эталонной коллекцией) и в некоторых случаях подкрепляться исследованиями образцов в шлифах и иммерсионных препаратах /I25/.

Очень важно определение окраски породы, при этом следует отмечать характер распределения окраски, связь ее со слоистостью и т.д. Полезно также указывать, хотя бы предположительно, чем обусловлена окраска.

Изучение структуры породы включает в себя определение: I) размера частиц и их формы и 2) состава и типа цемента.

Макроскопическое изучение величины зерен породы может давать довольно точные результаты только для грубообломочных разностей или для пород, где обломочный материал более или менее резко отличается от цемента (по окраске, твердости). Для этого пользуются обычной масштабной линейкой или бумагой-миллиметровкой.

При изучении размерности зерен песчаных и алевритовых пород рекомендуется применение бинокулярной лупы с окуляр-микрометром (МБС-2). Благодаря стереоскопическому эффекту и возможности работы в отраженном свете, бинокуляр позволяет изучать структуру пород в образцах с естественным сколом, без их предварительной обработки /207/.

Среди цементов обломочных пород по строению выделяют два различных типа: I) цемент мономинеральный, образованный одним минералом - чаще всего кальцитом, кварцем, гидроокислами железа и т.п.; 2) цемент разнородный полимиктовый, состоящий из алевритовых и пелитовых частичек разного состава. Иногда в одной породе наблюдается несколько цементов, что может указывать на вторичные изменения цемента. Определить состав и строение цемента легко в шлифах. При макроскопическом описании состава цемента можно ограничиваться указанием на степень его карбонатности. Для этого породы подвергаются воздействию 5% раствора HCl по методике опробования конкреций, описанной ниже.

В непосредственной связи с типом цементации обломочных пород находится их крепость и пористость. Точное определение крепости и пористости производится путем лабораторных исследований. Ориентировочно крепость породы можно оценивать непосредственно

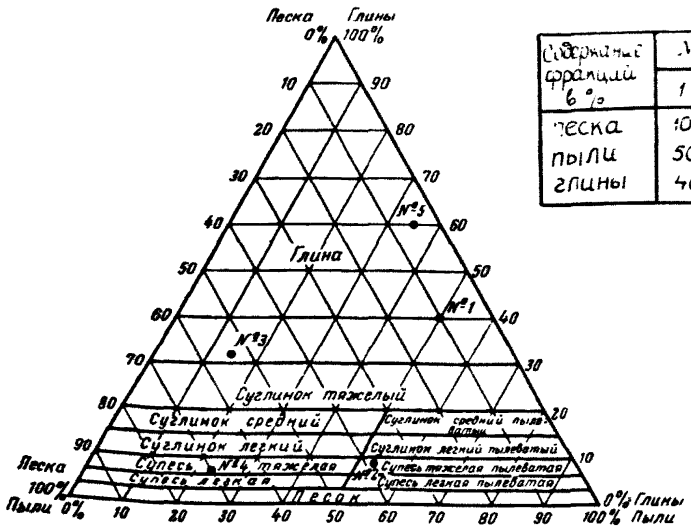
в шахте, характеризуя её как крепкую, слабосцементированную или рыхлую.

Особенно внимательно следует изучать текстурные признаки пород. Под текстурой понимается взаимное расположение (пространственная ориентировка) различных составных частей в породе. Наиболее важным первичным текстурным признаком породы является ее слоистость. Под слоистостью понимается повторяющаяся в разрезе неоднородность осадка (по составу, крупности зерна, окраске, расположению частиц и т.п.). Слоистость классифицируется по масштабу (макро- и микрослоистость), морфологическим (горизонтальная, косая, волнистая и т.п.) или генетическим (сезонная, течений, прибрежная, морская и т.д.) признаком, а также по резкости проявлений (отчетливая, неясная) /31/. На рис.2 изображены наиболее характерные морфологические типы слоистости и их разновидности.

При определении слоистости, как первичной текстуры породы необходимо отличать ее от вторичных линейно-ориентированных текстур, возникающих после отложения осадка (при диагенезе и, главным образом, раннем метаморфизме пород).

В стадию диагенеза в результате химического перераспределения вещества в осадке и его изменения возникает вторичная (диагенетическая) слоистость, которая чаще либо подчеркивает первичную текстуру, либо же, наоборот, затушевывает ее. Вторичная слоистость обычно располагается в пределах уже существующих границ наслоения и сводится к концентрации какого-либо вещества в определенном слое или на границе слоев.

В осадочных породах (особенно глинистых) часто отмечается первичная ориентировка минеральных частиц, особенно отчетливая на границах слоев; естественно, что на стадии раннего метаморфизма, под влиянием нагрузки вышележащих пород, такое ориенти-



Содержание фракций в %	Номер образца		
	1	2	3
песка	10	37	53
пыли	50	55	15
глины	40	8	32

Рис. I Диаграмма-треугольник гранулометрического состава.

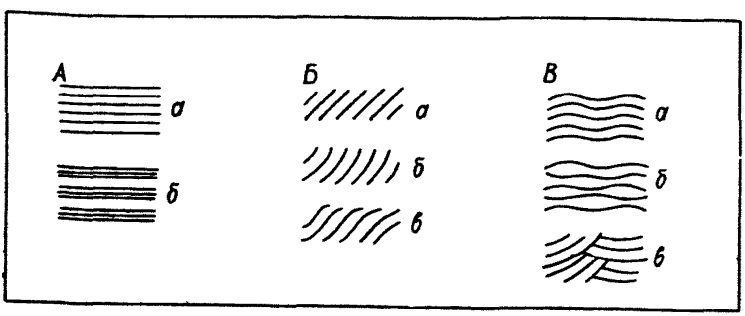


Рис. 2 Морфологические типы слоистости

А - горизонтальная: а-линейная; б-повторная;
Б-косая: а-прямолинейная; б-вогнутая; в- S образная;
В-волнистая: а-параллельная; б-смещенная (линзовидная);
в-перекрестная.

рованное расположение становится еще более отчетливым. Это приводит к распадению породы на пластинки или плитки, причем границы раздела плиток приурочиваются преимущественно к границам слойков или их серий. Поэтому плитки - пластинки часто (хотя и не всегда) соответствуют по мощности определенным слоям, а вторичная текстура породы - плитчатая, пластинчатая и т.п. совпадает с первичной слоистостью.

В табл.5 приведены термины, которые рекомендуется применять при определении первичных и вторичных текстурных признаков породы в зависимости от мощности серий слойков или отдельных слоев и от толщины пластинок или плиток /51/.

Таблица 5

Классификация первичных и вторичных текстур по размеру

Интервалы мощности	Первичные текстуры (слоистость)		Вторичные текстуры
	Характеристика слоистости по величине серий слойков для косо- и волнистослоистых пород.	Характеристика слоистости по мощности отдельных слойков для горизонтальнослоистых пород	Название текстуры в зависимости от толщины расслаиваемых блоков
Более 0,5м	Очень крупная	Очень мощные	Глыбовая
0,5м	Крупная	Мощные	Крупноплитчатая
10 см	Мелкая	Очень толстые	
5 см			Плитчатая
		толстые	
2 см			
I см	Очень мелкая (тонкая)	Средние	Пластинчатая
0,5см			
I мм	Встречается редко	Тонкие	Листоватая
Менее I мм	Не бывает	Очень тонкие	Тонколистоватая

В тектонически нарушенных участках пород и особенно углей, очень часто за косую слоистость принимают густую сеть параллельных косо расположенных трещин, к которым бывает приурочена вторичная

минерализация. Иногда такую трещиноватость называют ложной слоистостью, что совершенно [illegible], так как слоистость даже в широком смысле - это термин, относящийся к стадии образования осадка /31/.

Если в породе имеются конкреции, следует описать их состав, размеры, форму, цвет, характер распределения в слое. Можно рекомендовать следующий упрощенный метод определения состава карбонатно-железистых конкреций /178/. На свежий скол конкреции пипеткой наносится капля холодной HCl (5%) и наблюдается характер реакции, затем рядом наносится капля горячей HCl (5%) и, после окончания реакции, в нее добавляется капля водного раствора аммиака. Образующийся при этом осадок и его интенсивность указывают на присутствие железистых карбонатов (анкерита и сидерита). По характеру этих трех реакций различают [illegible] (К), известковисто-железистые (Ж), сидеритовые (С) и доломитовые (Д) конкреции (см.табл.6).

Таблица 6

Тип конкреции	реакции		
	5% соляная кислота		Аммиак
	холодная	горячая	
К	хорошо	бурно	осадок слабый
Ж	слабо	бурно	осадок средний
С	не реагирует	хорошо	осадок интенсивный
Д	не реагирует	хорошо	осадка нет

Для органических остатков, отмечают состав, характер захоронения, степень сохранности и т.п.

В случае переслаивания относительно маломощных пород нескольких типов, описание ведется от более молодых слоев к более древним, мощность слоев тщательно измеряется, отмечается насколько описываемый слой выдержан по простиранию и падению.

Большой интерес для изучения представляют породы, непосредственно вмещающие угольный пласт. Породы почвы и кровли изучаются, как для решения вопросов управления горным давлением, так и для выяснения условий накопления и перекрытия угольного пласта.

Рассмотрим отдельно породы почвы и кровли угольных пластов.

Почва угольных пластов. В большинстве угольных бассейнов почвой пласта являются глинистые породы, реже алевролиты, песчаники и только как исключение известняки.

Глинистые породы почвы очень часто содержат тонкие мелкие обрывки корневых систем, которые пронизывают ее по всем направлениям и придают бесструктурный (неслоистый) вид. В Донецком бассейне подобная порода получила название "кучерявчик". Наряду с наличием мелких корневых систем, в глинистых породах почвы отмечается накопление остатков стигмарий (корневищ плауновых растений), корневых частей крупных древовидных растений и ленидодендронов.

Стигмариевые остатки в почве распространяются на небольшую глубину, обычно не превышающую 0,5 метра, уобывая книзу и, наконец, исчезают совсем.

Однако такая почва по всей своей мощности сохраняет несло-истое сложение. В Подмосковном бассейне такая глинистая почва называется подстилающей глиной. Часто она является огнеупорной и представляет собой чистый каолинит.

Песчаники в почве пластов встречаются значительно реже и представлены мелкозернистыми разностями с тонкой горизонтальной слоистостью. От угля они почти всегда бывают отделены тонким глинистым прослоем. Растительные остатки в песчанике встречаются реже, чем в глинистых породах, по размерам они крупнее, но сохранность их хуже.

Во многих мезозойских угольных бассейнах Сибири и Дальнего Востока песчаник в почве пласта встречается довольно часто. Так, почвой пласта a_8 (a_4) в Старом Сучане является песчаник, иногда алевритовый. В Воркутском бассейне песчаниковая почва отмечается в пласте IУ ($n_ц$).

И з в е с т н я к о в а я почва встречается в тех редких случаях, когда пласт угля залегает среди известняков. Угольные пласты в этих условиях, как правило, маломощны /72/.

Кровля угольных пластов. Для кровли угольных пластов характерен тот же комплекс пород, что и для почвы. Отличительными чертами его являются наличие ясно выраженной слоистости и нередко – морской и пресноводной фауны.

Г л и н и с т ы е породы, в большинстве случаев образующие кровлю угольных пластов, являются типичными осадками мелководных бассейнов. Они обнаруживают слоистость, многочисленные следы морской ряби и волноприбойные знаки. Иногда они являются известковистыми, причем известковистость бывает связана с наиболее тонкозернистыми илистыми осадками. В аргиллитах часто встречаются мелкие растительные остатки ("крошка") и минеральные образования (желваки пирита, известково-глинистые конкреции, сферосидериты и т.п.).

В кровле многих пластов угля залегают тонколистоватые углистые аргиллиты, которые образуют так называемую "ложную" кровлю, характеризующуюся крайней неустойчивостью. Примером может служить "ложная" кровля пласта I ($П_{I4}$) шахты №I Капитальная, комбината Воркутауголь.

Местами глинистая кровля сменяется песчанистой, ложащейся на нее с размывом.

П е с ч а н и с т а я кровля представлена средне- и мелкозернистыми песчаниками, с большой примесью алевритового и гли-

нистого материала. В песчанике кровли могут наблюдаться, наряду с мелким растительным детритом, перенесенные обломки минерализованных стволов деревьев. Как исключение в кровле пластов могут присутствовать крупнозернистые песчаники и даже конгломераты, формирование которых связано с предшествующим размывом. Примером может служить пласт ∂_5 (Чурубай-Нуринское месторождение, Карагандинского бассейна), где над пластом угля непосредственно залегает крупнозернистый песчаник с включениями мелкой гальки *сидеритизированного алевролита*.

И з в е с т н я к в кровле угольного пласта встречается довольно редко. Примером может служить известняковая кровля пласта $К_8$ шахты Заперевальной в Донбассе. Контакт известняка с подстилающим его углем очень резкий, что указывает на быстрое погружение торфяника.

В Донецком бассейне мощность известняков в кровле пласта обычно небольшая и колеблется в пределах мощности самого угольного пласта. По простиранию она несколько меняется.

§ 3. МЕТАМОРФИЗМ УГЛЕЙ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

История формирования и последующих изменений осадочных пород и углей охватывает четыре стадии преобразования исходного материала: седиментогенез, диагенез, катагенез и ранний метаморфизм /125,179/.

В соответствии с этими стадиями образовавшийся торфяник (стадия седиментогенеза) уплотняется (стадия диагенеза) теряет воду и углекислый газ, несколько обогащается углеродом и превращается в бурый уголь (стадия катагенеза). Дальнейшее преобразование бурого угля сопровождается значительной потерей кислорода и дальнейшим обогащением углеродом и приводит к превращению бурого

угля в каменный и антрацит (стадия раннего метаморфизма). Весь процесс изменения углей от бурого до антрацита называется углефикацией или метаморфизмом углей.

Метаморфизм углей есть процесс изменения их химического состава и физических свойств в земной коре под влиянием повышенной температуры и давления. В основном процесс сводится к постепенному обогащению вещества угля углеродом и обеднению его кислородом воздуха и азотом.

В результате метаморфизма образуется непрерывный генетический ряд гумусовых углей от бурых до антрацитов. В этом ряду выделяют три основные группы - бурые угли, каменные угли и антрациты.

Основными показателями степени метаморфизма углей являются выход летучих веществ и отражательная способность /9,50,131/.

По мере повышения степени метаморфизма выход летучих веществ постепенно понижается от 40-50% для бурых углей до 2-5% для антрацитов. Отражательная способность витринита - блестящей разности угля, по мере повышения степени метаморфизма закономерно возрастает от 4-5% для бурых углей до 13-17% для антрацитов. Каменные угли по выходу летучих веществ и спекаемости подразделяются на девять технологических марок: длиннопламенные Д, газовые Г, газовые жирные ГЖ, жирные Ж, коксовые жирные КЖ, коксовые К, коксовые вторые $К_2$, отощенные спекающиеся ОС и тощие Т.

Основными факторами, влияющими на изменение качественного состава вещества углей, являются температура и давление, развивающиеся в земной коре в результате геологических процессов. Причем влияние их, как правило, возрастает по мере погружения угленосных толщ на глубину, в результате чего увеличивается степень метаморфизма углей. Различают три вида метаморфизма углей: региональный, контактовый и динамометаморфизм.

Р е г и о н а л ь н ы й м е т а м о р ф и з м у г л е й обусловлен общим погружением угленосных отложений на значительную глубину в область повышенных температур и давлений. Он охватывает большие площади и установлен во всех крупных угольных бассейнах.

Метаморфизм угленосной толщи, обусловленный глубиной погружения и увеличением мощности осадков, накопившихся при погружении проявляется в возрастании степени метаморфизма углей от вышележащих пластов к нижним. Изменение степени метаморфизма пластов углей, расположенных на различной глубине, принято выражать полным градиентом метаморфизма. По определению М.Л.Левенштейна полный градиент метаморфизма (Г) рассматривается как сумма двух составляющих - стратиграфической и вертикальной.

Стратиграфическая составляющая ($Г_С$) представляет собой результат процессов метаморфизма, происходивших в угленосной толще до складкообразования, т.е. она характеризует первичное поле метаморфизма, сложившееся до поднятия и зависит только от стратиграфического положения пласта.

Вертикальная составляющая ($Г_В$) является отражением наложенных процессов метаморфизма, происходивших после поднятия и отвечает залеганию пород, установившемуся после образования складок.

Величина градиента метаморфизма и его составляющих чаще всего вычисляется по изменению выхода летучих ($V^{Г}$) на 100 м стратиграфической глубины.

Для каменных углей Донбасса наблюдается падение выхода летучих в среднем на 1% (от 0,3 до 2,1%) на каждые 100 м глубины, для Кузбасса от 0,5 до 3,0% на 100 м.

Многочисленными исследованиями установлено, что изменение выхода летучих веществ по разрезу угленосной толщи происходит неравномерно: наибольшего значения градиент метаморфизма и его

составляющие достигают в области углей марок Ж, К и ОС. В зоне газовых углей, с одной стороны, и в зоне тощих, с другой, величины градиентов быстро уменьшаются. В таол.7 приведены средние значения градиента метаморфизма и его составляющих, полученные по шахтам Центрального района Донбасса /50/.

Таблица 7.

Наименование шахты	Марка угля	Составляющая градиента метаморфизма, % на 100м		Суммарный градиент метаморфизма % V^r на 100м
		вертикальная ($\Gamma_в$)	стратиграфическая ($\Gamma_с$)	
им.Дзержинского	Ж	0,6	I,I	I,6
"Комсомолец"	Ж	0,7	I,2	I,7
им.Карла Маркса	Ж,К,ОС	0,7	I,I	I,5
"Красный Профинтерн"	К,ОС	0,8	I,I	I,6
"Юнком"	Т	0,4	0,4	0,6

Из таблицы видно, что вертикальная составляющая в зоне марок Ж,К и ОС в среднем равна 0,8%, стратиграфическая - I,I%, а полный градиент равен I,5%. В зоне более метаморфизованных углей (марок Т)значение градиента и его составляющих соответственно уменьшаются до 0,6 - 0,4 %.

Некоторые исследователи /I70/ вместо градиента метаморфизма предлагают пользоваться ступенью метаморфизма - величиной обратной градиенту ($C = \frac{I}{\Gamma}$). Ступень метаморфизма показывает мощность интервала по разрезу, в пределах которого V^r изменяется на I%. Ступень метаморфизма имеет минимальную величину в зоне углей марок Ж,К, и ОС (около 50 м на I% V^r); в зоне глубокометаморфизованных углей величина ступени быстро возрастает: для марки Т она равна 70-I50, для ПА I50-500 и для антрацитов 350-I000 м на I% V^r. Аналогичное увеличение ступени происходит в зоне

слабометаморфизованных углей: для газовых она равна 100-300, для длиннопламенных 300-500 м на 1% $V^{г}$.

На рис.3 показана зависимость степени метаморфизма углей от глубины их погружения для шахт Центрального района Донбасса /50/. Кривая характеризует изменение степени метаморфизма в разрезе в зависимости от стратиграфического положения пластов (до их поднятия). Из рисунка видно, что переход из зоны длиннопламенных углей в зону газовых происходил при глубинах погружения порядка 2,5-3 км; угли марки Г переходят в угли марки Ж при погружении на 4-5 км; угли марки К - в ОС и Т при глубинах погружения 6-7 км; переход полуантрацитов в антрациты отвечает глубинам 9-12 км.

Пользуясь средней величиной геотермического градиента, который в Донецком бассейне равен $2,5^{0}$ на 100 м, и зная глубины погружения, можно определить температуры, при которых происходили изменения вещества угля на различных стадиях метаморфизма /50/. Переход углей марки Д в Г происходил при температуре $70-90^{0}$; Г в Ж при $100-120^{0}$; ОС в Т при $150-180^{0}$: ПА в А при $190-240^{0}$.

По площади бассейнов угли различной степени метаморфизма располагаются зонально (Кузбасс, Донбасс и др.). Это связано с различной амплитудой погружения бассейна в отдельных его частях и последующей тектонической перестройкой /50,151/.

К о н т а к т о в ы й м е т а м о р ф и з м у г л е й связан с тепловым воздействием магматических пород на угленосные толщи. Степень метаморфизма углей зависит от размеров внедрившихся магматических тел и пространственного соотношения с угольными пластами. Контактовый метаморфизм, связанный с внедрением дайкообразных тел, носит локальный характер и проявляется в узкой приконтактовой полосе, измеряемой первыми метрами. Пластовые интрузии оказывают более существенное и значительное по масштабам влияние на изменение угольных пластов.

Проявления контактового метаморфизма характерны для Тунгусского и Сучанского бассейнов и для месторождений о.Сахалина.

Исключительно резко контактовый метаморфизм выражен в Тунгусском бассейне, где известны интрузии габбро-диабазов и пластовые залежи диабазов мощностью от 5 до 50 м, пронизывающие угленосную толщу пермского возраста. Наблюдениями установлено, что на расстоянии 5-10 м от контакта с интрузивным телом угли сплошь превращены в графит. По мере удаления от интрузии степень метаморфизма углей снижается и уже на расстоянии порядка 200 м от контакта залегают антрациты и тощие угли.

В Сучанском бассейне контактовый метаморфизм также проявлен очень широко. Известны случаи превращения углей в зоне контакта с жилами изверженных пород в природный кокс (рис.4).

Контактовый метаморфизм в практическом отношении следует рассматривать как отрицательное явление, так как он приводит к неравномерным резким колебаниям показателей качества углей в пределах небольших участков.

П о д д и н а м о м е т а м о р ф и з м о м понимают изменение качества углей при сравнительно низкой температуре под влиянием высокого давления, возникающего при складкообразовательных процессах. Большинство исследователей отводит этому типу метаморфизма второстепенную роль в процессах преобразования углистого вещества, считая, что метаморфизм углей заканчивается до эпохи складкообразования и связан с явлениями регионального метаморфизма, происходящими на глубине.

Доказательством этого положения служат условия залегания углей в Донецком бассейне, где антрациты распространены в менее дислоцированной части, чем каменные угли. Аналогичные явления имеют место и в Кузбассе.

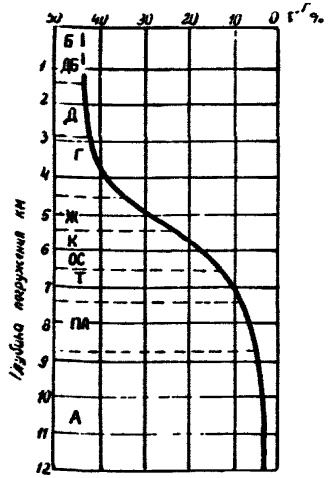


Рис.3 Изменение степени метаморфизма углей в зависимости от глубины погружения пластов (до поднятия).

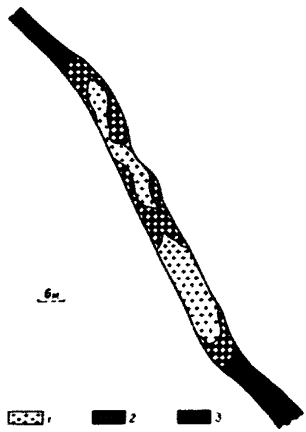


Рис.4 Изменение угля в контакте с изверженными породами.
Пласт C_4, шахта № I, Старосучанский район,
I - кварцевые порфиры;
2 - природный кокс;
3 - антрацит.

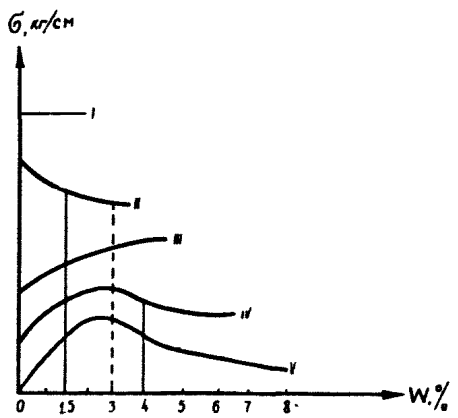


Рис.5 Графики влияния влаги на прочность пород (I - известняки, II - песчаники, III - алевролиты, IУ - аргиллиты, У - углистые сланцы, аргиллиты, песок, глина).

Явления метаморфизма, приведшие к изменению углей от бурых до антрацитов, не могли не сказаться на вмещающих породах. Так же как и угли, породы угленосных толщ обнаруживают ряд признаков вторичных изменений, определяемых петрографическими методами (см. табл.8)./36, 118/. При изучении признаков метаморфизма в породах лучше всего пользоваться песчаниками и алевролитами, так как присутствующий в них кварц очень чувствителен к изменению термодинамических условий и даёт чётко выраженные признаки метаморфизма. На низших стадиях изменения идёт уплотнение породы. Затем в зёрнах кварца начинает появляться волнистое угасание, грануляция и, наконец, разрастание зёрен кварца и переотложение его в поры между зёрнами обломочного материала.

Глинистый материал цемента песчаников (каолинит, гидрослюда, монтмориллонит) в процессе изменения угленосных толщ подвергается серицитизации с последующим переходом серицита в мусковит.

Процесс образования вторичного кварца и серицита может быть учтен количественно.

Известняки в процессе изменения угленосных толщ перекристаллизовываются. Мелкозернистые разности становятся более крупнозернистыми. Остатки организмов замещаются с краев, а иногда и полностью вторичным кальцитом или доломитом.

Вторичные процессы, протекающие в угленосной толще на отрезке, охватывающем метаморфизм углей от бурых до антрацитов, достаточно интенсивно изменяют породы. Эти изменения, в первую очередь, влияют на физико-механические свойства пород, их прочность, пористость и т.д., от которых зависит поведение пород в горных выработках. Так, наличие у песчаников и алевролитов цемента нарастания, а также перекристаллизация цемента, появление вторичного кремния и карбоната способствует повышению прочностных свойств. Появление серицита в породах снижает их прочностные свойства.

Таблица 8

Метаморфические изменения основных типов пород на примере Донбасса

Стадии метаморфизма углей	Песчаники	Алевролиты	Глинистые породы	Карбонатные породы
1	2	3	4	5
Длиннопламенные	Метаморфических изменений не обнаружено			
	Предел прочности на сжатие до 1000 кг/см^2	-	-	Предел прочности на сжатие 1330 кг/см2
Газовые	Появляется вторичный кварц в виде цемента нарастания. Вторичный серицит появляется также в незначительном количестве. Предел прочности на сжатие 1400 кг/см^2.	Изменения аналогичные песчаникам с глинистым цементом. При базальном карбонатном цементе ведет себя как известняк. Предел прочности на сжатие 1200 кг/см^2.	В незначительном количестве появляется вторичный серицит. Предел прочности на сжатие 100 кг/см^2	Слабая перекристаллизация. Скелеты организмов не изменены. Максимальный предел прочности на сжатие 1470 кг/см^2
Жирные	Вторичный кварц образуется более интенсивно в виде цемента нарастания и обрастания. Плагиоклаз слабо изменен. Намечается слабая перекристаллизация карбоната и локализация глинистого материала цемента. Появляется вторичный серицит. Предел прочности на сжатие 1600кг/см^2.	Изменения аналогичные песчаникам с глинистым цементом. Карбонатный цемент ведет себя как известняк. Предел прочности на сжатие 1850 кг/см^2	Вторичный серицит содержится в значительном количестве. Предел прочности на сжатие 130 кг/см^2	Слабая перекристаллизация. Скелеты организмов в единичных случаях по краям теряют четкие контуры. Предел прочности на сжатие 1800 кг/см^2
Тощие	Вторичный кварц более крупный и содержится в значительном количестве; обломочный кварц нередко гранулирован. Полевые шпаты деформированы и изменены. Карбонат заметно перекристаллизован. Предел прочности на сжатие 1800 кг/см^2.	Изменения аналогичны песчаникам с глинистым цементом. Карбонатный цемент ведет себя как известняк.	Вторичный серицит содержится в значительном количестве Появляется гидромусковит. Встречаются мелкие выделения вторичного кварца. Предел прочности на сжатие 150 кг/см^2	Заметная перекристаллизация. Скелеты организмов нередко теряют четкие контуры, сливаясь с основной массой. Максимальный предел прочности на сжатие 2400кг/см$^{-2}$
Антрацит	Вторичный кварц сильно развит; зерна обломочного кварца гранулированы. Сильно развит вторичный кальцит, замещающий полевые шпаты. В цементе много вторичного кальцита, в основном же он кварцево-кремнистый с крупными областями вторичного кварца. Первичный карбонат перекристаллизован. Иногда появляются признаки рассланцевания. Максимальный предел прочности на сжатие 2150 кг/см^2.	Изменения аналогичные песчаникам с глинистым цементом. Карбонатный цемент ведет себя как известняк. Иногда появляются слабые признаки рассланцевания.	Вторичный серицит, гидромусковит и вторичный микрозернистый кварц содержатся в значительных количествах. Иногда встречается вторичный мусковит. Изредка появляются признаки рассланцевания. Предел прочности на сжатие 170 кг/см^2	Перекристаллизация хорошо выражена. Остатки организмов сохраняют первичное строение только в своих центральных частях. Края полностью сливаются с основной массой. Иногда наблюдаются очень слабые признаки рассланцевания. Предел прочности на сжатие более 2500 кг/см^2

Все карбонатные породы и песчаники с карбонатным, а также с кварцевым и кремнистым цементом, с увеличением степени метаморфизма непрерывно повышают свои прочностные свойства.

Глинистые породы претерпевают более сложные изменения. На ранних стадиях метаморфизма они становятся более хрупкими, благодаря интенсивному развитию вторичного серицита, а на более высоких стадиях (антрациты) они делаются более прочными и устойчивыми за счет образования вторичного кварца и карбоната.

Некоторые породы по прочностным свойствам практически не меняются на всем протяжении процесса метаморфизма. К таким породам относится углистый аргиллит с содержанием углистого вещества от 10% и выше.

§ 4. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕЙ И ПОРОД

Одновременно со всесторонним изучением вещественного состава вмещающих пород и углей необходимо проводить систематические определения физических и механических свойств исследуемых пород. Эти определения имеют большое практическое значение и используются в самых различных целях. Для проведения горных раоот особенно важны определения прочностных свойств пород, позволяющие оценить их устойчивость в горных выработках.

В связи с этим ниже остановимся на описании и методах определения главнейших физических и механических свойств углей и пород.

I. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Из физических свойств наиболее важными в практическом отношении являются: I) удельный вес; 2) объёмный вес; 3) пористость; 4) влажность; 5) коэффициент разрыхления.

Удельный и объёмный вес угля и горных пород учитывается во всех расчетах, в которых необходимо знать количество горной мас-

сы. К ним относится определение запасов углей и ёмкости транспортных средств.

Пористость необходимо учитывать при различных инженерно-геологических расчетах, т.к. она обусловливает влажность, влагоёмкость, водо- и газопроницаемость пород.

Коэффициент разрыхления необходимо знать для определения высоты зоны обрушения и характера обрушаемости кровли в выработанном пространстве, для определения объёма выдаваемых из шахты пустых пород и т.п.

Для макроскопического выделения типов угля в пласте большое значение имеют такие его свойства, как блеск, цвет, цвет черты и излом.

Б л е с к бывает матовый, смоляной, жирный, стеклянный, алмазный, металлический. Степень блеска зависит от петрографического состава, степени метаморфизма и зольности углей. Гумусовые угли, в которых преобладает гелифицированная основная масса, обладают более сильным блеском. Степень блеска (при одинаковой зольности и петрографическом составе) возрастает с уменьшением летучих веществ.

Сапропелиты и липтобиолиты не имеют отчетливо выраженного блеска: у сапропелитов он может быть матовым, шелковистым, смоляным и редко - стеклянным; липтобиолитов - преимущественно матовый, редко полублестящий.

Сила блеска у всех ископаемых углей с увеличением зольности уменьшается. Визуальные определения степени блеска углей носят субъективный характер, поэтому для более точного определения отражательной способности пользуются фотометром или селеновым фотоэлементом.

Ц в е т углей может изменяться от светло-коричневого до черного с различными оттенками в зависимости от генетического

типа, петрографического состава, степени метаморфизма и зольности. Гумусовые угли имеют преимущественно черный цвет, с увеличением степени метаморфизма переходящий в серо-чёрный с серым и стальным оттенком. Бурые угли имеют светлокоричневую и реже серо-черную окраску. Для липтобиолитов характерен буровато-коричневый цвет, для сапропелитов - светло-коричневый и оливковый. Угли, обогащенные минеральными примесями, приобретают сероватый оттенок.

Цвет черты на фарфоровой пластинке (цвет угля в порошке): гумусовые угли низкой степени метаморфизма дают буроватую черту; высокометаморфизованные угли и антрациты - черную с металлическим оттенком; сапропелиты и липтобиолиты - светло-желтую или бурую черту.

Излом (форма поверхности скола или разлома) зависит, главным образом, от генетического типа вещественного состава и в меньшей степени - от степени метаморфизма угля. Для сапропелевых и гумусовых углей характерны раковистый, угловатый, ступенчатый, неровный, зернистый, струйчатый, волокнистый изломы.

Раковистый излом присущ блестящим углям всех степеней метаморфизма и некоторым матовым, в частности, сапропелитам. У блестящих углей встречается также угловатый и ступенчатый изломы, а у матовых - главным образом, неровный, иногда зернистый.

Землистый излом характеризует бурые угли, а волокнистый - лигниты.

Для определения удельного и объёмного веса, пористости и влажности пород и углей существует ряд различных методов.

Удельный вес породы (γ_0) - вес единицы объёма твердой фазы (скелета) абсолютно сухой горной породы. Определение удельного веса производится пикнометрическим методом.

Метод основан на изменении веса пикнометра (мерная колба точного объёма), наполненного жидкостью, при замене части этой жидкости навеской исследуемого материала. Определение сводится к следующим операциям: предварительно измельченная до 0,2 мм навеска пробы в 10-20 г засыпается в ранее взвешенный пикнометр. Затем взвешивают пикнометр с пробой, заливают его дистиллированной водой на 2-3 объёма и помещают на 20-30 минут в кипящую баню для удаления воздуха из породы. После удаления воздуха пикнометр охлаждается до постоянной температуры 20°С, доливается водой до отметки и снова взвешивается.

Вычисление производится по формуле:

$$\gamma_o = \frac{B}{A+B+C},$$

где B - вес абсолютно сухой навески;

C - вес пикнометра с навеской и водой;

A - вес пикнометра с водой.

Вес пикнометра с водой определяют в начале или в конце работы.

О б ъ ё м н ы м в е с о м (γ) породы называется вес единицы ее объёма при естественной пористости и влажности и определяется отношением веса образца к его объёму.

Объёмный вес устанавливается полевым или лабораторным методом.

Определение объёмного веса угля в массиве производится одним из следующих способов: 1) способом пробной вырубки; 2) аналитическим подсчетом на основе лабораторных определений.

Способ пробной вырубки заключается в следующем: в горной выработке после тщательного выравнивания поверхности забоя производится вырубка угля в виде ниши прямоугольной формы с ровными стенками. Несколькими промерами определяется объём вырубки, ко-

торый должен составлять не менее I $м^3$. Весь полученный при вырубке материал тщательно взвешивается и вес делится на объём вырубки.

Способ пробной вырубки позволяет получить объёмный вес угля определенной зольности только в месте вырубки его из массива. Поэтому его рекомендуется применять на месторождениях, представленных пластами с выдержанной структурой и зольностью или как контрольный по отношению к аналитическому /94/.

Д.А.Казаковский /94/, установив линейную зависимость между объёмным весом угля и содержанием в нем внутренней золы, предложил производить определение объёмного веса всех марок каменных углей и антрацитов способом аналитического подсчета, пользуясь выражением:

$$\gamma_ц = \gamma_л + 0{,}007\left(A^c_в - A^c_{вл}\right) + \Delta\gamma_ц$$

где: $\gamma_ц$ - объёмный вес угля в целике;

$\gamma_л$ - средний объёмный вес угля при пластовой влажности по данным гидростатического взвешивания;

$A^c_{вл}$ - среднее содержание внутренней золы в процентах в образцах, использованных для определения $\gamma_л$;

$A^c_в$ - среднее содержание внутренней золы для того или иного пласта, по которому определяется $\gamma_ц$;

$\Delta\gamma_ц$ - поправка за счет породы (3-4%), не поддающейся удалению при определении среднего веса угля в вагонетках; эта поправка принимается + 0,002 при подземной и + 0,03 при открытой разработке;

0,007 - установленный эмпирическими исследованиями коэффициент изменения объёмного веса при увеличении внутренней зольности каменного угля и антрацита на I %.

Как показали исследования последних лет /58/, коэффициент изменения объёмного веса при увеличении внутренней зольности каменного угля на I% может иметь значения от 0.007 до 0.0I и область применения этой формулы с учетом указанных коэффициентов ограничивается зольностью угля 35-40%.

Формула Д.А.Казаковского позволяет определить объёмный вес угля для любой точки пласта, в которой известна зольность угля. Практически определение производится следующим образом. Определяют величины $\gamma_л$ и $A^c_{вл}$, для чего из разрабатываемых пластов отбираются 30-40 образцов чистого угля весом 200-250 г. Каждый образец раскалывается на две неравные части, из которых меньшая (50-I00г) поступает на определение зольности угля, а большая на определение его объёмного веса методом гидростатического взвешивания, который производится по следующей схеме:

I) очищенные от примазок образцы дважды взвешиваются на технических весах с точностью до 0,I г (P_1);

2) образцы погружают в воду на I0-I5 минут для заполнения пор, вынимают, тщательно обтирают промокательной бумагой и вновь дважды взвешивают в воздухе на технических весах с точностью до 0,I г (P_2);

3) взвешивают с той же точностью дважды образцы на гидростатических весах погруженными в воду (P_3).

Значение объёмного веса ($\gamma_л$) образца вычисляется по формуле:

$$\gamma_л = \frac{P_1}{P_2 - P_3}$$

Для определения объёмного веса можно рекомендовать применение денситометра (измерителя плотности Симонова) /27/. Денситометр позволяет определять объёмный вес пород и углей в пределах от I.2 до 4.2 г/см^3 с точностью до 0.0I г/см^3 без взвешивания образцов и последующего вычисления.

Лабораторные определения объёмного веса и зольности угля следует производить не позднее 12 часов после отбора образцов в шахте /58/.

Для определения объёмного веса рыхлых, легко разрушающихся углей и размокающих в воде пород применяют метод предварительного парафинирования образцов / 125 /.

Объёмный вес углей зависит от их природы, степени метаморфизма и зольности. Сапропелиты и гумито-сапропелиты легче гумусовых углей. В зависимости от степени метаморфизма объёмный вес гумусовых углей при прочих равных условиях изменяется от 1,20-1,28 у газовых до 1,30-1,35 у отощенных спекающихся и тощих углей; наибольший объёмный вес (1.50-1.90) имеют антрациты. С увеличением зольности углей объёмный вес их возрастает.

Объёмный вес вмещающих пород зависит от степени уплотнения, минералогического состава и типа цементации и для одних и тех же литологических разновидностей может существенно меняться.

Наиболее часто породы имеют объёмный вес: песчаники 2,1-2,65, алевролиты 2,20-2,54, аргиллиты 2,28-2,51, известняки 2,30-2,90 г/см^3. Объёмный вес известняков сильно зависит от их трещиноватости /97/.

П о р и с т о с т ь - общий объём всех пустот в горной породе. Количественно пористость породы обычно характеризуется коэффициентом пористости ($K_п$), который представляет собой отношение разности между удельным и объёмным весом к удельному весу и выражается в процентах.

$$K_п = \frac{\gamma_o - \gamma}{\gamma_o} 100\%$$

Для определения пористости существует ряд методов, из которых наиболее распространенным и сравнительно простым является метод насыщения (поглощения). Образцы горной породы помещаются

в вакуумное устройство (эксикатор) и из образцов с помощью насосов откачивается воздух, этим же насосом откачивается воздух и из колбы с водой, затем вода из колбы под вакуумом переливается в эксикатор. Некоторое время после перелива в системе поддерживается вакуум до тех пор, пока из образца не перестают выделяться пузырьки воздуха, после чего можно начинать определение.

Отношение веса воды ($P_в$), насыщающий образец, к общему весу образца (Ро)(в %), умноженное на объёмный вес (γ) характеризует так называемую эффективную пористость ($P_{эф}$).

$$P_{эф} = \frac{P_в}{P_o} \cdot \gamma \cdot 100\%$$

По величине общей пористости горные породы подразделяются на три группы:

I) породы низкой пористости (P < 5%);

2) породы средней пористости (20% > P > 5%);

3) породы высокой пористости (P > 20%).

Наибольшей пористостью обладают пески (30-50%) и хорошо отсортированные песчаники (25-30%). Окаменевшие глинистые породы, как правило, обладают пониженной пористостью.

Карбонатные породы в зависимости от их степени глинистости и перекристаллизации характеризуются пористостью, снижающейся до 2-3% и более.

Между пористостью и некоторыми другими свойствами пород существует определенная зависимость. Например, чем меньше пористость, тем выше их прочность и объёмный вес /24,206/.

Повышение прочности при уменьшении пористости объясняется тем, что увеличивается площадь контакта между зернами, слагающими горную породу. Увеличение прочности на сжатие при уменьшении пористости особенно велико у известняков. Их прочность возрастает с 50 до 2000 кг/см^2 при уменьшении пористости с 40 до 2%.

У песчаников прочность увеличивается в 6 раз при уменьшении пористости всего лишь в I,5 раза.

В л а ж н о с т ь характеризуется количеством воды, находящейся в порах горной породы при естественном их залегании. Естественная влажность пород определяется взвешиванием влажного и того же, но высушенного при температуре I05-II0° образца и вычисляется по формуле

$$W = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100\%$$

где P_1 – вес влажного образца;

P_2 – вес высушенного образца.

По мере насыщения породы жидкостью меняются ее механические свойства. Пески (мелко-зернистые) переходят в плывуны, глины часто разбухают. Экспериментальными работами /I20,206/ установлено, что прочностные и деформационные свойства пород в зависимости от содержания в них влаги могут значительно изменяться. Так, например, (рис.5) при увеличении влаги предел прочности на сжатие, изгиб и модуль упругости уменьшаются, а относительная деформация повышается /I39/.

К о э ф ф и ц и е н т р а з р ы х л е н и я – характеризует способность горной породы увеличивать свой объём при различных способах разрушения. Количественно он определяется отношением объёма, занимаемого породой после разрушения, к объёму её до разрушения. Коэффициент разрыхления зависит от свойств породы, способа отделения ее от массива и размеров кусков, полученных в результате разрушения массива. Коэффициенты разрыхления различных пород и углей приведены в приложении 3.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД

Изучением механических свойств горных пород предусматривается определение прочности и упругих свойств.

Прочность пород оценивается пределами прочности при испытаниях на сжатие, разрыв, изгиб, срез и удар.

Прочностные показатели зависят прежде всего от минералогического состава и в пределах минералогических групп от строения горной породы и способа связи ее частиц. Прочность пород зависит от их пористости, трещиноватости, зернистости и характера цемента, скрепляющего зерна. Наличие рыхлых структур, трещиноватости и пористости резко снижает сопротивляемость пород, сложенных даже очень прочными минералами.

Мелкие угловатые минеральные зерна обусловливают более высокую прочность слагаемых пород по сравнению с породами, сложенными окатанными зернами неравномерной крупности.

Мелкозернистые породы обладают более высокой прочностью, чем более крупнозернистые породы того же состава.

Прочностные показатели важны для практики горного дела. От прочности горных пород зависит скорость проходки скважин и горных выработок, их устойчивость, а следовательно, виды, формы и типы крепи, степень воздействия взрыва и воды на горную породу и т.п.

Для оценки относительной сопротивляемости горных пород разрушению при добыче широко пользуются коэффициентом и шкалой крепости, предложенной проф.М.М.Протодьяконовым /152/ (см.табл.II). За единицу крепости принята величина временного сопротивления одноосному сжатию, деленная на 100. Коэффициент крепости (f) вычисляется по формуле $f = \frac{\sigma_{сж}}{100}$

П р е д е л п р о ч н о с т и п р и с ж а т и и. Определение предела прочности горных пород на сжатие ($\sigma_{сж}$) производится на прессах, сжимающих образцы правильной формы. На международном совещании по прочности горных пород в Праге в 1961 году /153/ было принято решение изготовлять образцы только цилиндри-

ческой формы с диаметром равным 42 мм и такой же высоты. Отклонения указанных величин допустимы в пределах 40–45 мм.

Образцы цилиндрической формы получают путем разрезания кернов на части, причем торцевые поверхности должны быть отлифованы так, чтобы отклонение от параллельности не превышало бы 0,05 мм. Образец устанавливается в центре между плитами пресса. Скорость нагружения должна быть в пределах от 5,0 до 10,0 $\frac{кг.сек}{см^2}$ Нагрузка должна повышаться до разрушения образца и по максимальной ее величине определяется прочность породы на сжатие:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{max}}{F_o} \quad кг/см^2,$$

где P_{max} – максимальная разрушающая сила при одноосном сжатии,

F_o – начальная площадь поперечного сечения образца.

Во ВНИМИ разработан метод упрощенных механических испытаний твердых пород, – так называемый метод соосных пуансонов /120/.

Для определения предела прочности породы на сжатие образцы этой породы, изготовленные в форме плоских дисков, сжимаются между двумя одинаковыми плоскими круглыми пуансонами, расположенными точно друг против друга (соосно). При этом диаметр пуансонов (11,27 мм или 7,98 мм) меньше диаметра образцов. Испытаниям подвергаются дисковые образцы диаметром от 30 до 120 мм. Сжатие производится под действием нагрузки, плавно возрастающей до разрушения образца. Величина максимально достигнутой при этом нагрузки, а также диаметры пуансонов и образца дают возможность определить предел прочности породы на одноосное сжатие.

Предел прочности на сжатие зависит от направления приложения нагрузок по отношению к слоистости пород.

Разница между величинами разрушающей нагрузки, приложенной параллельно и перпендикулярно наслоению пород довольно существенна. Так, для пород кровли пласта "Верхняя Марианна" Карагандинско-

го бассейна предел прочности на сжатие перпендикулярно напластованию больше предела прочности на сжатие направленного параллельно ему в среднем на 30-40% для угля и 10-30% для пород кровли (табл.9) /67/.

Таблица 9

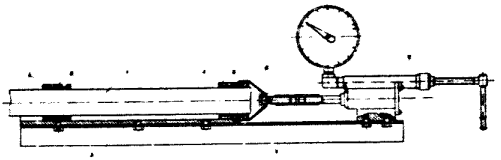
Пределы прочности пород пласта "Верхняя Марианна"

Породы	Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$, кг/см^2	
	перпендикулярно напластованию	параллельно напластованию
Уголь:		
верхний слой пласта	130	70
нижний слой пласта	85	50
Песчаник	500	380
Аргиллит	270	210
Алевролит	420	370

Предел прочности при разрыве. Испытание на разрыв производится разрывной машиной мощностью от 2 до 5 т. Образец горной породы в виде стержня закрепляется в захватах машины, после чего нагрузка постепенно увеличивается до момента разрушения образца. При испытаниях на растяжение трудность представляет создание надежного способа закрепления образца в захватах. Одним из способов является изготовление из камня фигурных образцов.

В последнее время для изучения горных пород на одноосное растяжение в полевых условиях предложен ряд специальных методов испытания кернов на приборах разработанных во ВНИМИ /106,107/. В приборе, изображенном на рис. 6-1, предел прочности керна на разрыв по поверхностям напластования определяется путем испытания его на чистое растяжение. В другом приборе (рис.6-2) керн испытывается

1.



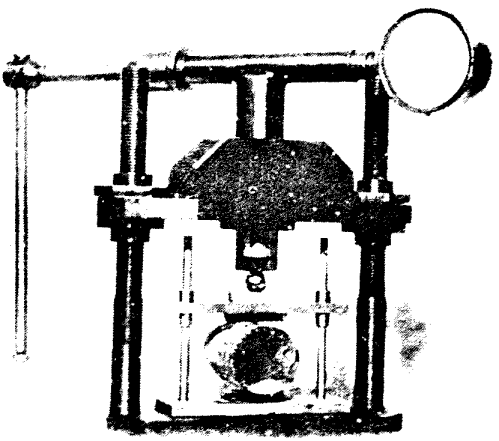


Рис.6 Приборы для испытания пород на растяжение.
I. Для испытания кернов на растяжение.
2. Для испытания образцов на разрыв.

на растяжение путем раскалывания его сосновыми клиньями. В последнем случае временное сопротивление на разрыв (σ_p) определяется по формуле:

$$\sigma_p = K \cdot \frac{P}{S} \text{ кг/см}^2,$$

где P – усилие раскалывания, кг;

S – площадь раскола, см^2;

K – коэффициент, учитывающий механические свойства пород и определяемый экспериментально. Для аргиллитов $K=0,84 \div 0,86$, для алевролитов и песчаников $K=0,90 \div 0,92$.

Предел прочности пород на сдвиг определяется при испытаниях на срез. Призматический образец размером 5x5xI0 см устанавливается между двумя наклонными матрицами, которые сжимаются на прессе. Срез происходит в плоскости наклона матриц (рис.7) /20I/.

Для определения крепости пород вышеописанными методами необходимо сложное лабораторное оборудование, а сам процесс изготовления кубиков или дисков довольно трудоёмок.

В практике часто пользуются методами упрощенного определения коэффициента крепости по буримости, внедрению наконечника, вдавливанию шарика и др. /2I0/. Наиболее широко применяемым является метод определения удельной работы дробления (метод толчения), предложенный М.М.Протодьяконовым /I52/. Метод в том виде, как его применяют для определения крепости, заключается в следующем. Из образца исследуемой породы весом I,5-2,0 кг с помощью молотка заготовляют до 5 навесок весом от 50 до I00 г каждая, состоящие из нескольких кусков размером 20-30 мм. Отобранные навески засыпаются поочередно в прибор для дробления. Этот прибор, отличающийся исключительной простотой, представляет собой металлическую трубу

диаметром 50-60 мм, длиной 0,5 м; дно трубы в виде стакана укреплено на металлической подставке (рис.8). Над трубой укреплен блок, через который пропущена бечевка с привязанной к ней гирей весом 2,4 кг.

На дно стакана одним равномерным слоем засыпают навеску. Затем пробу дробят сбрасыванием гири с блока. Обычно совершают от 3 до 20 ударов гирек в зависимости от их крепости с таким расчетом, чтобы объём мелочи, образовавшейся в результате дробления составлял около 25% навески. Все раздробленные пять навесок затем ссыпают вместе на одно сито и просеивают через отверстия 0,5 мм. Прошедшую через сито фракцию ссыпают в специальный объёмомер диаметром 23 мм, по миллиметровым делениям которого определяют высоту столбика этой фракции в объёмомере.

Коэффициент крепости определяется по формуле $f = \frac{20n}{\ell}$, где n – число сбрасываний гири; ℓ – высота мелкой фракции в объёмомере, мм.

Все вышеописанные способы определения крепости горных пород имеют общий недостаток, заключающийся в том, что они не могут применяться непосредственно в шахте.

НИГРИ /190/ предложил метод забойного определения крепости горных пород с помощью портативного прибора (рис.9). Прибор имеет два соосно расположенных конусных зуба из твердого сплава с определенным углом заточки (40^0). Образец горной породы в виде пластинки толщиной 4 мм помещают между наконечником I и ограничителем 2 и сжимают рукоятки. Когда наконечник 3 коснется образца, то последний окажет сопротивление внедрению зубьев. Это сопротивление через наконечник 3 и поршень передается столбу жидкости, залитой в переходник 4 и манометр 5, стрелка которого зафиксирует усилие внедрения наконечников в образец. Между показаниями прибо-

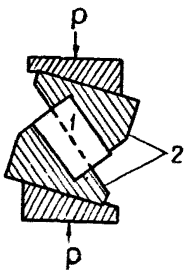


Рис.7 Схема испытания образцов на сдвиг.
1 - образец;
2 - матрицы.

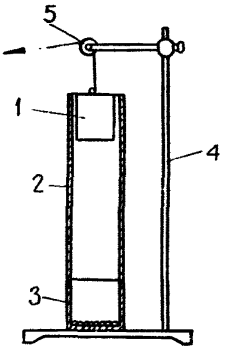


Рис.8 Прибор для определения крепости горных пород методом толчения.
1 -гиря; 2 -цилиндр;
3 -стакан;4 -штатив;
5 -блок.

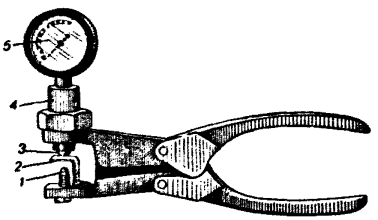


Рис.9 Полевой прибор для определения крепости горных пород по разрушению образца:
1-3 - конечники; 2 - ограничитель;
4 - переходник; 5 - манометр.

ра и пределом прочности на одноосное сжатие имеется четкая корреляционная зависимость $f = 0{,}15\,P$,

где f - коэффициент крепости по М.М.Протодьяконову;

P - показание манометра, кг/см^2.

Зная вышеприведенное уравнение, возможно отградуировать манометр в единицах крепости по шкале проф. М.М.Протодьяконова.

Для быстрого и достаточно точного определения крепости вмещающих пород непосредственно в массиве можно рекомендовать прибор РПК-2 конструкции КузНИУИ. Принцип работы прибора основан на внедрении в породу под действием пружины острого победитового наконечника. Глубина внедрения наконечника определяется по стрелке индикатора часового типа с точностью отсчета 0.01 мм. Зная глубину внедрения наконечника, по графику (рис.10) определяют коэффициент крепости породы.x)

При разрушении горных пород в процессе бурения важны такие прочностные показатели как твердость и абразивность.

Твердость характеризует способность породы оказывать сопротивление проникновению в нее другого тела. Твердость горных пород зависит от твердости отдельных минералов; от твердости, прочности и количества цемента и их плотности (объёмного веса). Степень твердости определяют различными способами: царапанием, шлифованием, сверлением, вдавливанием и др.

В настоящее время получил распространение метод определения твёрдости горных пород путем вдавливания в образец штампов на специальной установке УМГП-3, предложенный Л.А. Шрейнером /210/.

Сущность метода состоит в следующем. В отшлифованную поверхность образца, толщиной не менее 30-50 мм, вдавливается штамп с площадью основания от 1 до 5 мм^2. Твердость породы по штам-

x) Инструкция по эксплуатации прибора РПК-2. Фонды КузНИУИ

пу ($P_ш$) определяется отношением разрушающей нагрузки (P) к площади штампа (S) и измеряется в кг/мм^2, т.е.

$$P_ш = \frac{P}{S} \quad кг/мм^2$$

По данным измерений строят графики зависимости деформации от нагрузки. В зависимости от вида кривой деформации (рис.II) породы разделяются на хрупкие (кривая I), хрупко-пластичные (кривая 2) и пластичные (кривая 3) /I65,2I0/.

Л.А. Шрейнер предложил классификацию горных пород по твердости (табл.I0), которая соответствует I2-бальной шкале буримости (см.приложение... 3), принятой при колонковом бурении.

Таблица I0

Класс породы	I	II	III	IУ	У	УI	УI	УШ	IX	X	XI	XII
твердость кг/см^2	<I0	I0--25	25--50	50--I00	I00--I50	I50--200	200--300	300--400	400--500	500--600	600--700	>700

А б р а з и в н о с т ь – способность горных пород изнашивать при трении породоразрушающий инструмент. Л.И. Барон и А.В. Кузнецов /22/ предложили за показатель абразивности принимать выраженную в мг потерю в весе эталонного стержня из незакаленной стали-серебрянки диаметром 8 мм, истирающегося о необработанную горизонтальную поверхность образца при осевом усилии I5 кг и скорости вращения 400 об/мин в течение I0 мин. Абразивные свойства породы зависят от твердости минералов, размера и формы зерен, от их взаимного расположения, прочности цемента и трещиноватости. Наибольшей абразивностью обладают кварцевые и аркозовые песчаники, наименьшей – аргиллиты и глинистые сланцы /22/.

В углях различают два вида твердости: минералогическую и абразивную. Минералогическая твердость углей колеблется в пределах I–4 (относительно витрена). Наибольшей твердостью обладают антра-

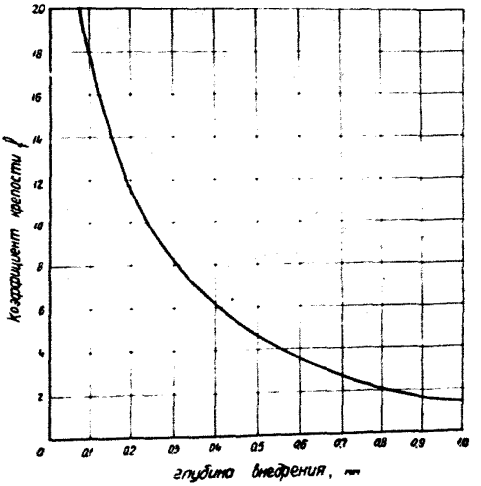


Рис.IO График для определения коэффициента крепости пород.

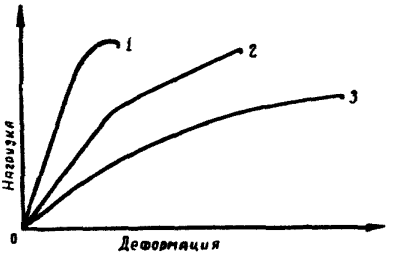


Рис.II Характерные диаграммы деформаций горных пород при вдавливании штампа.

циты; несколько меньше она у длиннопламенных и газовых и еще меньше у коксовых и жирных углей. Под абразивной твердостью понимается степень сопротивляемости петрографических типов угля истиранию. В шлифах и прилифонках она выражается в рельефе различных петрографических компонентов угля. Наибольшую абразивную твердость имеет фюзен, наименьшую витрен. Твердость возрастает с увеличением зольности.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОРОД

К упругим свойствам горных пород относится их способность восстанавливать первоначальные размеры и форму после снятия напряжений.

Упругие свойства горных пород находят широкое применение в горном деле и геологии. Они используются в расчетах по разрушению пород взрывом и при решении вопросов горного давления и управления кровлей.

Определяются обычно два упругих показателя - модуль упругости и коэффициент Пуассона /201/.

Модуль упругости (Е) - коэффициент пропорциональности между действующим продольным напряжением (σ) (сжимающим или растягивающим) и соответствующей ему относительной деформацией $\frac{\Delta \ell}{\ell}$, где $\Delta \ell$ - абсолютное удлинение (или сокращение); ℓ - первоначальная длина образца. $E = \frac{\sigma}{\Delta \ell / \ell}$, кг/см^2.

Коэффициент Пуассона (μ) - отношение поперечного расширения образца к его продольному сжатию.

$$\mu = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}$$ (величина безразмерная),

где ε_1 - деформация поперечного расширения;

ε - деформация продольного сжатия.

Упругие свойства пород зависят от упругих свойств слагающих

их минералов и связей между ними. Повышение пористости снижает влияние минерального состава на упругие свойства пород. Между пористостью и модулем упругости, для пород у которых $E \leqslant 7.10^5$ и $P \leqslant 26\%$ установлена следующая корреляционная зависимость:

$$E = (7{,}85 - 0{,}29P) \cdot 10^5$$

Модуль упругости резко возрастает с увеличением объёмного веса пород. Объёмный вес (γ) и модуль упругости находятся в следующей корреляционной зависимости:

$$E = (7{,}2\ \gamma - 13{,}05) \times 10^5$$

Определение упругих свойств пород можно производить как на образцах, так и в массиве. Наиболее часто применяемый метод определения упругих параметров заключается в измерении деформаций сжимаемых образцов при помощи зеркального тензометра /200/. Способ определения упругих свойств пород в массиве основан на измерении скорости прохождения продольных и поперечных упругих волн. с помощью ультразвукового сейсмоскопа / 200 /.

Таблица II

Классификация горных пород (по проф.М.М.Протодьяконову)

Категория	Степень крепости	Породы	Коэффициент крепости
I	2	3	4
I	В высшей степени крепкие породы	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты; исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие породы	Очень крепкие гранитовые породы; кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец; кварциты, менее крепкие, чем указанные выше; самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие породы	Гранит (плотный) и гранитовые породы; очень крепкие песчаники и известняки; кварцевые рудные жилы; крепкий конгломерат; очень крепкие железные руды	10

I	2	3	4
Ша	Крепкие породы	Известняки (крепкие); некрепкий гранит; крепкие песчаники; доломит; крепкий мрамор; колчеданы	8
IУ	Довольно крепкие породы	Обыкновенный песчаник; железные руды	6
IУа	Довольно крепкие породы	Песчанистые сланцы; сланцевые песчаники	5
У	Породы средней крепости	Крепкий глинистый сланец; некрепкий песчаник и известняк; мягкий конгломерат	4
Уа	Породы средней крепости	Разнообразные сланцы (некрепкие); плотный мергель	3
УI	Довольно мягкие породы	Мягкий сланец; очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс; мерзлый грунт, антрацит, обыкновенный мергель, разрушенный песчаник; сцементированные галька и хрящ; каменистый грунт	2
УIа	Довольно мягкие породы	Щебенистый грунт; разрушенный сланец; слежавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь, отвердевшая глина	I,5
УП	Мягкие породы	Глина (плотная); мягкий каменный уголь; крепкий нанос; глинистый грунт	I,0
УПа	Мягкие породы	Легкая песчанистая глина, лесс, гравий	0,8
УШ	Землистые породы	Растительная земля; торф; легкий суглинок; сырой песок	0,6
IX	Сыпучие породы	Песок, осыпи, Мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие породы	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс и другие разжиженные грунты	0,3

ГЛАВА 2

МОРФОЛОГИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В понятие "морфология угольного пласта" входит представление о форме, строении и мощности пласта угля и его частей.

В зависимости от формы и мощности выделяются три разновидности угольных тел, сложенных либо одной угольной массой, либо комплексом парагенетически связанных слоев угля и пород:

I) пласт - имеющий почти параллельные поверхности кровли и почвы;

2) залежь - с непараллельными поверхностями кровли и почвы и быстро изменяющейся мощностью;

3) линза - сравнительно быстро выклинивающееся угольное тело обычно небольшой мощности.

Наиболее часто встречающейся формой угольных тел является угольный пласт.

§ I. СТРОЕНИЕ И МОЩНОСТЬ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Пласты угля можно классифицировать по следующим признакам: строению, мощности, выдержанности и кондиционности.

Строение. Все пласты угля по строению подразделяются на простые и сложные. Пластом простого строения называется такой пласт угля, который состоит из одной угольной пачки. Сложным называется пласт, сложенный комплексом угольных пачек и породных прослоев /88/.

Под угольной пачкой понимается часть угольной массы пласта, заключенная между двумя породными прослоями или между породным прослоем и кровлей или почвой пласта.

Породным прослоем называется такой прослой, в котором содержание золы превышает установленные для данного бассейна или месторождения кондиции. Породные прослои мощностью менее I см самостоятельно не выделяются, а входят в состав угольной пачки.

Угольным слоем называется тонкий угольный пласт или часть угольного пласта (пачки), различающаяся по петрографическому составу, крепости или зольности.

При подземной эксплуатации пачки угля, отделенные от основного пласта прослоем породы, могут быть отнесены к этому пласту, если мощность породного прослоя не больше мощности отделяемой пачки (или суммарной мощности отделяемых сближенных угольных пачек см.рис. I2-2), а пластовая зольность всего пласта с учетом засорения не превышает кондиционную для данного месторождения. При этом одна или обе пачки могут быть некондиционными по мощности, но пласт в целом удовлетворяет кондициям.

Если одна из пачек имеет большую мощность, то в расчет суммарной зольности принимается не вся пачка, а только часть её, смежная с разделяющим прослоем, не превышающая мощность эксплуатационного слоя.

Если расстояние между пластами такое, что не позволяет осуществлять независимую их эксплуатацию, то такие угольные пласты называются сближенными.

Мощность и выдержанность. При геолого-разведочных и эксплуатационных работах определяют общую или геологическую мощность пласта, под которой понимается кратчайшее расстояние между его кровлей и почвой. По мощности пласты угля можно разделить на следующие группы:

I) весьма тонкие	до 0,50 м	/47,149/
2) тонкие	0,50 - I,30 м	
3) средней мощности	I,30 - 3,50 м	

3) относительно мощные 3,50 - 7,00 м

4) мощные 7,00 -I5,00 м

5) очень мощные свыше I5,0 м

По степени выдержанности мощности угольные пласты при геолого-разведочных работах подразделяются на три группы /88/:

I) Устойчивые, мощность которых выдерживается на всей разведанной площади с незначительными отклонениями от среднего значения; участки с нерабочей мощностью в пределах разведанной части пласта отсутствуют;

2) Относительно устойчивые, мощность которых имеет значительные колебания в пределах разведанной площади, но, как правило, на большей части этой площади не выходит за пределы кондиционного значения; при наличии перехода мощности в нерабочую установлена определенная закономерность такой изменчивости, позволяющая выделить некондиционные по мощности участки пласта;

3) Неустойчивые, мощность которых часто выходит за пределы кондиций, причем этот переход не имеет установленной закономерности и определяется как геологическими причинами, так и близостью величины мощности к пределу рабочего значения.

При эксплуатации необходимо определять изменчивость мощности угольного пласта по выемочному участку путем подсчета мощностей по подготовительным и нарезным выработкам участка и расчета коэффициента вариации мощности по формулам:

$$V = \frac{\sigma}{m_{ср}} \cdot 100\% \quad и \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - m_{ср.}}$$

где σ - среднее квадратическое отклонение мощности пласта в метрах, вычисленное по первым разностям;

x_i - замеренные значения мощности пласта;

n - количество замеров мощности пласта в пределах участка;

$m_{ср}$ - средняя арифметическая мощность.

При $V < 15\%$ пласт в пределах выемочного участка следует считать выдержанным; при $V > 15\%$ - невыдержанным.

В соответствии с мощностями составных частей пласта и их зольностью все угольные пласты с точки зрения целесообразности их разработки делятся на рабочие и нерабочие.

Рабочим угольным пластом следует называть такой комплекс угольных пачек (или одну пачку) и разделяющих их прослоев пород, который имеет средне-взвешенную зольность не выше, а суммарную мощность угольных пачек не ниже установленных для балансовых запасов кондиций по данному месторождению (приложение 4), в расчёт средневзвешенной зольности не принимаются породные прослои, которые можно вынуть не засоряя уголь.

Нерабочим пластом считается пласт, не удовлетворяющий требованиям кондиций по мощности и зольности.

Кроме рабочей (кондиционной) мощности при эксплуатации выделяется еще несколько видов мощности (рис.12-1):

1) вынимаемая мощность - сумма мощностей угольных пачек и породных прослоев, вынимаемых при эксплуатации;

2) вынимаемая полезная - суммарная мощность угольных пачек вынимаемой части пласта;

3) эксплуатационная мощность - вынимаемая мощность плюс мощность слоев пород кровли или почвы (при очень крутом падении), попадающих в добычу.

При разработке мощных пластов угля выделяются эксплуатационные слои - части угольного пласта определенной мощности, вынимаемые раздельно. Эксплуатационный слой может быть частью большой по мощности угольной пачки и может включать несколько угольных пачек.

§ 2. МИНЕРАЛЬНЫЕ ПРОСЛОИ И ВКЛЮЧЕНИЯ

Породные прослои в угле различаются по составу, мощности, площади распространения и выдержанности. Чаще всего они представлены аргиллитами, алевролитами, углистыми их разностями и реже - песчаниками. Встречаются также и минерализованные прослои.

Кроме породных прослоев в угольных пластах встречаются следующие минеральные примеси и включения /II4/:

I) валуны, гальки и гравий;

2) терригенный и пирокластический материал, рассеянный в основной массе угля;

3) конкреции, минерализованные линзы, "плиты", минерализованные стволы и пни деревьев;

4) минеральные образования, заполняющие трещины и полости в угле.

Указанные включения и примеси образовались в разные стадии формирования угольного пласта. Первые две группы включений и рассмотренные выше породные прослои сингенетичны пласту угля и связаны с привносом материала извне; последние - эпигенетичны и образуются в стадию катагенеза и, возможно, в стадию раннего метаморфизма. К четвертой группе также относятся минеральные образования зоны окисления.

Терригенный материал представлен, главным образом, зернами кварца, глинистых минералов, полевых шпатов, слюды и обломков пород. Для пирокластического материала характерны те же, но измененные минералы, а также вулканическое стекло и пепел.

Минерализованные прослои и линзы образуются в результате выпадения из коллоидных растворов кварца, халцедона, опала, серного колчедана, гематита, сидерита, доломита, глинистых и других минералов /II4/.

К этому же типу минеральных образований относятся и конкреции. Форма их бывает разнообразной, чаще округлой (шары, почки, желваки), иногда слабо ветвистой. Размеры обычно не превышают 5-25 см, реже - до 50 см и более по длинной оси. Встречаются и линзообразные конкреции, представляющие собой переходную форму к минерализованным прослоям и линзам. Нередко конкреции бывают покрыты угольной коркой скорлуповатого строения ("угольные шары", "угольные почки") и внутри содержат минерализованные растительные остатки хорошей сохранности /72,116/.

Расположение конкреций в пласте может быть различным - как в виде отдельных рассеянных тел, так и в виде цепочек, а иногда и крупных скоплений (рис.13).

Минералы инфильтрационного происхождения (кварц, халцедон, опал, пирит, арагонит, карбонаты железа и магния и др.) образуются в результате выпадения из растворов и заполнения трещин и полостей в уже сформировавшихся горных породах.

С процессами выветривания связано образование гипса, талька, окислов и гидроокислов железа, глинистых минералов.

§ 3. НАРУШЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Под нарушением угольного пласта следует понимать изменения его мощности, строения или залегания из-за тех или иных геологических причин, оказывающие существенное влияние на ведение горных работ.

По времени образования нарушения разделяются на первичные и вторичные. К первой группе относятся все изменения происшедшие до литификации угленосной толщи; к вторичным относятся нарушения, образовавшиеся после литификации.

К первичным нарушениям угольного пласта относятся: 1)неровности его кровли или почвы, 2)выклинивание и фациальное замещение.

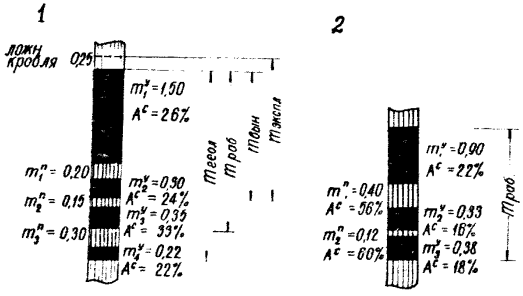


Рис.I2 Номенклатура мощностей угольных пластов;
I- виды мощностей
2- пример расчета рабочей мощности.



Рис. I3 Скопление конкреций колчедана;
пласт 4 - Березковский, шахта I-2,
Макеевский район, Донбасс.



Рис.I4 Первичные нарушения пластов:
I- залегание пласта на неровном ложе;
шахта № 27, Печорский бассейн;
2- неровность кровли пласта (там же).

3)увеличение мощности породных прослоев, 4)расщепление, 5)размывы, 6)кластические инъекции.

К вторичным нарушениям относятся: I)ступенчатость кровли или почвы, 2)раздувы и пережимы, 3)диапиры, 4)клиновидные внедрения пород в пласты угля, 5)внедрения угля в породы кровли и почвы,6)разрывные нарушения (см.гл.Ш), 7)провалы, 8)выгорания участков угольных пластов.

Первичные нарушения. Все первичные нарушения связаны либо с фациальной обстановкой (в условиях дневной поверхности),либо с последующими изменениями уплотнённых,но не литифицированных пород.

Неровности кровли или почвы. Первые изменения мощности угольного пласта относятся к периоду накопления торфяника.Для них характерна сохранность структуры и качества угля При этих явлениях наблюдается непараллельность почвы или кровли угольного пласта.Неровность почвы (рис.I4-I) объясняется неровностями ложа торяника,неровность кровли (рис.I4-2) - неравномерным накоплением торфа. Обычно неровность почвы выражена отчетливее.

Выклинивание и фациальное замещение.Под выклиниванием понимается постепенное уменьшение мощности угольного пласта до полного его исчезновения.Фациальное замещение это увеличение зольности угля и постепенный переход его в углистый аргиллит и аргиллит. Оба эти явления связаны с торфяной стадией и развиваются в направлении ухудшения условий для торфонакопления.

Увеличение мощности породных прослоев. Образование породных прослоев характерно для месторождений с неустойчивым тектоническим режимом, обусловившим относительно кратковременные изменения условий торфонакопления.

Появление прослоев влечет за собой изменение как структуры, так и мощности пласта.

Расщепление угольного пласта - это разделение его на два или несколько пластов, происходящее вследствие изменения условий накопления осадков во время формирования торфяника. При этом основную роль играют тектонические движения, на которые накладываются явления палеогеографического характера.

Расщепление угольных пластов связано с образованием волновых прогибов на площади бассейна, которые развиваются на фоне её общего погружения. Особенностью волновых прогибов является неравномерное их развитие во времени и в пространстве. Различаются прогибы недокомпенсируемые и полнокомпенсируемые /84/. Расщепление пластов может происходить лишь во втором случае, т.е. когда прогиб заполнится осадками настолько, что поверхность последних окажется в условиях, благоприятных для торфонакопления. Вслед за распространением и ростом торфяника наступает следующий этап развития прогиба, и начинается новый цикл.

Г.А. Иванов /84/ в зависимости от направления перемещения береговой линии выделяет пять основных типов расщеплений:

I) расщепление в виде пучка или "конского хвоста" (рис.I5-I, I6). Оно образуется в условиях, когда волновой прогиб растет в глубину, а процесс угленакопления захватывает одну сторону прогиба. В этом случае в краевой части прогиба у береговой линии медленное погружение компенсируется нарастанием торфяной массы, достигающей большой мощности. В моменты остановок и замедления процесса погружения заполняющие прогиб осадки достигают дневной поверхности и на них начинает распространяться торфяник. Положение пункта расщепления почти не меняется.

Разновидностью этого типа является расщепление в виде расходящегося вверх пучка, отличающееся только большей стрелой прогиба;

2) трансгрессивное расщепление угольного пласта (рис.I5-2,3). Здесь выделяется два подтипа (Па и Пб) в зависимости от положения

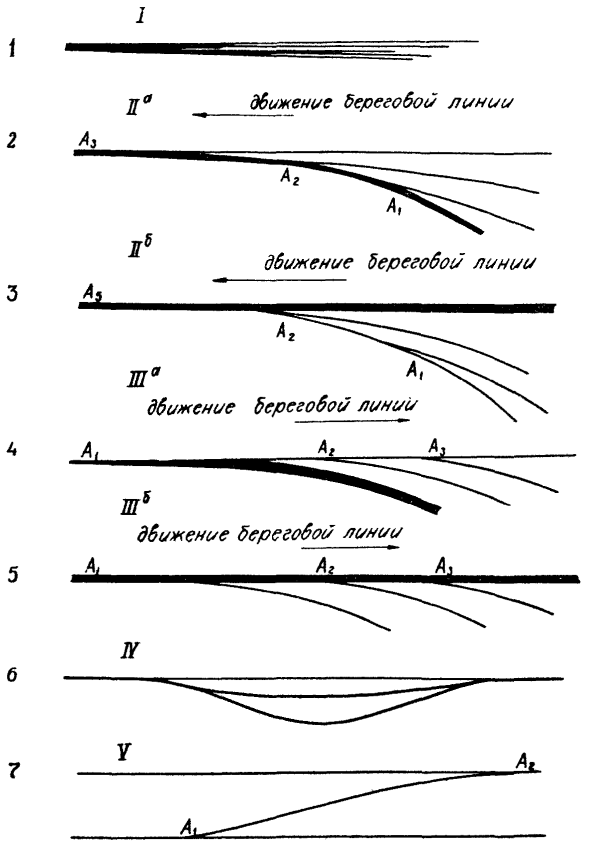


Рис.15 Типы расщеплений угольных пластов (по Г.А. Иванову)

более мощного пласта. Волновой прогиб расширяется, береговая линия мигрирует в сторону суши и вместе с ней последовательно перемещаются пункты отщепления пластов. В этом типе выделяется разновидность, связанная с расщеплением на стыке двух прогибов. Береговые линии их перемещаются навстречу друг другу, а пункты отщепления сближаются;

3) регрессивное расщепление в соответствии с положением более мощного пласта также разделяется на два подтипа – Ша и Шб (рис.I5–4,5). Волновой прогиб сужается по площади, береговая линия мигрирует в сторону центра прогиба, и пункты отщепления последовательно перемещаются вслед за ней. Разновидностью этого типа является регрессивное расщепление на стыке двух сужающихся прогибов; при этом их береговые линии удаляются друг от друга, и пункты отщепления расходятся;

4) расщепление и последующее слияние угольного пласта (рис. 5-6) образуется в условиях прогиба, растущего в глубину. Расщепление происходит на обеих сторонах прогиба, причем пункты отщепления почти не перемещаются;

5) Z – образное расщепление (рис.I5-7) встречается сравнительно редко и образуется в условиях последовательного развития двух смежных прогибов. Береговая линия при этом последовательно перемещается в противоположных направлениях, а точки отщепления пластов находятся в крайних ее положениях.

Явление расщепления угольных пластов наблюдается во многих угольных бассейнах (Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский и особенно Челябинский). Характерной его особенностью является приуроченность бассейнам и месторождениям геосинклинального и парагеосинклинального типов и подтипа сбросовых депрессий платформенного типа.

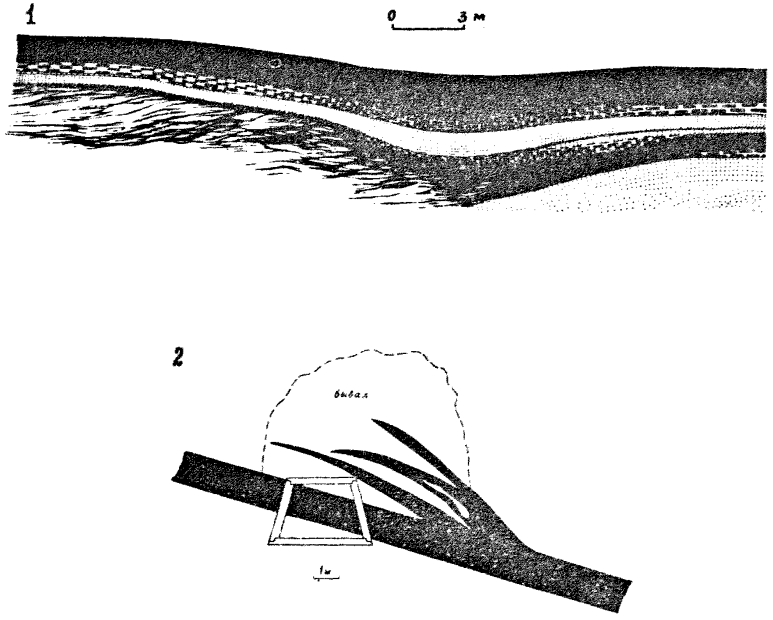


Рис.16 Расщепление угольных пластов I типа:
I- Семеновско-Головковский угольный карьер, Днепровский бассейн;
2- пласт I-2, шахта им Ильича Донбасс.

Р а з м ы в ы у г о л ь н ы х п л а с т о в . Под размывом понимается частичное или полное нарушение формы угольного пласта в результате эрозии. По времени и условиям образования выделяется несколько типов размывов (табл.I2).

Глубина и ширина размывов колеблется в широких пределах – от долей метра и нескольких метров (I тип) до первых сотен метров (Ш тип), а протяженность их может достигать единиц километров и более (Ш и У типы). Поверхности размывов всегда неровные, волнистые или зубчатые.

Таблица I2

Классификация размывов угольных пластов по П.В.Васильеву /35/.

Раздел	Группа	Тип	Краткая характеристика
I	2	3	4
Овражно-речные	Размывы во время формирования углесодержащих свит (сингенетические)	I	Размыт только угольный пласт
		П	Размыт угольный пласт вместе с кровлей
	Размывы после формирования углесодержащих свит (эпигенетические)	Ш	Размыт угольный пласт вместе со всеми покрывающими его отложениями углесодержащей свиты
Морские	Размывы во время формирования углесодержащих свит	IУ	Размыта поверхность угольного пласта (впадины и удлинённые котловины)
		У	Площадной смыв некоторой части угольного пласта

Размывы I типа образуются речными и ручьевыми потоками во время и в конце формирования торфяной залежи. По глубине вреза они могут быть полными, т.е. на всю мощность пласта, и частичными,

когда размыта верхняя или средняя (внутрипластовый размыв) часть пласта (рис.I7-I).

Размывы этого типа имеют следующие отличительные признаки:

I) размыт только угольный пласт или часть его;

2) кровля едина как для пласта угля, так и для породы, заполнившей размыв;

3) сравнительно небольшие размеры глубины размыва и площади его распространения;

4) порода - заполнитель имеет обычно глинистый или мелкопесчаный состав и обогащена углистым материалом;

5) повышенная зольность угля вблизи зоны размыва.

С размывами I типа имеют сходство явления замещения угольной массы преимущественно глинистым осадком - продуктом деятельности небольших болотистых водотоков с медленным течением, протекавших в торфянике.

Образование размывов II типа происходит после перекрытия торфяника породами кровли, т.е. они эпигенетичны по отношению к торфянику и сингенетичны породам непосредственной или основной кровли угольного пласта (рис.I7-3б).

Признаки размывов II типа следующие:

I) размыты как угольный пласт или часть его, так и породы непосредственной, а иногда и основной кровли;

2) размыв имеет относительно большие размеры по площади;

3) порода - заполнитель по составу может быть различной - от аргиллита до крупнозернистого песчаника;

4) зольность угля вблизи зоны размыва увеличивается незначительно.

Размывы II типа эпигенетичны не только относительно угольного пласта и пород основной его кровли, но и относительно данного угленосного горизонта и, даже, угленосной свиты. Характерными чер-

тами размывов Ш типа являются следующие:

1) размыв захватывает несколько угольных пластов, а иногда и угленосную свиту;

2) большие размеры по площади;

3) порода - заполнитель обычно представлена плохо отсортированным разнозернистым песчаником, нередко содержащим гравий, гальку и крупные углефицированные обломки древесины;

4) зольность угля вблизи зоны размыва остается неизменной или незначительно увеличивается.

Для группы овражно-речных размывов характерно следующее:

1) в плане пласта размывы I и П типа имеют конфигурацию древней гидрографической сети; размывы Ш типа представляют собой широкие достаточно разработанные речные долины;

2) улучшение сортированности материала и уменьшение крупности зерна осадка, заполняющего размыв, вверх по разрезу;

3) наличие слоистости, масштабы которой соответствуют крупности зерна и отсортированности материала осадка и отражают динамику течения (чем крупнее осадок, тем крупнее слоистость и тем больше скорость потока), а форма слоистости указывает направление течения.

Для породы - заполнителя в размывах I и П типа характерна мелкая пологая косая слоистость, подчеркнутая растительным детритом. У размывов Ш типа слоистость крупная косая, зафиксированная в чередовании слоев различного гранулометрического состава.

Размывы морского происхождения IУ типа (рис.17-4) имеют неглубокие срезы и в плане представляют собой впадины и удлиненные котловины, иногда занимающие значительные площади. Размывы У типа также имеют небольшие глубины среза, но площади их развития очень широкие.

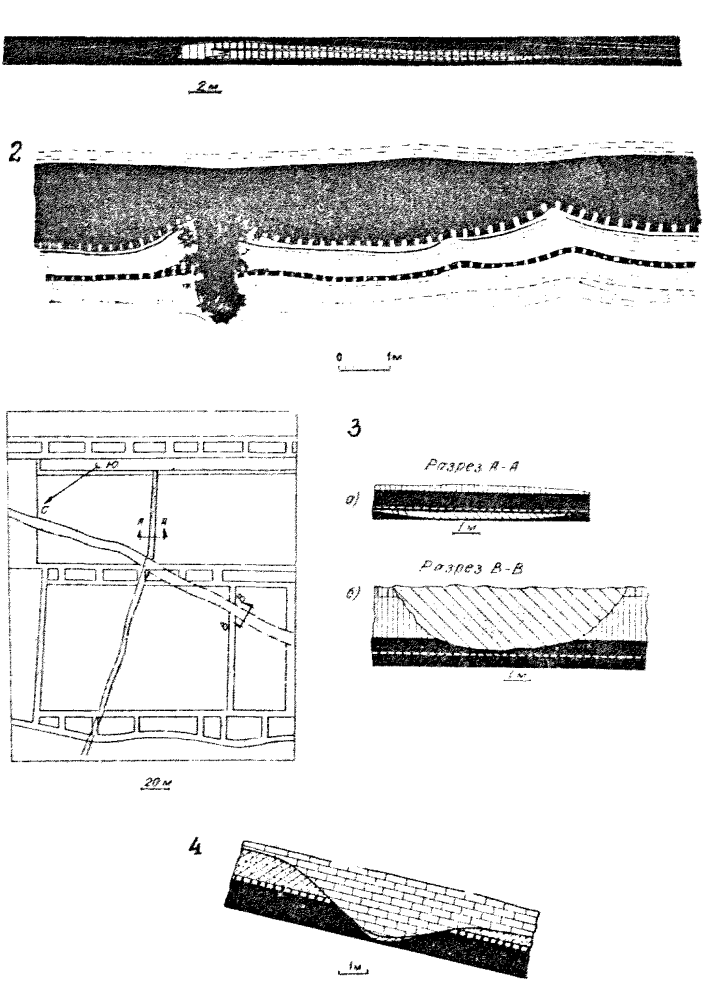


Рис.17 Размывы угольных пластов
I типа: пласт $К_3$, шахта № 47, Печорский бассейн (I);
пласт Рыбинский, Ирша-Бородинский угольный карьер (2);
шахта № 40, Печорский бассейн (3а);
II типа -(3б);
IУ типа: пласт $К_8$ шахта им.Димитрова, Донбасс (4).

Породы – заполнители представлены известняком, глинистым известняком, аргиллитом. Их характерной чертой является наличие признаков морского происхождения: карбонатности осадков, морской фауны, хорошей сортированности осадков.

Размывы угольных пластов, особенно овражно-речные, плохо улавливаются и оконтуриваются в ходе геолого-разведочных работ и существенно затрудняют эксплуатацию месторождения и участка. В последнее время предпринимались попытки установить влияние размывов на эксплуатацию. В основу классификации, предложенной М.Т. Самсоновым и В.В.Зинченко (табл.13), положены три параметра: 1) площадь распространения размывов в пределах шахтного поля, 2) мощность пласта угля, 3) глубина эрозионного среза пласта в процентах от его мощности.

По этой классификации выделяется пять типов размытых пластов: 1) пласт, слабо размытый (СР), пригоден к эксплуатации, 2) пласт, относительно размытый (ОР), пригоден к эксплуатации на значительной площади, 3) пласт, значительно размытый (ЗР), ограниченно пригоден к эксплуатации, 4) пласт, весьма размытый (ВР), к эксплуатации пригоден в отдельных блоках, 5) пласт, размытый (Р), не пригоден к эксплуатации. Как видно из таблицы, пригодность пласта, подверженного размыву, к эксплуатации определяется не только выдержанностью нижнего предела кондиционной мощности, но и различным соотношением выделенных параметров.

Размывы встречаются в Кузнецком /72/, Донецком /30/, Карагандинском /161/ и других угольных бассейнах.

К л а с т и ч е с к и е и н ъ е к ц и и. Под кластическими инъекциями понимаются породные тела, образованные в результате внедрения в угольный пласт со стороны его кровли или почвы недостаточно затвердевших осадочных пород, насыщенных водой (плывунов). Боковые

Таблица I3

Горно-геологическая классификация угольных пластов Карагандинского бассейна, подверженных размывам по М.Т.Самсонову и В.В.Зинченко /I6I/

Площадь размывов в %	0 - 5				5 - 20				20 - 50				более 50			
Эрозионный срез в % \ Мощность пласта в м	0,6-0,9	0,9-I,3	I,3-3,6	3,6-9,0	0,6-0,9	0,9-I,3	I,3-3,6	3,6-9,0	0,6-0,9	0,9-I,3	I,3-3,6	3,6-9,0	0,6-0,9	0,9-I,3	I,3-3,6	3,6-9,0
0-I0	ОР	СР	СР	СР	ОР	ОР	СР	СР	ОР	ОР	СР	СР	Р	ВР	СР	СР
I0-20	ОР	СР	СР	СР	ОР	ОР	СР	СР	Р	ЗР	СР	СР	Р	Р	СР	СР
20-30	ОР	СР	СР	СР	Р	ОР	СР	СР	Р	ЗР	СР	СР	Р	Р	СР	СР
30-40	ОР	СР	СР	СР	Р	ОР	СР	СР	Р	ВР	СР	СР	Р	Р	СР	СР
40-50	ОР	ОР	СР	СР	Р	ОР	СР	СР	Р	ВР	ОР	СР	Р	Р	ОР	СР
50-60	ОР	ОР	СР	СР	Р	ОР	ОР	СР	Р	Р	ЗР	СР	Р	Р	ОР	СР
60-70	ОР	ОР	ОР	СР	Р	ОР	ОР	СР	Р	Р	ВР	СР	Р	Р	ВР	ОР
70-80	ОР	ОР	ОР	СР	Р	ОР	ОР	ОР	Р	Р	ВР	ОР	Р	Р	Р	ВР
80-90	ОР	ОР	ОР	СР	Р	ОР	ОР	ОР	Р	Р	ВР	ОР	Р	Р	Р	ВР
90-I00	ОР	ОР	ОР	ОР	Р	ОР	ОР	ОР	Р	Р	ВР	ВР	Р	Р	Р	ВР

контакты этих тел с углем неровные (рис.18). Размеры кластических инъекций различны, их протяженность достигает иногда нескольких десятков и, даже, нескольких сотен метров /68/.

Инъекции ооразуются в буроугольную стадию, когда вмещающие породы уплотнены, но не литифицированы. В ходе осадко- и угленакопления в условиях прогибания площади бассейна или месторождения, погруженные на глубину слои пород испытывают растяжение, сопровождаемое образованием трещин и ослабленных зон.

Если вблизи угольного пласта имеются сильно обводненные носки (плывуны), то при определенном давлении лежащих выше пород начинается перемещение плывуна из кровли или почвы в ослабленные зоны угольного пласта. Так как последний неоднороден и в нем имеются более плотные и более слабые слои, то внедрившийся плывун распределяется в пласте, образуя карманы и ответвления. При этом происходит падение давления и образовавшаяся кластическая инъекция не выходит далеко за пределы пласта.

Часто наблюдаются сочетания размыва П и кластической инъекции, когда осадок, заполнивший размыв является материнским слоем инъекции.

Признаки кластических инъекций следующие:

I) Контакты с углем, как правило неровные; материнским слоем являются породы непосредственной и редко - основной кровли или же породы, залегающие в почве пласта вблизи него;

2) состав пород всегда песчаный;

3) слоистость в породах инъекции не наблюдается;

4) углистый материал присутствует в ничтожном количестве;

5) следы скольжения (штрихи, зеркала) не характерны;

6) качество угля в приконтактовой зоне почти не изменяется.

Кластические инъекции встречаются в Печорском, Донецком, Карагандинском и других бассейнах, однако, до последнего времени

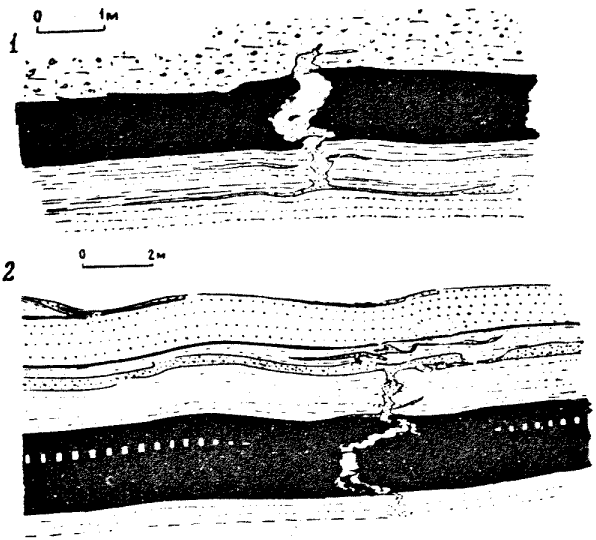


Рис.I8 Кластические инъекции в угольном пласте: I - из почвы и 2 - из кровли. Пласт Гусевский, Ирша-Бородинский угольный карьер.

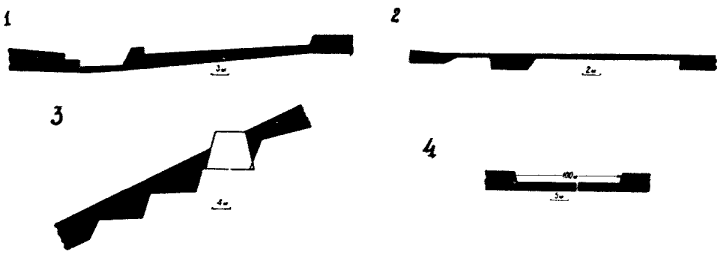


Рис.I9 Ступенчатость угольных пластов: в кровле (I) и в почве (2) пласта I3; в почве (3) пласта II-2, шахта им.Урицкого, Кизеловский бассейн; в кровле (4) пласта 6, шахта им.Артёма, Донбасс.

они были малоизвестны, так как их обычно принимали за овражно-речные размывы I и II типа.

Кластические инъекции образуются до литификации пород и до складкообразования. С последним связаны случаи разрыва кластических инъекций в результате послойных передвижек.

Вторичные нарушения угольных пластов. У нарушений этой группы структура и мощность пласта угля нарушены, а вещество угля перемято или изменено.

С т у п е н ч а т о с т ь Это явление характеризуется ступенчатой формой поверхности кровли (или почвы) угольного пласта (рис.19). Соответственно противоположная поверхность пласта (почва или кровля) является ненарушенной. Выступы или ступеньки имеют значительную длину и небольшую высоту; разделяющие их поверхности почти нормальны пласту. Структура пласта и вещество угля имеют следы смятия и давления.

Указанные особенности ступенчатости свидетельствуют о пережиме пласта в результате перемещения блоков пород по разделяющим их трещинам нормальносекущей системы.

Обычно ступенчатость не распространяется на весь пласт, однако, имеется ряд примеров, когда по разделяющим ступеньки трещинам начинают развиваться мелкие разрывные нарушения, поражающие пласт угля на всю его мощность.

Р а з д у в ы и п е р е ж и м ы . Это нарушения угольного пласта, обусловленные течением угольной массы и перемещением пород кровли и почвы под воздействием тектонических сил.

В разрезе линии поверхностей контакта угля и пород неровные, волнисто-изогнутые, в плане пласта нарушения имеют форму вытянутых овалов, извилистых полос, иногда с расширениями, сужениями и разветвлениями.

Ширина раздувов и перемимов обычно измеряется метрами, реже - первыми десятками метров; амплитуды не превышают нескольких метров. Частые чередования этих нарушений иногда захватывают широкие площади (рис.20-I). В плоскости пласта простирание раздувов и перемимов может совпадать с простиранием какой-либо системы трещин /38/.

Признаки раздувов и перемимов следующие:

I) породы кровли и почвы поражены дополнительной трещиноватостью, нередко раздроблены и перемяты и имеют зеркала скольжения;

2) структура пласта всегда нарушена;

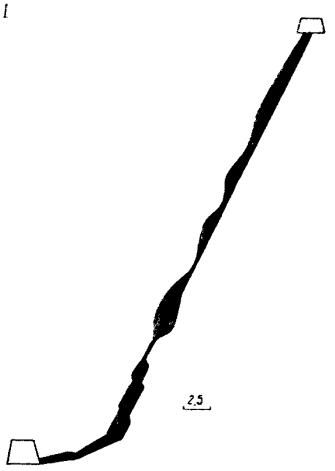
3) угольная масса в перемимах сажистая или зернистая, в раздувах плойчатая и брекчированная; на более крупных кусочках угля имеются зеркала скольжения;

4) качество угля в зонах раздувов и перемимов обычно ухудшается, чаще за счет последующей минерализации пласта.

Д и а п и р ы могут поражать пласт как со стороны кровли, так и почвы (рис.20-2); размеры их невелики - в ширину до нескольких метров и в длину - до нескольких десятков метров /I28/. Поверхности контакта угля и породы в них плавно изгибаются, а уголь и породы кровли, почвы и прослоев имеют зеркала скольжения. Породы в зоне диапира пласта уплотнены, а уголь перемят и брекчирован. Иногда встречаются диапиры с полным протыканием пласта угля

Подобно явлениям ступенчатости, раздувам и перемимам диапир образуются в результате воздействия сил, направленных перпендикулярно напластованию.

К л и н о в и д н ы е в н е д р е н и я п о р о д. Внедрение клиньев пород в угольный пласт связано с перемещением блоков пород вдоль трещин, располагающихся под острым углом к напластованию. Тела внедрения обычно имеют клиновидную форму, а у



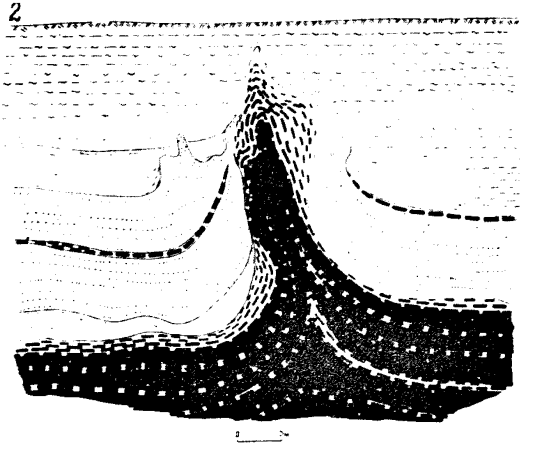


Рис.20 Вторичные нарушения угольных пластов:
1 - раздувы и пережимы пласта $К_5$, шахта "Центральная-Ирмино", Донбасс;
2 - диапир в угольном пласте, Байдаковский угольный карьер, Днепровский бассейн.

пласта угля в этих местах образуются клинья - "заструги" (рис.2I-I); иногда встречаются тела внедрения в виде глыб и плит. Перед их лобовыми частями угольная масса нарушена и имеет подвороты, завихрения и зеркала скольжения, тогда как у боковых поверхностей тел уголь нарушен значительно меньше /99/.

В н е д р е н и е у г л я в п о р о д ы к р о в л и и п о ч в ы. Образование клиньев и языков угля в породах (рис.2I-2) связано с явлением выдавливания угля в трещины вмещающих пород, происходящим под воздействием тектонических сил. При этом вещество угля перемято и носит следы течения и скольжения. Клинья обычно имеют небольшие размеры.

Рассмотренные вторичные нарушения угольных пластов обычно связаны со складчатыми и [illegible] дислокациями и характерны для тектонически сложных бассейнов и месторождений.

П р о г и б ы и п р о в а л ы у г о л ь н о г о п л а с т а характерны для месторождений, где в угленосной толще встречаются слои известняков (Подмосковный бассейн). При выщелачивании последних образуются полости, пещеры, воронки, над которыми и происходит деформация (оседание или прогибание) вышележащих пород, в том числе и угольных пластов.

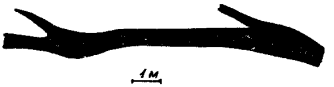
В плане они обычно имеют форму овалов и вытянутых полос, нередко одинаково ориентированных. Амплитуды прогибов или провалов могут достигать нескольких метров, ширина нарушенных зон измеряется единицами, реже - первыми десятками метров.

Различаются следующие разновидности нарушений /55/:

I) Прогибания без разрыва сплошности пласта; они связаны с небольшими карстами и сопровождаются растяжением и утонением пласта;

2) резкие проседания и провалы с разрывом пласта, имеющим типичный вид сброса (рис.22).

1



2

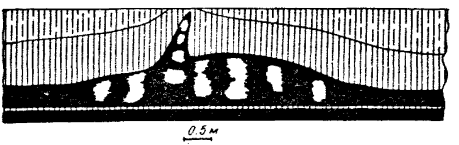


Рис.21 Вторичные нарушения угольных пластов: 1 - клинья пород в угольном пласте h_4', шахта № 17, Донбасс; 2 - внедрение угля в породу, пласт n_6, шахта № 18, Печорский бассейн.

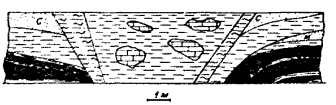


Рис. 22 Провал угольного пласта, шахта № I Бибиковская, Подмосковный бассейн.

Места прогибов и провалов характеризуются нарушенным строением угольного пласта. Вблизи разломов пласт, как правило представляет собой брекчию, содержащую глыбы угля и пород.

Угольная масса в зоне нарушения обладает значительной зольностью, обусловленной присутствием раздробленных, а иногда и развальцованных обломков пород. Породы кровли в местах прогибов и провалов поражены сетью трещин и склонны к образованию куполов.

В ы г о р а н и е у г о л ь н ы х п л а с т о в. Подземное выгорание угля происходит по двум причинам: I) в результате самовозгорания угля (подземные пожары) и 2) в результате теплового воздействия тел изверженных пород.

Подземные пожары возникают в тех условиях, когда к углю имеется доступ кислорода. Обычно это происходит вблизи дневной поверхности.

Выгорание угля вблизи тел изверженных пород может происходить как при непосредственном контакте пласта и тела изверженной породы, так и путем прогрева - "пропаривания" угля на некотором расстоянии от последнего.

Под влиянием магмы, имеющей высокую (до I300^{0}C) температуру, и содержащихся в ней газов уголь может отощаться и переходить в естественный кокс (рис.4), антрацит и графит. При этом, естественно, изменяется объём, а значит и форма пласта. Кроме теплового влияния изверженные породы оказывают и механическое воздействие, создавая перемятия, разрывы и протыкания угольных пластов.

Влияние нарушений угольных пластов на эксплуатацию. Рассмотренные нарушения осложняют эксплуатацию месторождения или участка. Все они в той или иной мере уменьшают запасы угля и затрудняют ведение очистных работ.

Большинство нарушений (кроме нарушений угольного пласта за счет неровностей кровли или почвы, выклинивания и фациального замещения) сопровождается образованием зон неустойчивых пород и является причиной образования вывалов, куполов и т.п.

Все они (за исключением нарушений пласта в результате неровностей кровли и почвы) приводят к ухудшению качества угля. Все нарушения тектонического происхождения, размывы, провалы и прогибы, зоны выгорания угольных пластов являются путями проникновения воды и газа в горные выработки.

§ 4. СОПОСТАВЛЕНИЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В работе шахтного геолога сопоставление угольных пластов имеет очень важное значение, особенно в тектонически сложных и многопластовых угольных бассейнах. Выявленные в ходе геологоразведочных и эксплуатационных работ признаки, характерные для каждого пласта угля, позволяют правильно увязывать тектонические структуры, помогают при поисках смещенного крыла, обеспечивают нормальное ведение горных работ.

Для сопоставления угольных пластов используются три группы признаков /35,72/:

1) признаки, связанные с вмещающими породами;

2) признаки, связанные с пластами угля и породами почвы и кровли, как геометрическими телами;

3) признаки, относящиеся к веществу угля.

Признаки, относящиеся к вмещающим породам:

1) наличие маркирующих горизонтов пород: а) с морской фауной, б) с пресноводной фауной, в) с растительными остатками, г) с конкрециями, д) определенного литологического состава (например, слой конгломератов в кровле пласта Характерного в Прокопьевском районе Кузбасса);

2) последовательность пластов угля в разрезе угленосной толщи;
3) нормальные расстояния между угольными пластами.

Признаки, связанные с угольным пластом, как геометрическим телом и породами кровли и почвы:

1) наличие характерных для некоторых угольных пластов пород кровли и почвы ("кучерявчик" - в Донбассе, огнеупорные глины Подмосковном бассейне и др.);
2) мощность угольных пластов и ее выдержанность;
3) строение угольных пластов: количество породных прослоев, их мощности, последовательность в разрезе пласта, литологический состав;
4) включения в пластах угля (конкреции, зерна и желваки пирита, вулканический пепел и т.д.);
5) пласты - спутники (например, Проводник пласта Мощного в Прокопьевском районе Кузбасса).

Признаки, связанные с веществом угля:

1) зольность угля и состав золы;
2) степень метаморфизма угля;
3) наличие в пласте характерных типов углей (например, прослои смоляного липтобиолита в общей гумусовой массе угля);
4) макроструктура пласта (однородность, расположение и мощности слоев, сложенных различными литотипами) и петрографический состав угля;
5) особенности спорово-пыльцевого состава растений - углеобразователей.

Для параллелизации угольных пластов необходимо использовать комплекс признаков, относящихся как к породам угленосной толщи, так и к пласту и веществу угля. Только комплексное изучение признаков даст положительные результаты и позволит шахтному геологу безошибочно распознавать угольные пласты.

§ 5. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ МОРФОЛОГИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Изучение перечисленных явлений осуществляется в несколько этапов:

I) Изучение пород и углей по керну буровых скважин и анализ материалов детальной и эксплуатационной разведок. В результате проведенных исследований выделяются участки с выявленными и предполагаемыми нарушениями формы угольного пласта;

2) Изучение пород и углей в горных выработках. На этом этапе в ходе геологической документации горных выработок изучаются:

а) размеры и форма нарушений, б) характер поверхностей контакта пласта угля и вмещающих пород, в) элементы пространственного распространения нарушений, г) строение угольного пласта, д) степень измененности угольной массы, е) литологический состав кровли и почвы.

На основании этих признаков определяется тип нарушения (размыв, раздув, перехим, диапир и т.д.). Отбираются и анализируются пробы угля и пород.

3) Полученные данные оформляются в виде зарисовок, фотоснимков и анализов и наносятся на геолого-маркшейдерские планы, пластовые карты, геологические разрезы и т.д. Производится их анализ и увязка с соседними участками и устанавливаются взаимоотношения выделенных типов нарушений с тектоническими структурами шахтного поля. Конечным результатом изучения являются прогноз поведения угольного пласта и пород в пределах участка и шахтного поля (прогноз нарушенности) и оценка влияния каждого типа нарушений формы угольного пласта на ведение эксплуатационных работ и на запасы угля.

ГЛАВА 3

СКЛАДЧАТЫЕ И РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ

§ I. СКЛАДЧАТЫЕ НАРУШЕНИЯ

В результате действия тектонических сил горные породы испытывают деформации. Последние могут быть пластическими и разрывными. Пластические изменения горных пород приводят к образованию складчатых нарушений (без разрыва сплошности слоев).

Изменение первоначально горизонтального залегания слоев, выразившееся в их наклоне в одном направлении, называется моноклиналью. Местные изменения угла падения слоев моноклинали образуют особую структурную форму – флексуру.

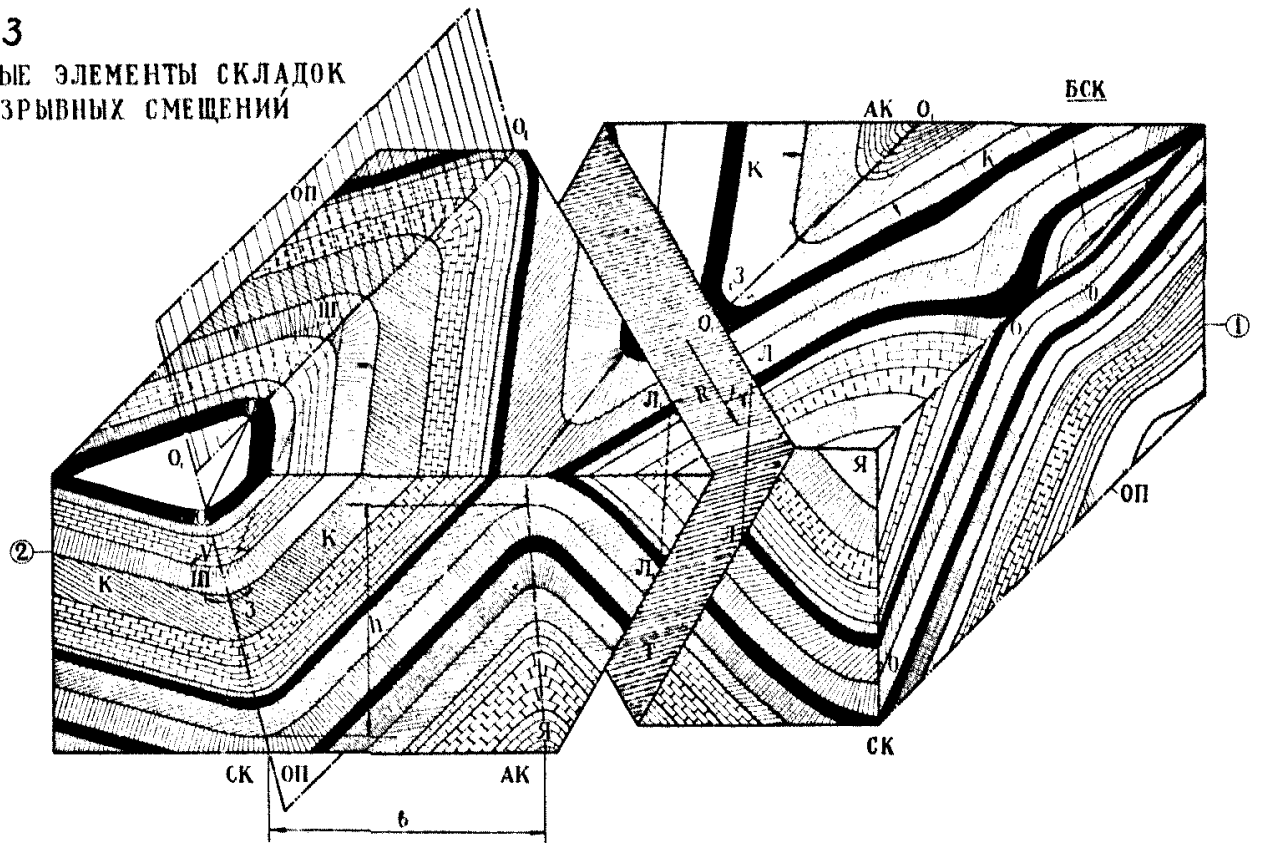
При относительном поднятии или опускании участков земной коры, значительных по площади, образуются пологие выгибы и прогибы, называемые антеклизами и синеклизами. Более резкие изгибы слоев горных пород называют складками.

В складках различают следующие основные элементы (рис.23): крылья (К) – боковые части складки; замок (З) – изогнутую часть складки, соединяющую крылья; ось складки (ОО) – линию, проходящую через точки перегиба какого-либо слоя; осевую поверхность (плоскость) ОП – поверхность, проходящую через оси складки разных слоев; осевую линию ($O_I O_I$) – линию пересечения осевой поверхности с горизонтальной плоскостью; ядро складки (Я) – породы, слагающие внутреннюю часть складки; шарнир складки (ШШ) – линию, образующуюся от пересечения плоскостей крыльев складки.

В зависимости от выпуклой или вогнутой формы замка складки (точнее части складок) разделяются на две группы: антиклинальные,

Рис. 23

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СКЛАДОК И РАЗРЫВНЫХ СМЕЩЕНИЙ



К – крыло
З – замок
АК – антиклиналь
СК – синклиналь
ШШ – шарнир
ОО – ось
ОП – осевая поверхность
ОО₁ – осевая линия
Я – ядро
БСК – брахисинклиналь
h – высота складки
b – ширина складки
V – угол складки
Т – сместитель
1 – лежачее крыло смещения
2 – висячее крыло смещения
Л – линия скрещения лежачего крыла
Л₁ – линия скрещения висячего крыла
τ – угол скольжения
R – амплитуда перемещения

у которых замок обращен выпуклостью вверх, и синклинальные, у которых замок обращен вверх вогнутостью (рис.23).

Для обеспечения распознавания указанных частей складок с измененным залеганием крыльев и размытыми замками, необходимо учитывать, что в ядре антиклиналей находятся более древние породы, а в ядре синклиналей - более молодые породы, чем в крыльях (рис.23).

Линейные и угловые величины, характеризующие размер, форму и положение складки в пространстве, называются геометрическими параметрами складки /198/. К ним относятся: размеры складки, угол складки, элементы залегания осевой плоскости (поверхности), осевой линии, крыльев складки и оси складки.

Размеры складки определяются длиной, шириной и высотой. Длина складки измеряется на определенном горизонте вдоль осевой линии между замками складки по одному и тому же слою. Ширина или горизонтальный размах складки (рис.23) представляет собой расстояние между осевыми линиями соседних антиклиналей и синклиналей. Высота или вертикальный размах складки (h , рис.23) определяется расстоянием по вертикали между замками соседних антиклинали и синклинали по одному слою. Угол складки (V , рис.23) представляет собой двугранный угол, образованный крыльями складки, он измеряется в плоскости перпендикулярной шарниру складки. По конфигурации замков (рис.24-2) складки могут быть острыми, округлыми, изоклинальными, сундучными (коробчатыми) и веерообразными, а в зависимости от наклона осевой поверхности и крыльев: прямыми, наклонными, опрокинутыми, лежачими (рис.24-I; 25).

Наклон и изгиб осей определяет форму складок в горизонтальном сечении. По этому признаку различают (рис.24-4) линейные (удлиненные) складки, брахискладки (короткие складки), изометричные складки (купола и чаши); а также изогнутые и разветвлен-

ные складки (рис.24-4г).

Форма складок зависит также от соотношения мощности слоев в крыльях и в замках складки (рис.24-3).

Выделяют параллельные (концентрические) складки, в которых мощность слоев постоянна во всех частях складки и подобные складки, у которых мощность слоев на крыльях меньше, чем в замках. При параллельной и подобной складчатости слои разного возраста смяты примерно одинаково. Такие складки называют гармоничными. Однако, имеются складки, в которых более мощные и массивные слои изогнуты в широкие складки, а тонкие пластичные слои смяты более интенсивно. Такие складки называют дисгармоничными (рис.24-3в).

В.В.Белоусов /28/ выделяет два основных типа складчатости: складчатость полную и складчатость прерывистую. Первый тип характерен непрерывностью чередования складок на площади, в которой не остается недислоцированных участков. Ширина и амплитуда антиклинальных и синклинальных складок примерно одинаковы. Складки прямолинейны, их длина значительно больше ширины. Второй тип складчатости характерен развитием изолированных складок среди территории с почти горизонтальным залеганием слоев. Антиклинали преобладают над синклиналями и имеют форму брахискладок и куполов.

Кроме указанных двух основных типов выделяется промежуточная складчатость, которая разделяется на складчатость гребневидную и сундучную.

Полная складчатость образуется в геосинклинальных областях. Она представляет собой своеобразную реакцию слоистых толщ земной коры на дифференциальные вертикальные движения отдельных блоков (глыб) последней. Эта реакция выражается в перемещении материала под влиянием силы тяжести, а также в динамическом отжимании со сводов с относительно приподнятых блоков в сторону относительно опущенных, оказывая на их верхнюю часть горизонтальное давление,

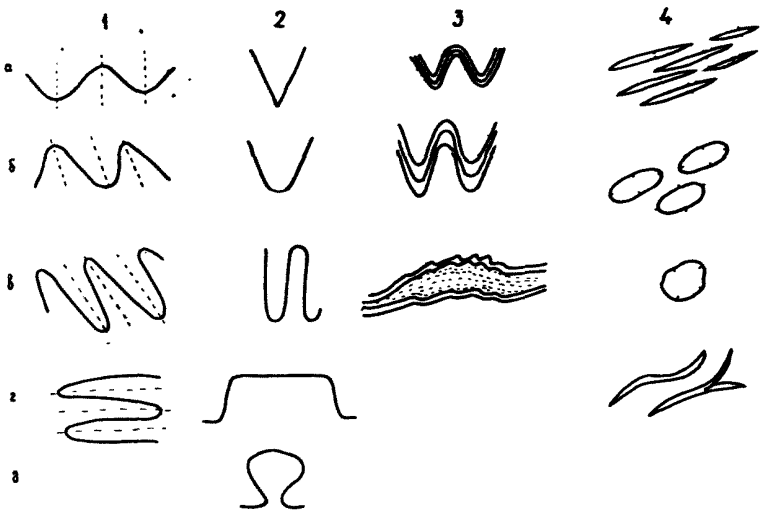


Рис. 24 **Виды складок.**

I - **по наклону осевой плоскости: а) прямая, б)наклонная, в) опрокинутая, г) лежачая;**
2 - **по форме замка: а) острая, б) округлая, в)изоклинальная, г) сундучная (коробчатая), д) веерообразная;**
3 - **по соотношению мощности слоёв на крыльях и в замках: а)параллельная (концентрическая), б)подобная, в)дисгармоничная:**
4 - **по форме в горизонтальном сечении: а) линейная, б) брахиформная (брахискладка), в) изометричная, г) изогнутая и разветвлённая.**

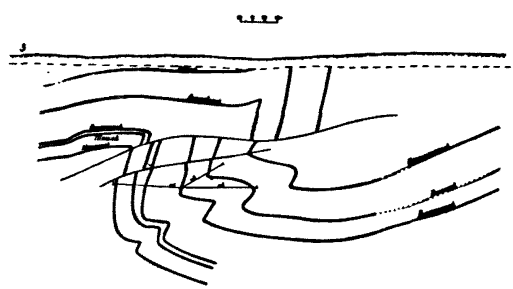


Рис. 25 **Опрокинутая складка и пологий надвиг. Анжерский район, Кузбасс.**

приводящее к смятию слоев в складки в пределах какой-то полосы.

Силы, действующие перпендикулярно слоистой толще, вызывают раздавливание и удлинение слоев в направлении слоистости. Вследствие удлинения некоторые части слоев перемещаются за пределы данных участков, называемых областями выжимания. Рядом с этой областью находится область нагнетания, где происходит сгружива-ние части каждого слоя, равной по объёму тому материалу, который выдавлен из области выжимания. Это сгружывание может выразиться в увеличении мощности слоя или в его изгибе.

Таким образом, поперечные активные сжимающие усилия действующие на одну часть слоя, считаются причиной появления продольных сжимающих усилий, создающих складки в другой части того же слоя.

Под действием продольного сжатия образуется два типа складок, названные М.В.Гзовским складками продольного расплющивания и складками продольного изгиба. Первые характерны резким уменьшением мощностей менее вязких пород на крыльях складок за счет их выжимания в замки; вторые не имеют заметных изменений в мощности слоев, но в их замках имеются вторично заполненные полости. Образуются также складки промежуточного типа.

Эксперименты на моделях показывают, что продольное расплющивание происходит вместо продольного изгиба, если: уменьшена вязкость материала, или увеличена мощность слоев, увеличен коэффициент трения между слоями, или увеличено давление, перпендикулярное к слоистости.

В условиях малого всестороннего давления образуются немногочисленные крупные складки с округлыми замками и складки продольного изгиба с отслаиванием.

С увеличением всестороннего сжатия образуется большое количество складок, при этом преобладают складки продольного расплю-

шивания. Форма складок угловатая, коробчатая и зигзагообразная. При еще большем всестороннем сжатии появляются складки лямбдообразной формы, каплевидные и с резко различными мощностями слоев на противоположных крыльях.

Прерывистая складчатость распространена на платформах и в зонах переходных к геосинклинальным. Изгибы верхних осадочных пород повторяют перемещения отдельных, ограниченных разрывными нарушениями глыб в фундаменте (глыбовые складки). Эти складки возникают в результате действия сил, поперечных к слоистости /29/ Такой механизм возникновения складок назван поперечным изгибом /56/. Кроме глыбовых складок, в которые вовлечены породы всей осадочной толщи, в результате поперечного изгиба могут образовываться складки меньшего масштаба, захватывающие только некоторую часть слоев осадочного покрова (например, над ядром соляного купола; в вертикально залегающих слоях под действием местного горизонтального сжатия и т.д.). /28/.

Экспериментами на моделях установлено изменение формы складок поперечного изгиба с глубиной. Если складка создана подъёмом жесткой глыбы, то в нижних слоях она имеет коробчатую форму, совпадающую с очертаниями глыбы. Выше резкие изгибы сменяются более плавными. При удалении вверх на расстояние, равное ширине глыбы в слоях, наблюдаются концентрические изгибы. Установлено, что наблюдаемая на поверхности антиклиналь поперечного изгиба, имеющая ширину "в", может продолжаться на глубину не более 2 в /29/.

В большинстве угольных бассейнов развита полная складчатость. Складки имеют разные размеры. По этому признаку их можно разделить на следующие группы:

I) складки весьма крупные, образующие основные структуры месторождения. Они выявляются на стадиях поисков и предварительной разведки;

2) складки крупные, вмещающие несколько шахтных полей или одно шахтное поле. Форма их выявляется на стадии детальной разведки;

3) складки средние, являющиеся составной частью структуры шахтного поля. Эти складки не всегда выявляются на стадии детальной разведки. В процессе эксплуатации особенности строения средних складок могут быть выяснены на основании картирования их в нескольких горных выработках. Крылья этих складок, как правило, могут разрабатываться независимо друг от друга;

4) складки мелкие, выявляются на основании наблюдений в одной очистной выработке. Выемка соединительного крыла такой складки затруднительна.

Шахтному геологу приходится изучать и документировать, главным образом, средние и мелкие складки, которые осложняют проектирование и ведение горных работ.

Иногда наблюдается складчатость внутри угольного пласта, что обычно является признаком увеличения мощности угольного пласта.

Возле разрывных нарушений, как результат вторичных пластических деформаций при разрыве угольных пластов, образуются складки волочения и подгибы. Складки волочения чаще всего сопровождают разрывы надвигового типа, они состоят из антиклинали и синклинали (рис. II0-I). Подгибы слоев проявляются в непосредственной близости от разрывного нарушения чаще в обоих его крыльях и обычно направлены в сторону перемещения другого крыла разрыва(рис.I09,III)

Флексуры являются часто встречающимся нарушением на пластах пологого и наклонного залегания. Они проявляются как самостоятельные пликативные формы или как формы, переходящие в разрывные нарушения, преимущественно сбросового типа. Величину флексуры можно характеризовать длиной и амплитудой. За амплитуду флексуры

принимается расстояние между параллельно расположенными частями пласта. Резкое изменение элементов залегания пласта во флексуре, а также уменьшение мощности угольного пласта в соединительном ее крыле (рис.26), вызывает необходимость дополнительных горных работ по породе, а иногда и новой разрезки лавы.

§ 2. РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ

I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

В результате тектонических движений в земной коре возникают напряжения, которые при достижении предела прочности пород приводят к образованию в них разрывов. Разрывы сплошности пород проявляются прежде всего в виде трещин. Последние при дальнейшем действии сил перерастают в разрывные нарушения (смещения).

Таким образом, под разрывным нарушением понимают результат тектонических движений, при котором горные породы разрываются по некоторой поверхности и разъединенные части смещаются относительно друг друга. Поверхность разрыва называется сместителем, а разъединенные части пород - крыльями разрывного нарушения.

Разрывные смещения разделяются на две основные группы: раздвиги и разрывы со скольжением /28/. У раздвигов смещение происходит в направлении перпендикулярном сместителю; у разрывов со скольжением - параллельно сместителю. На угольных месторождениях, как правило, развиты разрывные нарушения второй группы. Поверхности сместителей обычно имеют изогнутую форму, но на ограниченном протяжении могут приниматься за плоские. Сместитель в пространстве может занимать наклонное, вертикальное и горизонтальное положение. У разрывного нарушения с наклонным и горизонтальным сместителем различают крылья: висячие, находящиеся над сместителем, и лежачие, находящиеся под сместителем (рис.23). У разрыва

с вертикальным сместителем висячего и лежачего крыла нет, поэтому его крылья называют по странам света (например, северо-западное крыло и его восточное крыло).

Следует иметь в виду, что у более крупных разрывных нарушений сместитель представлен не поверхностью, а зоной трещиноватых, раздробленных и перетертых пород, имеющей иногда значительную мощность. В разрывных зонах обнаруживается тектоническая брекчия, которая может быть крупнообломочной и мелкообломочной (катакластит) и перетертая до состояния пыли порода (катаклазит). На обломках пород разрывной зоны и на породе крыльев, примыкающих к зоне, образуются следы скольжения: борозды, царапины, штрихи и т.п.

Форма разрывного нарушения прежде всего определяется видом смещения: видимым смещением висячего крыла относительно лежачего крыла. Разрывные нарушения могут быть двух видов: сбросовые и взбросовые. У первых висячее крыло кажется опущенным, у вторых – – поднятым по отношению к лежачему крылу (рис.27). Форма разрывного нарушения зависит также от расположения сместителя относительно простирания складчатой структуры или простирания пласта. По этому признаку различают продольные, диагональные и поперечные разрывы. У продольных разрывов сместитель образует с простиранием пласта угол 0 ± 15^0, у поперечных $90^0 \pm 15^0$, у диагональных от 15^0 до 75^0 (рис.28). Дополнительной характеристикой формы разрывного нарушения является угол падения сместителя. По этому признаку разрывные нарушения разделяются на крутые и пологие (с границей 45^0). Таким образом, разрывное нарушение по форме может быть: продольным, диагональным или поперечным, пологим или крутым, сбросом или взбросом.

Большинство разрывных нарушений, особенно при крутом падении пластов, не пересекает осевых плоскостей складок и располагается в

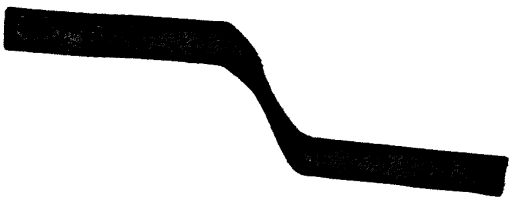


Рис.26 Флексура с растянутым соединительным крылом. Пласт 8, шахта Мушкетовская-вертикальная, Донбасс.

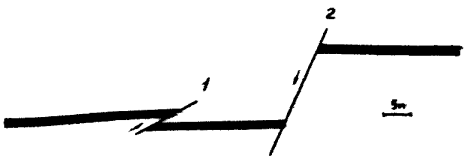


Рис. 27 Основные виды разрывных нарушений в разрезе: I-взбросовый, 2-сбросовый, шахта "40 лет Октября", Кизеловский бассейн.

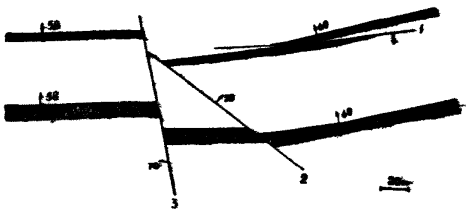


Рис. 28 Разрывные нарушения в плане: I-продольное, 2-диагональное, 3-поперечное. Шахта им.Калинина, Прокопьевское месторождение, Кузбасс.

пределах одного крыла складки. Форма таких "несекущих" разрывов, с которыми шахтный геолог повседневно имеет дело, кроме указанных выше характеристик, определяется очень важным и устойчивым признаком: перекрытием (повторением) пласта в сечении, перпендикулярном плоскости пласта (рис.27-I) или отсутствием перекрытия ("зиянием") пласта (рис.27-2). Это свойство смещений можно обозначать знаком (+) при перекрытии пласта, знаком (-) при отсутствии перекрытия пласта (рис.36). Разрывные нарушения со знаком (+) увеличивают запасы угля на участке, а со знаком (-) уменьшают их.

Дополнительной характеристикой формы "несекущих" разрывных нарушений является направление падения сместителя относительно направления падения пласта. Когда сместитель имеет падение в ту же сторону, что и пласт, разрывное нарушение называется согласнопадающим или согласным (рис.28-2). В случае, когда сместитель падает в сторону, не совпадающую с направлением падения пласта, разрывное нарушение называют несогласнопадающим или несогласным (рис.28-I,3).

Таким образом, форма несекущих разрывных нарушений может быть охарактеризована четырьмя описанными признаками, например, продольный несогласный сброс с перекрытием (рис.28-I); диагональный согласный взброс с зиянием (рис.28-2). Наибольшее значение из указанных признаков для распознавания разрывных нарушений имеют вид и знак смещения. Некоторые исследователи среди согласнопадающих разрывов выделяют нарушения со сместителем более крутым и более пологим, чем пласт /I95/.

Размер разрывного нарушения определяется длиной сместителя, измеряемой в горизонтальном сечении, и максимальной амплитудой по линии падения - восстания плоскости сместителя, измеряемой в

сечении вкрест простирания смесителя. Амплитудой смещения называют расстояние между разъединенными разрывным нарушением частями одного и того же структурного элемента горных пород, напр.,угольного пласта. Следует иметь в виду, что в центральной части разрывного нарушения амплитуда смещения, как правило, имеет большую величину и, постепенно уменьшаясь в обе стороны, близ окончания разрыва достигает нулевого значения. Между длиной и максимальной амплитудой разрывных нарушений одинакового происхождения имеется определенная количественная зависимость. На рис.29 показан характер изменения амплитуды у крупных продольных взбросов Прокопьевского месторождения Кузбасса /80/.

Разрывные нарушения целесообразно разделить по амплитуде смещения на 4 группы:

а) мелкоамплитудные с h до 3 м,

б) среднеамплитудные с h от 3 до 30 м,

в) крупноамплитудные с h от 30 до 300 м,

г) весьма крупноамплитудные с h более 300 м.

Мелкоамплитудные разрывные нарушения обычно не требуют отыскания смещенной части пласта, т.к. характер разрывного нарушения может быть установлен в одной горной выработке. При встрече среднеамплитудного нарушения необходимо проведение специальных работ по поискам смещенной части пласта, т.к. такие нарушения при разведке бурением с поверхности часто остаются не обнаруженными. Характер крупноамплитудных разрывов обычно устанавливается на стадии детальной разведки. Весьма крупноамплитудные разрывы выявляются на стадии предварительной разведки. Разрывы последней группы в каменноугольных бассейнах встречаются, как правило, в сильно дислоцированных складчатых месторождениях.

К размерам разрывного нарушения следует также относить и

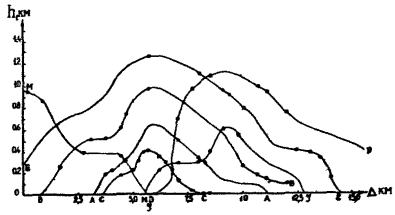


Рис. 29 Связь между амплитудой ($h_ц$) и длиной (Δ) взбросов. Прокопьевское месторождение, Кузбасс.

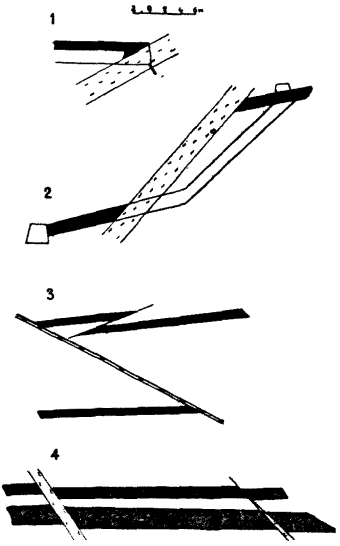


Рис. 30

Мощности разрывных зон по наблюдениям в горных выработках:

1–надвиг "Первомайский", шахта "Первомайская", Донбасс;

2–сброс по пласту 5, шахта № 2, Карагандинский бассейн;

3–надвиг по пласту 7, шахта "Мушкетовская-Вертикальная", "Донбасс;

4–сбросы по пласту $К_{13}$, шахта № 35 Карагандинский бассейн.

мощность разрывной зоны (рис.30), которая изменяется при прочих равных условиях пропорционально амплитуде смещения. Мощность зоны зависит от условий формирования разрыва литологического состава пересекаемых сместителем пород, а также от угла между сместителем и плоскостями напластования пород. Чем больше этот угол, тем больше мощность зоны. Вследствие этого, мощность разрывной зоны у крупных продольных взбросов, согласных с толщей, значительно меньше, чем у несогласных /25/.

В разных сечениях и проекциях разрывное нарушение имеет различные амплитуды смещения (рис.31). При ведении горных работ на участке разрывного нарушения необходимо знать амплитуду смещения в направлении продолжения горной выработки, а также направление, в котором амплитуда смещения минимальна. Различают следующие виды амплитуд смещения: в сечении вкрест простирания сместителя - по сместителю h, по вертикали H, по горизонтали β; в сечении вкрест простирания пласта - по горизонтали ℓ, по вертикали Z, по нормали к плоскости пласта N, в горизонтальном сечении (кроме β и ℓ) по сместителю - L; в плоскости сместителя - полная амплитуда перемещения R, ее вертикальная составляющая h, горизонтальная составляющая λ и амплитуда a, измеряемая по перпендикуляру между линиями скрещения висячего и лежачего крыла. Линией скрещения называется линия пересечения плоскости сместителя с плоскостью кровли или почвы пласта (рис.23). Амплитуда a является минимальной. При известной величине одной из амплитуд, а также известных углах падения сместителя (β), пласта (d) и угла между линиями простирания (W) можно определить другие амплитуды. Формулы для решения таких задач даны в приложении 2.

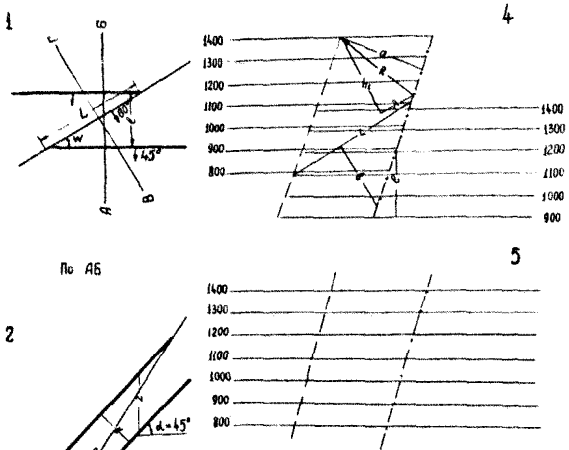


Рис. 3I Форма разрывного нарушения в разных сечениях и проекциях.

I – горизонтальное сечение, 2 – разрез вкрест простирания пласта, 3 – разрез вкрест простирания сместителя, 4 – проекция пласта на горизонтальную плоскость, 5 – проекция пласта на вертикальную плоскость.

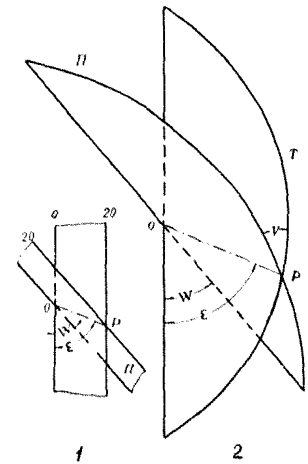


Рис. 32 Угловые величины, характеризующие соотношение плоскостей сместителя и пласта.

I – скрещение в проекции с числовыми отметками,
2 – скрещение в стереографической проекции.

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРЫВОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Форма и размер разрывного нарушения зависит в основном от двух факторов: геометрического соотношения плоскостей сместителя и пересеченных им плоскостей напластования и от направления и величины перемещения висячего крыла по сместителю.

Указанные факторы, в свою очередь, определяются ориентировкой главных осей тектонических напряжений и их величиной.

Геометрическое соотношение плоскостей сместителя и пласта, называемое в горной геометрии скрещением, для большинства разрывов можно характеризовать следующими величинами /77,78/: углом встречи W, углом скрещения ε и двугранным углом V (рис.32). За угол встречи принимается острый угол между линиями простирания сместителя и пласта, за угол скрещения - угол между простиранием сместителя и восстанием линии скрещения, за угол V - двугранный угол между плоскостями сместителя и пласта, измеряемый в плоскости, перпендикулярной линии скрещения, от направления восстания следа сместителя до пласта, находящегося в висячем крыле (рис.31-3).

В первый момент образования разрывного нарушения линии скрещения висячего и лежачего крыла и точки, лежащие на них, совпадали. Такие линии и точки называются сопряженными. В дальнейшем при движении крыльев линии скрещения висячего и лежачего крыла смещаются относительно друг друга. Так как в большинстве случаев нет достаточных данных для заключения об активности висячего и лежачего крыла разрыва, условно принимается, что лежачее крыло нарушения остается в покое, а висячее перемещается по сместителю. При этом допускается, что происходит поступательное движение, при котором каждая точка подвижного крыла перемещается параллельно и на одинаковое расстояние с любой другой его точкой /130/. При этом

линии скрещения в разных крыльях сохраняют параллельность. Общее относительное перемещение висячего крыла в пространстве может быть представлено в виде вектора, лежащего в плоскости сместителя и соединяющего исходное положение "О" произвольно выбранной на линии скрещения точки с конечным ее положением "$О_I$" (рис.35) /130/. Вектор движения характеризуется амплитудой движения R и направлением движения относительно простирания сместителя (угол γ) (рис. 35).

Амплитуда перемещения (движения) R и амплитуда смещения h связаны следующей зависимостью $h=R\cdot\sin\gamma$. Указанные амплитуды совпадают только в сечении, проходящем через вектор движения R, например, при чистом взбросе ($\gamma = 90^0$), изображенном в вертикальном сечении вкрест простирания сместителя; при чистом сдвиге ($\gamma = 0^0$), изображенном в горизонтальном сечении.

Разрывные нарушения удобнее всего изображать в проекции с числовыми отметками (рис.33) и в стереографической проекции(рис.34) /75/. В этих проекциях хорошо видны и могут быть измерены основные элементы разрывного смещения (угол встречи W, угол скрещения ε, угол скольжения γ, угол перемещения Γ - измеряемый от следа сместителя до вектора перемещения в направлении отсчета угла W, пласт в лежачем крыле $П_Д$, пласт в висячем крыле $П_В$, проекция полной амплитуды R). В проекции с числовыми отметками линейные и угловые элементы смещения изображаются без искажений; в стереографической проекции линейные элементы (амплитуды) не сохраняют действительной величины, но построение угловых величин (азимутов и углов падения плоскостей и др.) в этой проекции производить на много проще.

Для построения разрывного нарушения в стереографической проекции (рис.34-I) поступают следующим образом. По элементам залегания строят проекцию сместителя Т; пользуясь параллелями сетки, откла-

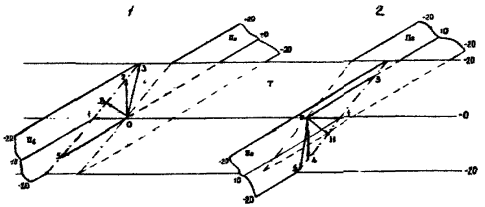


Рис. 33 Изменение формы разрывного нарушения в зависимости от направления движения висячего крыла относительно линии скрещения

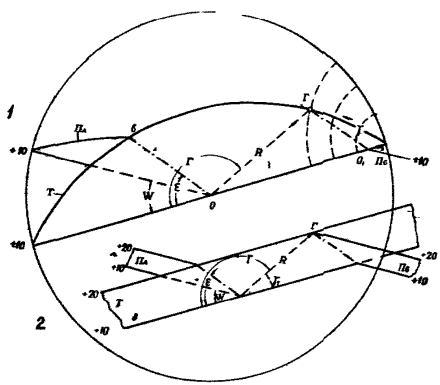


Рис. 34 Изображение разрывного нарушения:
1– в стереографической проекции;
2– в проекции с числовыми отметками

дывают на дуге сместителя от направления его простирания угол γ, получают точку Г - проекцию следов скольжения. Прямая ОГ является проекцией полной амплитуды R. Затем по элементам залегания строят проекцию пласта, но копируют на восковку только часть проекции $П_л$, находящуюся ниже сместителя (пласт в лежачем крыле разрыва). Соединив точку пересечения дуг сместителя и пласта получают линию скрещения Ов указанных плоскостей в лежачем крыле разрыва. Проведя через точку Г прямую $ГО_I$, до линии простирания сместителя, параллельную Ов, а затем из точки $О_I$ - прямую $П_в$, параллельную простиранию пласта, получим след пласта на гор.+ 10 м в висячем крыле нарушения.

Расположение сместителя и пласта в висячем ($П_в$) и лежачем крыле ($П_л$) на одном горизонте (+10м) даёт представление о форме разрывного смещения.

На рис. 34-2 изображено то же разрывное нарушение в проекции с числовыми отметками. Последовательность построений здесь та же, что и в предыдущем случае. Следует иметь в виду, что при изображении разрывного нарушения в данной проекции следы скольжения наносятся не по углу скольжения γ, а по его горизонтальной проекции γ_I.

По направлению движения висячего крыла разрыва относительно лежачего крыла разрывные смещения разделяются (рис.35) на сдвиги (I), взбросы (2), взбрососдвиги (3), сбросы (4) и сбрососдвиги(5). Большинство геологов /5,25,27,33,130/ считает указанные разновидности основными генетическими типами разрывных нарушений. Необходимо подчеркнуть, что в настоящее время термины взброс, сброс, сдвиг и др.используются не только для характеристики направления движения крыльев, но также и для характеристики формы разрывных нарушений, что в общем случае далеко не одно и то же.

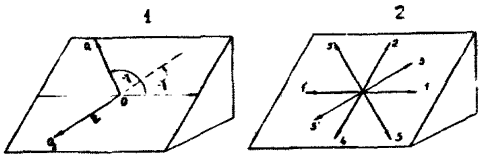


Рис. 35 Направление движения висячего крыла разрывного нарушения:
I-отсчет угла скольжения, 2-направления движения относительно линии простирания смесителя;
I - сдвиг, 2 - чистый взброс 3 - взброс (осдвиг),
4 - чистый сброс, 5 - сброс (осдвиг)



Рис. 36

График-классификация разрывных нарушений

На рис.33 и 37 сделаны построения, показывающие, что разрывное нарушение одной и той же формы может образоваться при одинаковых элементах залегания пласта и сместителя за счет движения висячего крыла в одном из пяти различных направлений. Такое нарушение, имеющее форму согласного сброса, с учетом направления движения крыльев можно назвать сбросо-сдвигом, сбросом, сдвигом или взбросо-сдвигом.

Из этого можно сделать вывод о том, что вид разрывного нарушения не может определяться его генетическим типом. С другой стороны на основании формы (вида) разрывного нарушения нельзя сделать точного заключения о сбросовом или взбросовом типе разрыва (особенно при наклонном и крутом залегании пластов).

Вид разрывного нарушения (видимое расположение висячего крыла относительно лежачего) определяется расположением вектора движения относительно линии скрещения. Если вектор R находится выше линии скрещения (в любом направлении, в том числе и диагонально вниз), то образуются разрывные нарушения взбросового вида (рис.33-1), если вектор R находится ниже линии скрещения, то - сбросового вида (рис.33-2). Вид и знак смещения может быть определен по данным приведенным в табл.I4.

Таблица I4

угол V	направление вектора движения относительно линии скрещения	
	вверх	вниз
больше 90^0	взбросовые с перекрытием	сбросовые с зиянием
меньше 90^0	взбросовые с зиянием	сбросовые с перекрытием

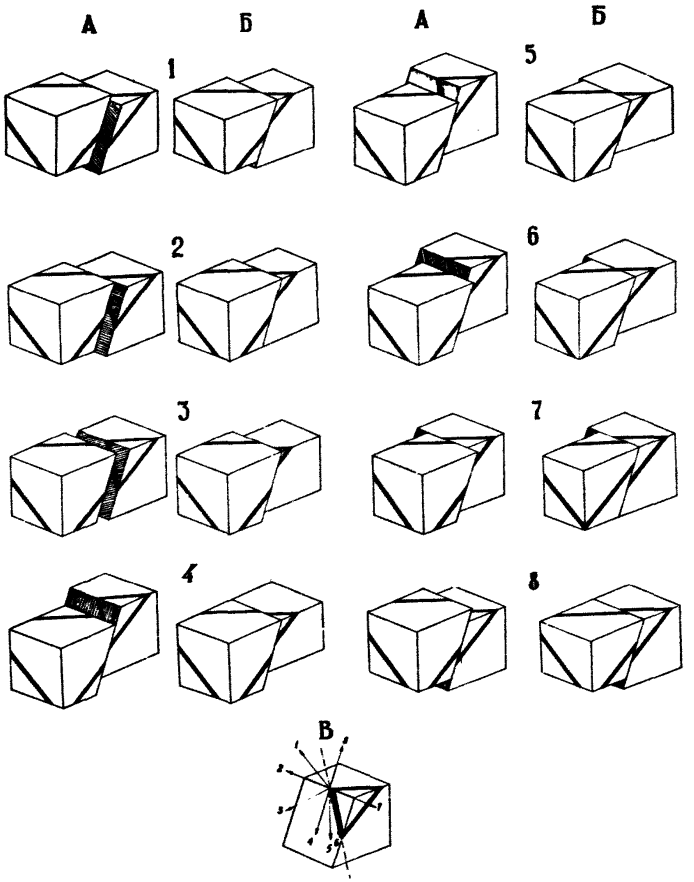


Рис. 37 Связь между направлением движения крыльев и формой разрывных нарушений (при $\gamma > 90^0$):
А - разрывное нарушение в аксонометрической проекции;
Б - то же, со срезом по горизонтальной плоскости и вертикальной плоскости вкрест простирания сместителя;
I-8 - форма разрывных нарушений, соответствующая разным направлениям движения;
В - направления движения висячего крыла I,2 8

Разрывные нарушения взбросового вида с перекрытием пластов называют надвигами; нарушения с тем же видимым смещением крыльев, но образующие "зияние" пластов целесообразно называть иначе, например, отдвигами. Нарушение с видимым смещением висячего крыла вниз с "зиянием" пластов называют сбросами; разрывы с таким же смещением, но имеющим перекрытие в отличие от сбросов можно назвать поддвигами. Каждое из указанных нарушений может быть согласным и несогласным, продольным и диагональным.

Имеется довольно большое количество классификаций разрывных нарушений. Однако, наиболее полные из них, учитывающие форму нарушений и направление относительного перемещения крыльев, отличаются громоздкостью /55,76,130/, или не учитывают такое важное свойство как знак смещения /55,130/.

Ниже приводится классификация разрывных нарушений, характеризующая их основные свойства.

Предлагаемая классификация (рис.36) представляет собой график зависимости следующих угловых величин: W, ε, V и угла Γ между простиранием сместителя и простиранием вектора перемещения.

Верхний квадрат графика с углами W, ε и V характеризует скрещение разрывного нарушения. Скрещения по соотношению углов W и ε разделяются на четыре группы: I+2, 3,4,5; по соотношению углов W и V на пять групп: I,2,3,4,5.

По углу W могут быть выделены продольные, диагональные и поперечные нарушения. По углу ε нарушения разделяются на два класса: с углом $\varepsilon < 90^0$ (группы I+2,4) и с углом $\varepsilon > 90^0$ (группы 3,5), отличающиеся друг от друга противоположным знаком смещения в горизонтальном сечении (при одинаковом перемещении). По углу V нарушения разделяются на следующие два класса:

остроугольные с углом $V \leq 90^0$ (группы 2 и 4) и тупоугольные с углом $V > 90^0$ (группы I,3,5), обладающие противоположным знаком смещения в вертикальном разрезе. Таким образом, разрывные нарушения по скрещению разделяются на пять групп:
I) несогласные тупоугольные; 2) несогласные остроугольные; 3) согласные тупоугольные (со сместителем круче пласта); 4) согласные остроугольные (со сместителем положе пласта); 5) согласные особые (диагональные с углом $V > 90^0$ и расположением линии скрещения между линиями восстания сместителя и пласта; угол падения сместителя может быть больше, меньше или равен углу падения пласта). Особенность нарушений с таким скрещением состоит в неодинаковом видимом смещении пласта в разрезах вкрест простирания сместителя и вкрест простирания пласта (рис.38-д).

Нижняя часть графика (два квадрата) представляет собой зависимость между углами $\mathcal{E}$ и Γ и характеризует связь между скрещением нарушений и перемещением крыльев. В верхнем квадрате с положительным значением угла Γ располагаются взбросовые нарушения; в нижнем квадрате с отрицательным значением угла Γ – сбросовые нарушения. Рассматриваемые квадраты разделяются диагоналями ($\mathcal{E} = \Gamma$) на треугольники с разным знаком смещения ("+" с перекрытием, " – " с зиянием пласта). Взбросовые разрывные нарушения с тупоугольным скрещением (при $\mathcal{E}$ и V более 90^0) названы истинными надвигами, а с остроугольным скрещением (при $\mathcal{E}$ и V менее 90^0) – истинными отдвигами. Сбросовые нарушения тупоугольные названы истинными сбросами, остроугольные – истинными поддвигами.

В малых треугольниках, ограниченных указанными диагоналями и ординатой $\mathcal{E} = 90^0$, находятся нарушения, у которых вектор перемещения заключен в остром угле, образованном простиранием

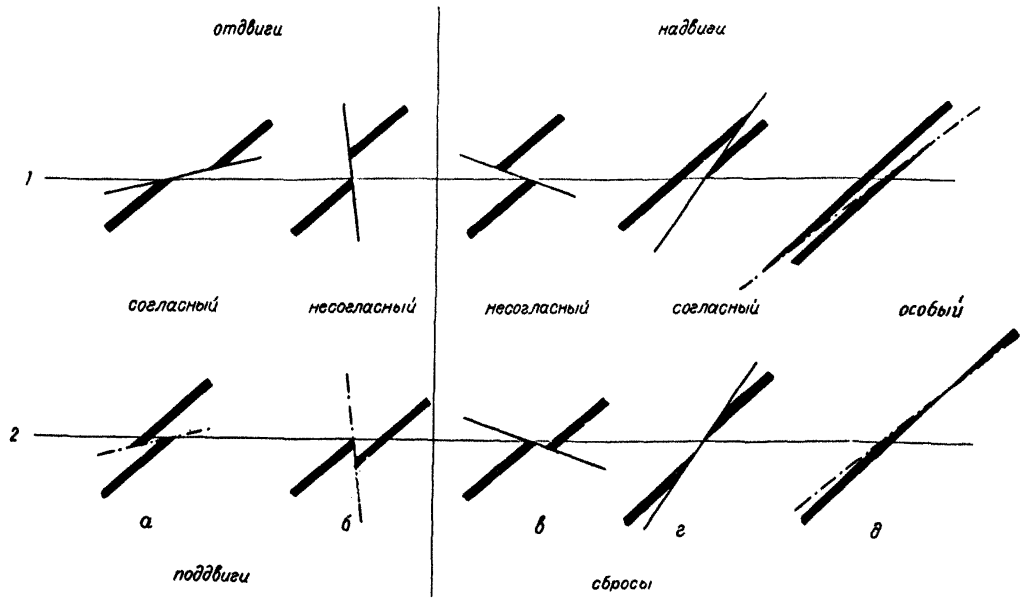


Рис. 38 Классификация разрывных смещений. Форма смещений в разрезе вкрест простирания пласта:

I - перемещение висячего крыла происходит вверх от линии скрещения;
2 - перемещение висячего крыла происходит вниз от линии скрещения;
а,б,в,г,б - различные скрещения (соответствующие группам 4,2,I,3,5).

сместителя и линией скрещения (рис.37В-5). В результате такого положения вектора перемещения разрывные нарушения приобретают форму, противоположную данному типу, поэтому разрывы имеют такие названия, как надвиг ложный, сброс ложный. Первое слово указывает на форму нарушения, а второе на несоответствие видимого перемещения пласта действительному перемещению крыльев.

Для полной характеристики разрывного нарушения достаточно иметь следующие данные:

а) Элементы залегания плоскостей пласта и сместителя, направление перемещения висячего крыла относительно лежачего (угол скольжения γ и его знак). По этим данным графически (с помощью сферической сетки или проекции с числовыми отметками) определяются углы W, ε, V и $\pm\Gamma$. Эти величины наносят на график и по положению точек определяют вид скрещения и смещения, в том числе знак последнего, а также название нарушения.

б) Углы W, ε, V и Γ(без знака) и знак смещения. На ординате, соответствующей углу ε наносят два значения угла Γ в верхнем и нижнем квадрате графика. Название нарушения определяется по местоположению на графе той точки, у которой знак смещения на графике соответствует действительному знаку смещения рассматриваемого нарушения.

Если данных о направлении перемещения нет, то название нарушения дается по его форме в вертикальном разрезе вкрест простирания сместителя. При этом нарушение относят к классу тупоугольных или остроугольных и учитывают видимое перемещение пласта вниз или вверх относительно пласта в лежачем крыле. По этим признакам разрывные нарушения могут оказаться надвигами, отдвигами, сбросами, поддвигами (без добавления слов истинный или ложный).

Вместо названий разрывных нарушений можно пользоваться их

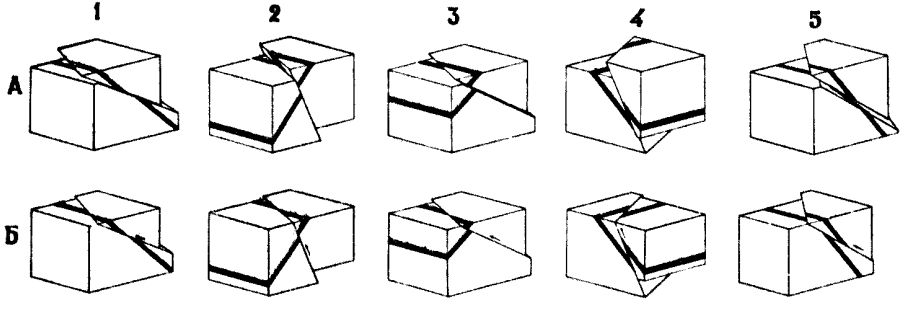


Рис. 39 Основные виды взбросовых смещений:

1 - согласный отдвиг, 2 - несогласный отдвиг, 3 - несогласный надвиг, 4 - согласный надвиг, 5 - особый надвиг.

Вертикальный разрез сделан вкрест простирания пласта. Перемещение висячего крыла происходит по линии падения сместителя.

А,Б - см. рис. 37

нумерацией, показанной на графике-классификации. Номер состоит из трех цифр: на первом месте стоит цифра, характеризующая скрещение (I,2,3,4 или 5), на втором месте - цифра, характеризующая положение вектора перемещения относительно линии скрещения (I - над линией скрещения, 2 - под ней), на третьем месте - цифра, характеризующая расположение вектора перемещения в остром (I) или тупом (2)угле, образованном линиями горизонта и скрещения на плоскости сместителя.

Оцифровка подобрана таким образом, что сумма первых двух цифр определяет знак смещения: если в сумме получается четное число, то смещение положительное ("+" с перекрытием пласта); если - нечетное число, то смещение отрицательное ("-" с зиянием пласта). Например, у согласного надвига истинного, имеющего номер 312, знак смещения "+", т.к. 3+I=4, а у согласного сброса истинного, имеющего номер 322, знак смещения "-", т.к. 3+2=5.

В том случае, когда данных о направлении движения крыльев нет, расположение вектора перемещения в указанном выше остром или тупом угле установить нельзя, поэтому в номере нарушения на третьем месте следует ставить цифру 0. Например, согласный надвиг нужно обозначить как 310, согласный сброс - 320, согласный отдвиг 410, согласный поддвиг - 420. Правило определения знака смещения сохраняется.

Таким образом, рекомендуется различать следующие основные формы "несекущих" разрывных нарушений (рис. 38, 39, 40): согласный и несогласный надвиги (рис.38-Iв,г), согласный и несогласный отдвиги (рис. 38-Iа,б), согласный и несогласный сбросы (рис. 38-2в,г), согласный и несогласный поддвиги (рис. 38-2а,б) (последние встречаются гораздо реже, чем остальные).

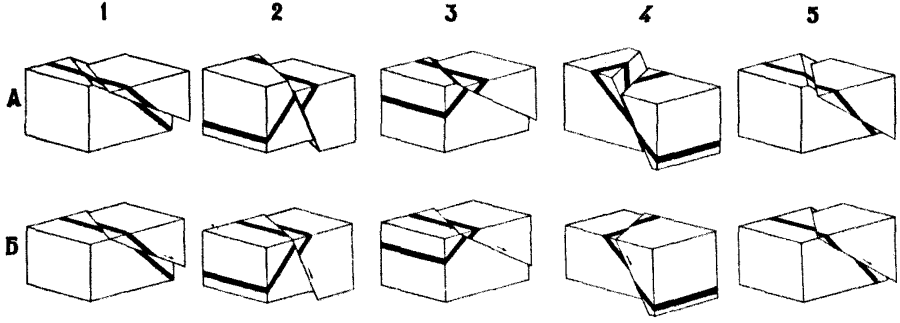


Рис. 40 Основные виды сбросовых смещений.

1 - согласный поддвиг, 2 - несогласный поддвиг, 3 - несогласный сброс, 4 - согласный сброс, 5 - особый сброс.

Перемещение висячего крыла происходит по линии восстания сместителя. Вертикальный разрез сделан вкрест простирания пласта.

А,Б - см. рис. 37

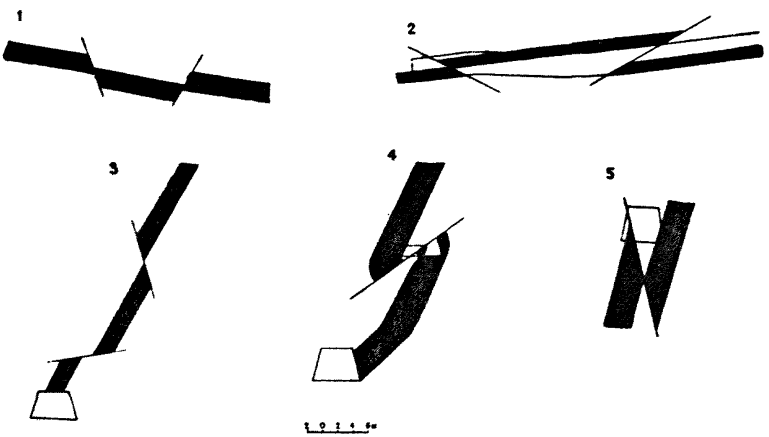


Рис. 41 Основные виды разрывных нарушений в разрезе.

1 - согласный и несогласный сбросы. Пласт 10, шахта "Мушкетовская-заперевальная" № 1, Донбасс;

2 - несогласный и согласный надвиги. Пласт 7, шахта "Мушкетовская-вертикальная", Донбасс;

3 - согласный и несогласный отдвиги. Пласт 9, шахта "Капитальная № 2", (Кизеловский бассейн);

4 - согласный поддвиг. Пласт I Внутренний, шахта № 6, Киселёвское месторождение Кузбасса;

5 - несогласный поддвиг. Пласт Встречный, шахта "Тыргамские уклоны", Кузбасс.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРА ДВИЖЕНИЯ КРЫЛЬЕВ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Вектор движения R может быть определен с помощью графических построений в проекции с числовыми отметками по расположению сопряженных точек на линиях скрещения, известных как в лежачем, так и в висячем крыльях разрывного нарушения. Сопряженные точки на сместителе можно восстановить в следующих случаях (рис.42):

а) на линиях скрещения изогнутой формы как точки их перегиба, напр., на линиях скрещения слоя в замковой части складки. Эти точки являются проекцией оси складки;

б) на линиях скрещения сместителя с угольным пластом, пораженным размывом или имеющим одноименные изолинии мощности, зольности и др. изученные особенности угольного пласта в обоих крыльях разрывного нарушения /192/;

в) на непараллельных линиях скрещения двух слоев, имеющих разные элементы залегания. Сопряженной точкой является точка пересечения линий скрещения указанных слоев со сместителем;

г) на линиях скрещения пласта при известном направлении следов скольжения на плоскости сместителя.

Определив вектор движения, нетрудно определить и его направление, т.е. узнать тип разрывного нарушения. О направлении движения крыльев можно судить также по следам перемещения, т.е. по следам скольжения, на которых имеются признаки, указывающие направление движения соседнего крыла. Следы перемещения, изученные в Кузбассе /77/, приведены на рис. 106

Следы скольжения на породах, примыкающих к разрывной зоне или к сместителю, являются очень важным, часто единственным признаком направления относительного перемещения крыльев, определяющего тип разрывного нарушения. Поэтому изучение следов скольже-

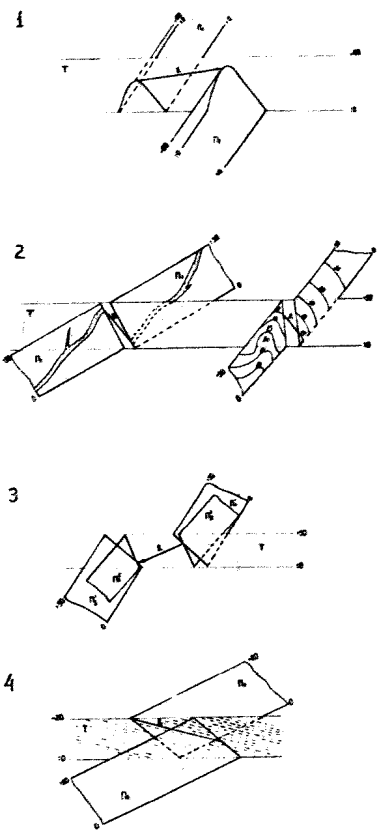


Рис. 42 Определение вектора движения крыльев:

I – по изогнутым линиям скрещения;
2 – по разорванным линейным размывам и изолиниям мощности или зольности угольного пласта;
3 – по смещению двух слоёв, имеющих разные элементы залегания;
4 – по следам скольжения

ния является совершенно необходимым.

Следы скольжения на плоскостях смесителей разрывных нарушений во всех угольных месторождениях в подавляющем количестве случаев, особенно в породах глинистого состава, выражены отчетливо. Методика документации следов скольжения описана на стр. 307.

Образование разрывных нарушений происходит в результате разрушения горных пород по определенным поверхностям под действием тектонических усилий. Разрушение развивается по плоскостям отрыва, расположенным перпендикулярно растягивающим усилиям или по плоскостям скалывания, расположенным под некоторым углом φ к направлению максимальных сжимающих усилий (σ_3) /152/. Угол φ может быть меньше или равен 45^0. Чем большей хрупкостью обладает порода, тем меньше угол скалывания φ /54/. В земной коре в условиях всестороннего сжатия при действии тектонических усилий возникает напряженное состояние, характеризующееся неодинаковыми по величине напряжениями, действующими в 3-х взаимно-перпендикулярных направлениях. Направление, по которому действуют максимальные сжимающие напряжения, называется осью σ_3, направление с минимальными сжимающими (или максимальными растягивающими) напряжениями называется осью σ_1, и направление с промежуточными по величине напряжениями - осью σ_2 .(рис.43).Плоскости скалывания пересекаются по оси σ_2 и располагаются симметрично оси σ_3, с которой образуют углы меньше 45^0 и симметрично оси σ_1, с которой образуют углы больше 45^0. Смещение происходит в направлении к оси σ_2 .

Указанная закономерность позволяет по расположению двух одновременно образовавшихся разрывов (разрывных нарушений или систем трещин) судить о расположении осей тектонических напряжений. Эту задачу удобнее решать в стереографической проекции

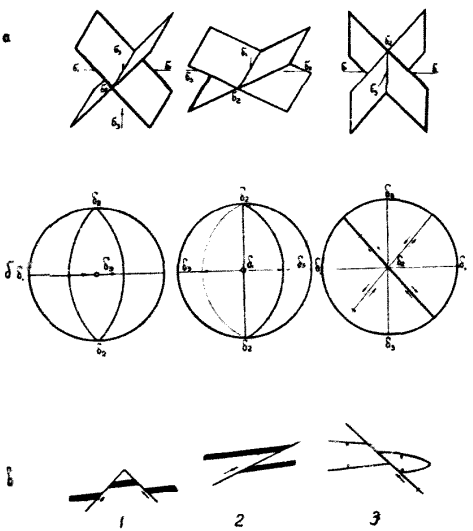


Рис. 43 Зависимость типа разрывных нарушений от расположения осей тектонических напряжений

а – расположение осей напряжений и плоскостей скалывания в аксонометрии;
б – то же в стереографической проекции;
в – типы разрывных нарушений;
I – сброс, 2 – надвиг, 3 – сдвиг.

(рис.44). Построив проекцию смесителей T_I и T_2, получим линию их пересечения, которая является осью $б_2$. Затем строим плоскость перпендикулярную $б_2$ ($Г_2Г_I$). В этой плоскости лежат оси $б_3$ и $б_1$, а также направления скольжения $Г_I$ и $Г_2$, совпадающие с линиями ее пересечения с соответствующим смесителем (T_I или T_2). Разделив дугу $Г_IГ_2$ пополам получим ось $б_3$ (если эта дуга стягивает острый угол) или $б_1$ (если эта дуга стягивает тупой угол). Длина дуги $Г_I$ $б_3$ – в градусах, равна углу скалывания φ. При известном положении оси $б_3$ легко определить положение оси $б_1$ и наоборот. Для этого достаточно отсчитать по дуге плоскости $Г_IГ_2$ от известной оси угол, равный 90^0. Имея на проекции оси $б_3$, $б_2$, $б_1$, легко определить их элементы залегания: азимуты и углы наклона.

С другой стороны, зная расположение осей напряжений, например, по пластической деформации пород (складчатости), можно сделать прогноз ориентировки возможных разрывных нарушений.

Наиболее простыми случаями являются расположения осей напряжений в вертикальном и горизонтальном положении (рис.43).Так, при действии вертикальных тектонических усилий образуются сбросы. Действие горизонтальных тектонических усилий ($б_3$) при горизонтальной оси $б_2$ обусловливает возникновение надвигов, а при вертикальном положении $б_2$ – сдвигов.

При наклонных осях напряжений образуются надвиго-сдвиги, сбросо-сдвиги различного простирания. При этом по одному смесителю перемещение висячего крыла может происходить вверх, а по другому сопряженному смесителю – вниз относительно лежачего. Часто возникают не парные, а одиночные разрывные нарушения. Для таких разрывов также можно восстановить положение осей напряжений, вызвавших его образование. Для этого необходимо знать элементы за-

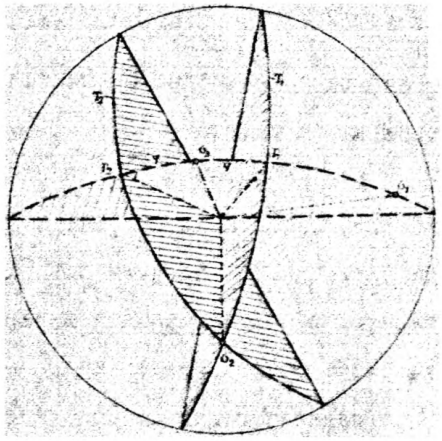


Рис. 44 Определение расположения осей тектонических напряжений по элементам залегания двух сопряженных сместителей.

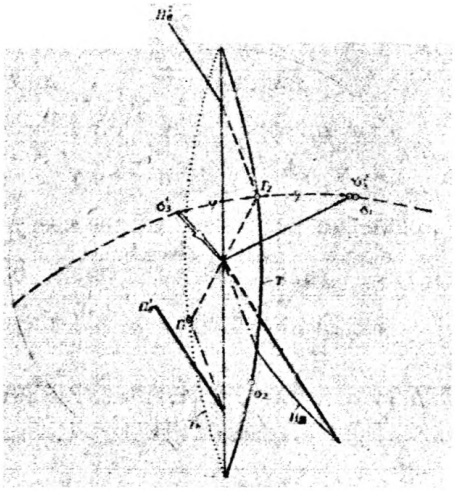


Рис. 45 Определение расположения осей тектонических напряжений по элементам залегания сместителя и следам скольжения.

легания сместителя, расположение на нем следов скольжения и знак смещения (положение пласта в обоих крыльях разрыва). На рис.45 изображено разрывное нарушение со сместителем Т, следами скольжения Γ_2 и перекрытием пласта ($П_л - П_в^I$). Учитывая, что линия скольжения Γ_2 и ось напряжений σ_2 расположены в плоскости Т и образуют между собой прямой угол, отложив по дуге сместителя от точки Γ_2 угол 90^0, получим ось σ_2 . Проведем плоскость, перпендикулярную σ_2 (она пройдет и через точку Γ_2). По дуге этой плоскости в обе стороны от точки Γ_2 отложим величину угла скалывания φ (известную для данного месторождения и изменяющегося для осадочных пород в пределах от 45 до 30^0). Таким образом, мы задаемся двумя возможными положениями оси σ_3(σ_3^1 и σ_3^2). Так как положение следов скольжения определяет только направление движения крыльев, но не его знак (+ вверх, - вниз), необходимо проверить какое положение оси σ_3 создает перекрытие пласта. Ось σ_3^2 расположена ниже плоскости Т, поэтому перемещение лежачего крыла произошло бы в направлении Γ_I, а висячего крыла - в направлении Γ_2. В этом случае пласт занял бы положение $П_в^2$ (смещение с зиянием). При σ_3^1 висячее крыло смещается в направлении Γ_I и займет положение $П_в^I$, что соответствует фактическому его положению. Таким образом, из двух осей σ_3 выбрана действительная ось (σ_3^1). Ось σ_1 находится в 90^0 от оси σ_3 .

4. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведенная выше классификация разрывных смещений может быть использована для выявления генетических особенностей разрывов. Такая возможность является следствием того, что один из признаков классификации - знак смещения, отражающий одно из важ-

нейших свойств нарушения, - наличие или отсутствие перекрытия пласта - зависит от факторов,связанных с формированием разрыва. Этот знак (определяемый в направлении, перпендикулярном плоскости пласта)зависит от геометрических признаков разрыва: от взаимного расположения плоскостей пласта и сместителя, а также от направления движения крыльев относительно линии скрещения, что, в свою очередь, определяется расположением осей тектонических напряжений по отношению к плоскости пласта (см.рис.43). Разрывные нарушения могут образовываться при различных углах падения пластов и при различной ориентировке осей тектонических напряжений. Указанные элементы в процессе развития складчатости изменяют положение в пространстве, поэтому в большинстве случаев нет возможности восстановить первоначальное расположение вектора перемещения крыльев, а значит,и однозначно определить генезис того или иного разрыва с точки зрения существующих в настоящее время представлений.

Знак смещения разрыва сохраняется при изменении элементов залегания сместителя и пласта в процессе складчатости, что позволяет выявить общность в образовании разрывных нарушений, имеющих перекрытие или зияние пласта вне зависимости от современной (искаженной) ориентировки вектора перемещения.

Указанная общность разрывных нарушений с одинаковым знаком смещения обусловлена не только "перевертыванием" сместителей, но также и образованием аналогичных смещений из-за соответствующего расположения тектонических усилий относительно плоскости пласта. Так, разрывные нарушения с перекрытием пласта, образующие класс надвиговых смещений (надвиги и поддвиги), возникают, например, при следующем расположении тектонических напряжений: ось максимальных сжимающих напряжений σ_3 совпадает с плоскостью пласта или составляет с ней небольшой угол, а ось средних сжимающих напряжений σ_2 лежит в плоскости пласта; разрывные нарушения

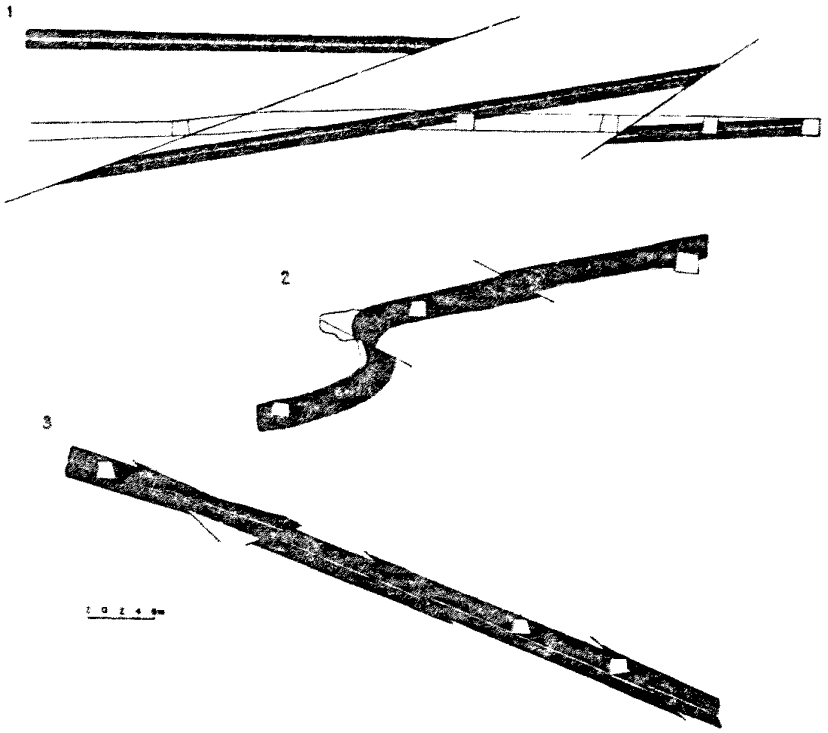


Рис. 46 Надвиги на пластах пологого залегания:

1 - согласные. Шахта № 6-7, Карагандинский бассейн;
2 - несогласные. Шахта № 40, Воркутское месторождение;
3 - сопряженные согласные и несогласные.
Шахта № 25, Воркутское месторождение

с зиянием пласта (в направлении, перпендикулярном плоскости пласта), образующие класс отдвиговых смещений (отдвиги и сбросы), возникают, например, при положении оси $б_3$ по нормали к плоскости пласта, а оси $б_2$ – в плоскости пласта, и также если последняя образует с плоскостью пласта больший угол.

Надвиговые разрывные нарушения зафиксированы в угольных месторождениях при всех без исключения углах падения пород. При пологом залегании угленосной толщи встречаются согласные и несогласные надвиги (рис.46). Преобладающей формой разрывов являются согласные надвиги, которые часто образуют чешуйчатую структуру.

Нередко угольные пласты бывают поражены сопряженными системами согласных и несогласных надвигов (рис.46-3). При этом наблюдается симметричное относительно пласта расположение смесителей указанных систем, что свидетельствует о их образовании в результате сжимающих усилий, действующих в плоскости пласта.

При наклонном залегании угленосной толщи количество несогласных надвигов уменьшается, а при крутом залегании пластов этой формы разрывов не существует. Это объясняется тем, что смесители ранее образовавшихся несогласных надвигов в процессе складчатости выкручиваются вместе с толщей пород, и указанные разрывы приобретают форму согласного поддвига (рис.47). Возможно и самостоятельное образование согласных надвигов и согласных поддвигов при крутом залегании крыльев складок. Симметричное расположение смесителей этих нарушений также подтверждает их образование в результате сжатия в плоскости напластования. В некоторых случаях одновременно с согласным поддвигом вместо согласного надвига образуется только складка (рис.47-2). Несогласные поддвиги встречаются лишь на пластах с очень крутым залеганием (рис.41-5).



Рис. 47 Тектонические нарушения, образовавшиеся от напряжений сжатия в плоскости пласта:

I - согласные надвиг и поддвиг. Пласт II внутренний, шахта № I-2, Киселевское месторождение, Кузбасс;
2 - согласный поддвиг и складка. Пласт IУ Восточный, шахта им.Димитрова, Араличевское месторождение, Кузбасс;
3 - согласные надвиг и поддвиг. Пласт II Внутренний, шахта "Коксовая I" , Прокопьевское месторождение, Кузбасс.

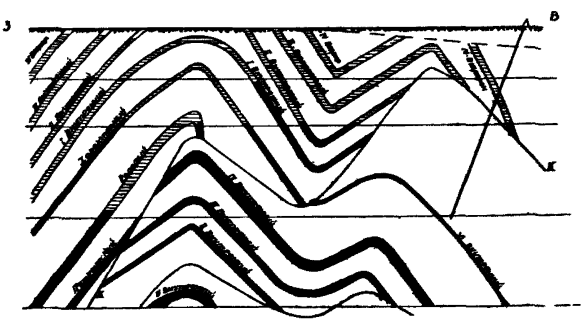


Рис. 48 Складчатый надвиг КК в Прокопьевском месторождении Кузбасса

На пластах крутого падения среди надвиговых разрывных нарушений также преобладают согласные надвиги.

Кроме упомянутых надвиговых нарушений, во многих угольных месторождениях достоверно установлены разрывные нарушения, сместители которых вместе с породами смяты в складки (рис.48).

Складчатые надвиги известны почти на всех месторождениях Кузбасса, в Донбассе, в Рурском и других угольных бассейнах. Это указывает на проявление интенсивных тектонических процессов в первые фазы складчатости еще при пологом залегании угольных пластов.

Отдвиговые разрывные нарушения, характерные отсутствием перекрытия пласта, также как и надвиги, встречаются в угольных месторождениях с различным углом падения пород. При горизонтальном и пологом залегании угольных пластов отдвиговые смещения проявляются в форме сбросов. Весьма характерной особенностью сбросов на угольных месторождениях является сравнительно небольшая амплитуда смещения (не превышающая 15-20 м).

Сбросы чаще всего образуют клиновую структуру (рис.49-2 и 3; 50-2) или ступенчатую структуру (рис.49-1; 50-1). Сместители сбросов образуют с плоскостью пласта угол, превышающий 45^0. В редких случаях этот угол достигает 90^0 (рис.50-1). При ступенчатой структуре по некоторым сместителям наблюдается взбросовое смещение крыльев (рис.49-1 сместитель второй справа), что объясняется неравномерным движением блоков.

При наклонном и частично при крутом залегании угольных пластов отдвиговые смещения имеют форму довольно странных разрывных нарушений с вертикальными или горизонтальными сместителями (рис.51; 52). У таких нарушений наблюдается то взбросовое, то сбросовое смещение висячих крыльев относительно лежачих. Если не учитывать

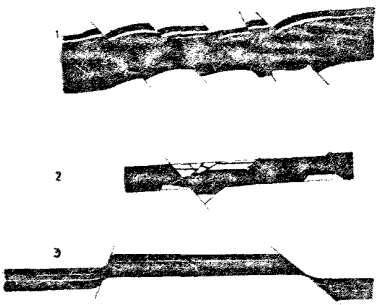


Рис. 49 Мелкоамплитудные сбросы:

I – по пласту Феликс, шахты № 22, Карагандинский бассейн;

2 – по пласту I шахты "Южно-Камышинская", Челябинский бассейн;

3 – по пласту УШ шахты № 205, Челябинский бассейн:

4 – шахта № 54, Донбасс

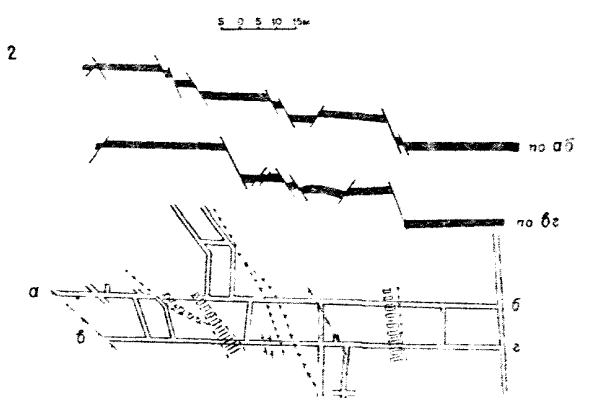


Рис. 50 Сбросы: I – ступенчатые. Шахта № 3-4, Донбасс;
2 – ступенчатые и клиновидные.
Шахта № 7-7бис, Артёмовское месторождение

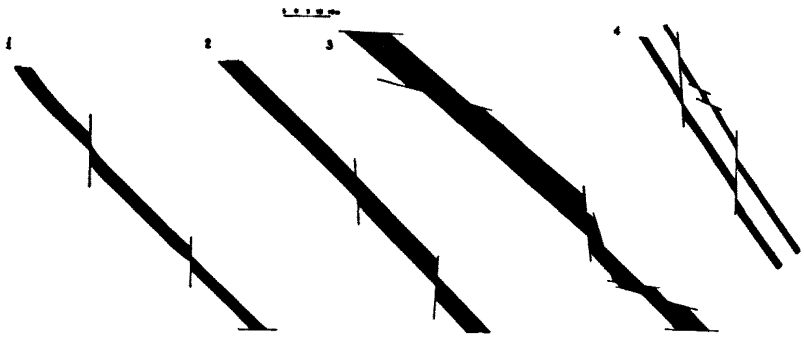


Рис. 51 Сбросы, имеющие форму отдвигов в результате увеличения угла падения пластов при складчатости.
Еманжелинское месторождение Челябинского бассейна;
I,3,4 - на шахте № I9;
2 - на шахте № 3 Кулярская.

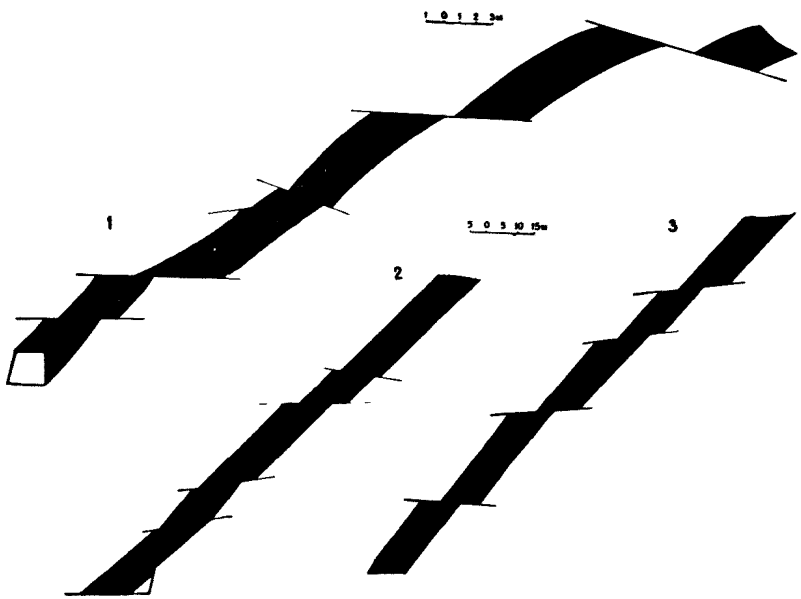


Рис. 52 Сбросы, имеющие форму отдвигов с горизонтальными смесителями в результате увеличения угла падения пластов при складчатости:
I - на шахте "Южно-Батуринская I"м
2 - на шахте № I9 Еманжелинского месторождения;
3 - на шахте № 5-7 Анжерского района Кузбасса

широко распространенное в складчатых месторождениях явление выкручивания пластов и сместителей, объяснение образования указанных разрывов весьма затруднительно. Разрывы, показанные на рис.51 и 52 являются сбросами, видоизмененными при складчатости. В справедливости такого объяснения легко убедиться, повернув чертеж таким образом, чтобы угольные пласты занимали горизонтальное положение.

Среди отдвиговых смещений на пластах крутого залегания, кроме "перевернутых" сбросов, могут быть разрывные нарушения, образовавшиеся в последние фазы складчатости. Такими нарушениями являются согласные и несогласные отдвиги, образующие часто клиновую структуру (рис.53; 54). Отдвиги являются наиболее распространенной формой разрывных нарушений на месторождениях с крутым залеганием угленосной толщи.

Отдвиговые нарушения образуются при действии сжимающих тектонических усилий по направлению близкому к нормали плоскости пласта. В связи с этим угольные пласты вблизи сместителей отдвиговых нарушений оказываются деформированными (рис.112, 113, 118) На этих участках часто наблюдаются пережимы угольного пласта, ступенчатость кровли или почвы угольного пласта, "отгибы" пласта возле сместителя, уменьшение мощности угольного пласта с приближением к сместителю; иногда до полного выклинивания пласта.

Надвиговые и отдвиговые разрывные нарушения, кроме указанных выше признаков, отличаются друг от друга по двугранному углу V между плоскостями сместителя и пласта. На рис.55 показан график частоты нарушений с перекрытием("+")и зиянием пласта("-") в зависимости от величины угла V. По оси ординат отложено превышение в количестве разрывов с данным знаком в процентах. Для составления графика было использовано около 1000 разрывных

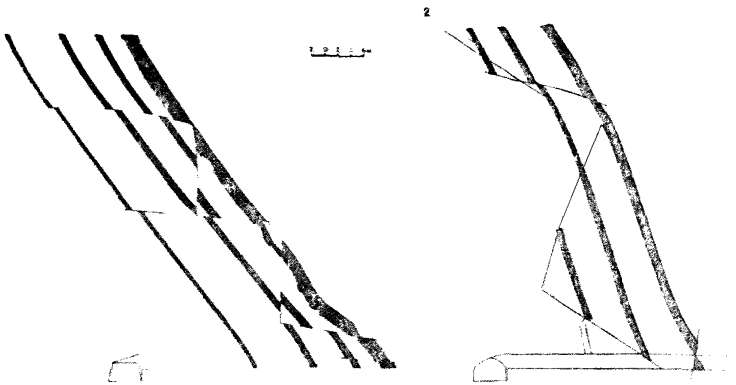


Рис. 53 Клиновидные отдвиги на шахте № 2 Капитальная, Кизеловский бассейн.

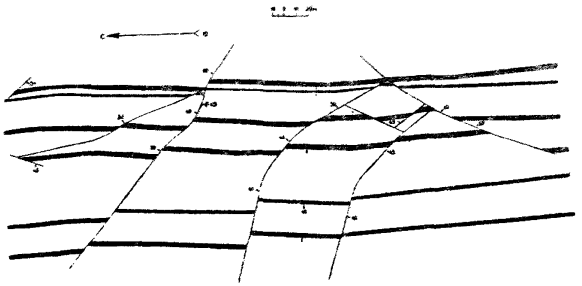


Рис. 54 Клиновидные смещения на шахте "Редаково-Северная", Араличевского месторождения, Кузбасс.

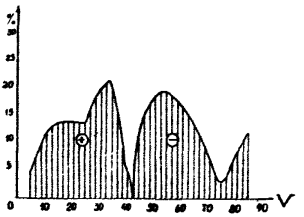


Рис. 55 График частоты нарушений в зависимости от угла V между плоскостями смесителя и пласта.
"+" – надвиговые нарушения;
"–" – отдвиговые нарушения.

нарушений по различным угольным месторождениям. На графике видно, что надвиговые и отдвиговые разрывы отделяются друг от друга углом V, равным 45^0; меньшие двугранные углы характерны для надвиговых, большие углы - для отдвиговых смещений. Наибольшую частоту у надвиговых нарушений имеет угол V, равный $30-35^0$, а у отдвиговых нарушений угол V равный $60-55^0$.

Эти данные подтверждают правильность схемы образования надвиговых нарушений в результате действия максимальных сжимающих напряжений (σ_3) в направлении близком к плоскости пласта, а отдвиговых нарушений - в направлении субперпендикулярном этой плоскости. По указанным величинам угла V устанавливается и средняя величина угла скалывания (заключенного между осью σ_3 и сместителем) равная для пород угленосных толщ $30-35^0$.

Последовательность образования разрывных нарушений в угольных месторождениях можно представить в виде следующей схемы.

При горизонтальном залегании угленосной толщи в результате восходящих тектонических движений образуются отдвиговые нарушения, имеющие форму сброса. В процессе складчатости как при пологом, так и при наклонном и частично при крутом залегании угленосной толщи, образуются надвиговые нарушения (согласные и несогласные надвиги, согласные надвиги и согласные поддвиги, согласные и несогласные поддвиги). При этом ось σ_2 расположена в горизонтальной плоскости, а ось σ_3 имеет простирание, перпендикулярное осевой поверхности складки и угол наклона, близкий к углу падения крыла складки /29/. Затем в последние фазы складчатости при сохранении направления максимальных сжимающих тектонических напряжений σ_3 происходит перераспределение напряжений /57/, в результате которого оси σ_2 и σ_1 меняются местами (рис.56), в результате чего на крыльях складки вместо надвигов возникают от-

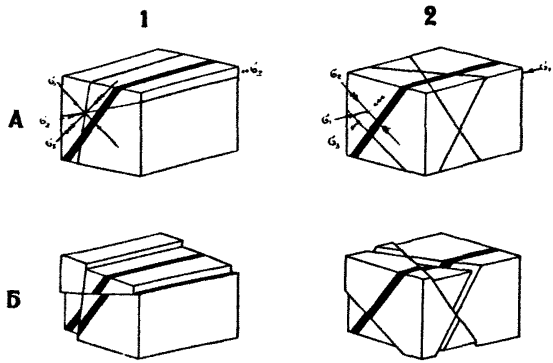


Рис. 56 Расположение осей тектонических напряжений на крыле складки и соответствующие им разрывные нарушения:

А - оси напряжений и плоскости скольжения;
I - начальное расположение осей напряжений;
2 - взаимное перемещение осей $б_2$ и $б_1$;

Б - разрывные нарушения
I - надвиговые, 2 - отдвиговые

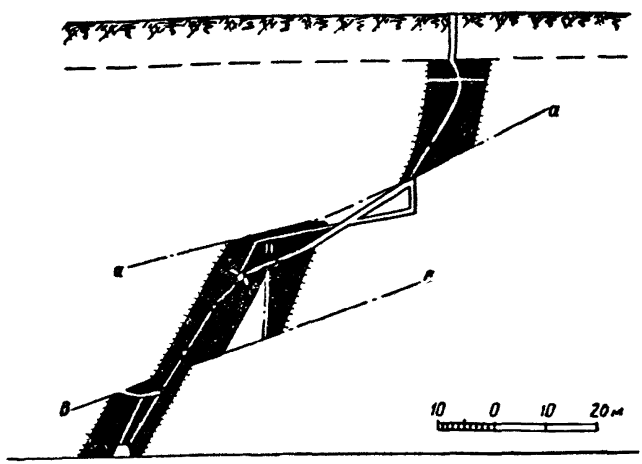


Рис. 57 Пример перемещения надвигового нарушения сместителем отдвига. Шахта им.Калинина, Прокопьевское месторождение, Кузбасс

двиги. Такая схема последовательности образования нарушений находит подтверждение в пересечении надвиговых нарушений смесительными сдвигами (рис.57).

В завершающие фазы складчатости, когда породы претерпевают *большое сжатие, возможно уменьшение анизотропии пород;* при этом сжимающие тектонические усилия σ_3 не будут изменять своего основного горизонтального расположения и обусловят возникновение сдвигов, смещающих слои не только на крыльях, но также и в ядре складок (рис. 43-3).

ГЛАВА 4

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ

Все литифицированные горные породы разбиты трещинами разного размера, густоты и направления. Трещины генетически связаны с внешними (тектоническими) или внутренними (диагенетическими) процессами, протекающими в породе.

Нарушение монолитности пород трещинами меняет их свойства, что особенно ярко проявляется при проходке выработок и выемке угля. Трещиноватость угля способствует износу зубков и зажиму рабочих органов добычных механизмов, отжиму угля, нарушает режим и увеличивает опасность работы в очистном забое. Эффективность добычи отбойными молотками и буро-взрывным способом во многом зависит от правильного использования трещиноватости. Системы трещин являются каналами фильтрации и полостями скопления газов и воды. Трещиноватые боковые породы создают дополнительные трудности при креплении выработок и управлении горным давлением, при решениии вопросов сдвижения пород и порядка отработки пластов.

Поэтому знание свойств трещиноватости может способствовать повышению производительности и безопасности труда, улучшению работы добычных механизмов и т.д. Изучение трещиноватости имеет и научно-прикладное значение для анализа и прогнозирования разрывных и складчатых структур.

§ I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Совокупность трещин, нарушающих целостность горных пород, называется трещиноватостью. Трещины, независимо от их размера и типа, являются проявлением одного и того же деформационного явления в горных породах, - явления их разрыва. С точки зрения меха-

низма формирования трещины могут быть отрывными и сколовыми.

Трещины и их системы отличаются друг от друга морфологическими особенностями, минерализацией, размерами, интенсивностью и пространственным положением.

По раскрытости или мощности заполнения выделяются трещины: видимые невооруженным глазом (открытые, закрытые и "волосные") и микротрещины. Ширина открытых трещин или мощность их заполнения определяется непосредственными замерами; ширину закрытых трещин можно считать равной 0,8-0,5 мм; "волосных" - 0,5-0,2 мм.

Протяженность трещины вдоль ее поверхности в любом направлении, как правило, не меньше любого видимого размера ее следа. В связи с предлагаемым дальше способом количественной характеристики трещиноватости, можно выделить следующие классы трещин: крупные - протяженностью не менее I м (секут I или несколько пластов); средние - протяженностью от 0,5 до I м, (секут несколько пачек или I пласт); мелкие - протяженностью до 0,5 м (секут отдельные слои).

По форме трещины могут быть прямыми, изогнутыми и ломанными. Характерно, что в плане они расположены часто кулисообразно, а в разрезе ограничены и смещены по напластованию относительно друг друга. Поверхность стенок трещин бывает гладкой, иногда пришлифованной и со следами перемещения, волнистой, бугристой, шероховатой и зазубренной.

Для угля многие исследователи /8,2II/ и др. более подробно характеризуют морфологию трещин.

В.В. Эз /2II/ для углей Донбасса выделяет:

I) трещины без следов скольжения - трещины с глянцевыми поверхностями, иногда с "глазковыми" формами на стенках;

 2) трещины со следами скольжения: а) со струйчатыми поверх-

ностями, б) с полублестящими поверхностями, в) с зеркалами скольжения, г) с матовыми поверхностями.

Наиболее минерализованными являются отрывные трещины с раздвинутыми стенками. Минерализация трещин любого типа иногда увеличивается при приближении к зонам тектонических нарушений. Трещины иногда бывают заполнены матовым и сажистым перетёртым углем.

Частота трещин зависит от мощности и состава пласта. Например, чем меньше мощность пластов и прочность пород, тем чаще трещины. По данным многих исследователей (/I34/ и др.) в карбонатных породах многих районов в пластах мощностью от 0,5 до 2,0 м эта связь прямолинейна. М.В.Рац /I87/ считает ее параболической. Для песчаников Урала частота трещин примерно равна удвоенной мощности пласта.

Интенсивность и, как правило, ориентировка трещиноватости вмещающих пород и угля различные. В песчаниках Ленинского района Кузбасса густота трещин 0,3-0,5 м, в алевролитах 0,I м, в аргиллитах 0,I-0,05 м, а в углях в среднем 0,02 м. В большинстве типов углей трещиноватость более интенсивна, чем в породах. Только в крепких углях (например, пласт Мощный, Прокопьевский район) густота трещин достигает 0,2-0,5 м. В одном пласте прослои петрографически разного угля отличаются разной интенсивностью трещиноватости (рис.58-I). О типах угля см.табл.15. Максимальное количество трещин наблюдается в блестящих, минимальное - в матовых углях (рис.58-2).

Взаимно пересекающиеся трещины ограничивают блоки разного размеры и формы, характерные для определённого типа пород. Эти блоки пород часто именуются отдельностью, а трещины их ограничивающие - трещинами отдельности. Отдельность пород на

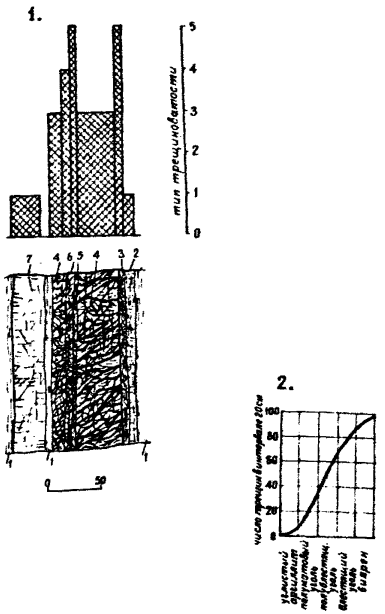


Рис. 58 Зависимость трещиноватости от типа и состава углей (по материалам И.И.Аммосова и др.).

1-для пласта Куцего, шахта № 8-а, Донбасс. 1-аргиллит; 2-крепкий уголь ("присуха"); 3,6-сильно перемятый зольный уголь; 4-уголь, разбитый трещинами; 5-перемятый углистый аргиллит; 7-уголь с линзами фюзена.

2-эмпирическая кривая.

угольных месторождениях имеет следующие характерные формы блоков: 1)параллелепипедальную, 2) призматическую, 3) кубическую, 4) плитчатую; реже – 5)глыбовую (неправильной формы), 6)столбчатую. В углях блоки наиболее правильной формы чаще встречаются в блестящих разностях; сапроколлиты и горючие сланцы не имеют правильной отдельности.

По расположению относительно простирания пластов или складок трещины делятся на продольные, поперечные и диагональные; относительно напластования – на нормальносекущие, кососекущие и параллельные напластованию. В самостоятельную группу выделяются трещины, оперяющие разрывные нарушения.

Трещины, имеющие одинаковую ориентировку и, как правило, близкую качественную характеристику, объединяются в системы.

Для характеристики генетических групп трещин употребляются разные термины. Трещины, повсеместно распространенные в осадочных породах и связанные с внутренними процессами при осадкообразовании и их литификации, разными авторами называются "диагенетическими", "сингенетическими", "первичными", "литогенетическими", "общими". Для всех этих трещин употребляются также термины: "трещины отдельности", "эндогенные трещины (кливаж)". Тектонические трещины называются "экзогенными (экзокинетическими)". Трещины выветривания, механических разгрузок при оползнях , обвалах и т.д. иногда называются "гипергенными". Многие авторы некоторые виды трещин отдельности горных пород именуют "кливажем", "сланцеватостью".

Большинство форм кливажа наиболее характерно для метаморфических или интенсивно складчатых пород и связано с их пластической деформацией. В приповерхностных участках земной коры кливаж

проявляется в виде сближенных поверхностей, параллельных закономерно ориентированным зернам минералов.

В механическом смысле кливаж, сланцеватость и трещиноватость одно и то же - разрывное явление, проявляемое в различной степени и при разных стадиях деформации пород. Поэтому для избежания путаницы все трещинные явления независимо от вида и этапа деформации следует считать трещиноватостью.

§ 2. ГЕНЕЗИС ТРЕЩИН

Трещины являются одним из видов проявления деформации горных пород. Поэтому изучение трещиноватости следует проводить с учетом строения участка, его складчатых и разрывных структур.

С точки зрения механики любая деформация твердого тела представляет собой перераспределение его элементарных частиц; при пластической деформации - непрерывное, при упругой - временное. В местах изменения энергетического равновесия, когда деформирующие напряжения достигают предела прочности, появляются трещины. Такие места и направления неустойчивого взаимодействия между частицами определяются либо дефектами в кристаллах (дислокации по теории Тейлора), либо механико-ориентационными свойствами кристаллических решеток при хрупких и пластических деформациях (по В.Д.Кузнецову и др. /56,104/).

Для объяснения механизма образования разрывных структур геологи давно пытаются использовать методы сопротивления материалов, физики и т.д.

Наибольшее распространение получила теория Беккера. В ней используется эллипсоид деформации, однозначно характеризующий конечный результат любой однородной деформации. Эллипсоид деформации нашел широкое применение при анализе структуры месторождений (/42,156/ и др.) как геометрическая схема для интерпретации набл-

даемых складчатых и разрывных нарушений или для установления вероятного плана деформации.

Предельное напряженное состояние, при котором образуются трещины, определяется теориями прочности. Из этих теорий наиболь шее распространение получила теория Мора, которая хорошо согласуется с экспериментальными данными (см.работы /104,132/). С помощью теории Мора можно установить предельные значения трещинообразующих напряжений, сколовый или отрывной тип трещины, углы скалывания и т.д. Для анизотропных пород Г.Н.Кузнецов /104/ предложил графический способ определения характера и типа образования трещин. М.В.Гзовским /54,55/ подчеркивается, что закономерности образования сколовых и отрывных трещин зависят от соотношения прочности на скол и отрыв, от условий деформации и от состава и строения пород.

Пространственное разнообразие систем трещин разного типа, их соотношение с элементами складок и напластованием можно объяснить различным проявлением тектонической деформации участка, начиная от уплотнения и упругой деформации, фиксируемой пологой складчатостью, и кончая пластической деформацией при интенсивной складчатости. В один импульс тектогенеза участки земной коры не претерпевают все стадии деформации. Поэтому для пологих структур характерна простая сеть трещин. В участках проявления нескольких импульсов тектогенеза степень дислоцированности пород увеличивается и здесь наблюдается большое количество систем интенсивной трещиноватости. Примером может служить трещиноватость пологозалегающих пластов Ленинского района и интенсивная многосистемная трещиноватость крутопадающих пластов Прокопьевского района в Кузбассе.

С геологической точки зрения вопросы происхождения трещиноватости остаются до сих пор недостаточно изученными. Часть авто-

ров (Г.А.Иванов и др.) считают, что трещины, нормальные к напластованию, образованы в результате внутренних напряжений, связанных с диагенезом пород. М.А.Усов, Е.Н.Пермяков и др. связывают образование такой трещиноватости с тектоникой.

Основным доказательством эндогенного происхождения пластовой нормальной трещиноватости является ее перпендикулярность к напластованию, что можно объяснить якобы только внутренними силами, которые должны действовать вдоль пласта при его горизонтальном положении /140/. Сохраняя свою перпендикулярность к пласту, эти трещины при складчатости вместе с пластом становятся наклонными. Однако этому доказательству противоречат следующие положения:

1) Выдержанность ориентировки 2-х основных систем на значительной площади и по разрезу в разных породах (рис.59) нельзя объяснить равномерным расположением центров стяжения и трещинообразующих напряжений при диагенезе пород. Вместе с тем это хорошо объяснимо единым планом тектонической деформации.

2) Наибольшая интенсивность трещиноватости наблюдается в углях средней стадии углефикации (рис.60), а не в антрацитах, образованных в результате более интенсивных процессов метаморфизма.

3) Положение формирующихся складок должно было бы быть произвольным относительно трещиноватости, созданной ранее и независимо от складчатости. Но чаще всего оси складок параллельны "основной" и перпендикулярны "торцовой" трещиноватости в пластах угля. Следовательно, эти системы и складки связаны друг с другом.

4) Изгибание пластов в складку сопровождается их проскальзыванием и течением вещества пласта. Эти деформации привели бы к искажению ранее созданных трещин.

5) При складчатости в наклонном пласте действуют локальные



Рис. 59 Подобие ориентировки трещиноватости в породах разного состава и возраста.
1-Подмосковный бассейн (по Б.Г.Виноградову).
2-Иркутская область: а - юрские породы, б-кембрийские породы (по В.Н.Калачевой).

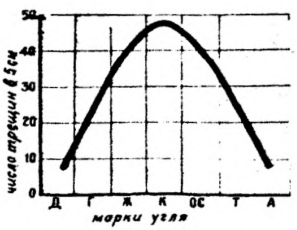


Рис. 60 Изменение интенсивности пластовой трещиноватости в углях различной степени углефикации.

(пластовые) напряжения, также как диагенетические напряжения, направленные вдоль пласта.

Таким образом, для осадочных пород целесообразно выделить три генетически самостоятельные группы: группу диагенетических, группу диагенез-тектонических и группу тектонических трещин.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

В генетической классификации рекомендуется выделять следующие трещины:

I) диагенетические, 2) диагенез-тектонические, 3) тектонические, 4) выветривания, 5) механической разгрузки.

Трещины, связанные с диагенезом, имеют специфические особенности, обусловленные составом и свойствами пород пласта, а также механизмом формирования при беспорядочно ориентированных растяжениях, вызванных уплотнением, цементацией, усыханием и другими процессами диагенеза. Диагенетические трещины в углях, известняках, глинах или опоках отличаются друг от друга как по ориентировке, так и по морфологическим признакам (рис.61).

Диагенетические трещины имеют ограниченное распространение, чаще всего встречаются в платформенных областях и в неполностью консолидированных породах. В складчатых районах они либо замаскированы, либо сформированы как диагенез-тектонические.

Весь процесс слоеобразования происходит при постоянных колебательных движениях земной коры. Поэтому внутренние факторы формирования трещин дополняются тектоническими, и сингенетические "зародыши" трещин и ослабленные направления развиваются под влиянием тектонических процессов. Это выражается в том, что внутрипластовая нормальная трещиноватость имеет пространственную связь с элементами структур (рис.62) и группируется в системы, выдер-

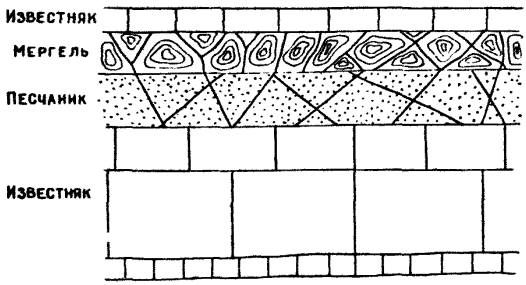


Рис. 6I Особенности трещиноватости пород разного состава. (по А.С. Новиковой).

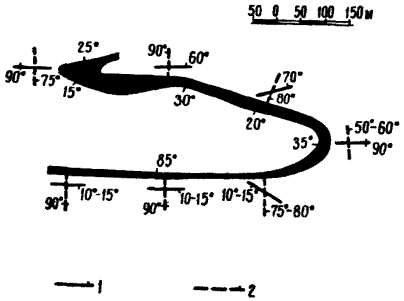


Рис. 62 Связь пластовой нормальной трещиноватости с элементами складок пласта Двойного шахты № II, Кузбасс (по П.К.Куликову).

I - продольные трещины;
2 - поперечные трещины.

жанные на значительной площади. Ю.А. Кемчужников /72/, указывает: "При прогибании геосинклинали угольный пласт получает растягивающие усилия, добавляющиеся к напряжению сокращающейся массы, и поэтому трещины, перпендикулярные к напластованию, образуются предпочтительно по направлению синклинальной оси, а следовательно, и по простиранию последующих складок". Поэтому такую трещиноватость нельзя отождествлять с диагенетической и правильнее считать диагенез-тектонической. Такого мнения о закономерных системах нормальносекущих пластовых трещин придерживается Е.Н.Пермяков /142/, В.С.Федоренко /199/ и др.

Диагенез-тектонические трещины могут быть отрывными и сколовыми. Они широко распространены во всех породах и группируются в системы. Частота большинства трещин этого типа зависит от мощности пласта и структурного положения участка.

Тектонические трещины могут быть отрывными и сколовыми. Для этого типа трещин характерны следующие признаки: сгруппированность в системы, пространственная и генетическая связь со складчатыми и разрывными структурами, пересечение нескольких пластов. Относительно напластования эти трещины занимают любое, чаще косое положение. Характерно наличие признаков и следов перемещения и наибольшее развитие такой трещиноватости в складчатых районах.

Кроме рассмотренных генетических типов выделяются трещины выветривания и механической разгрузки. Эти трещины, в первую очередь, развиваются по ранее созданным трещинам и скрытым поверхностям ослабления. Поэтому на диаграммах трещиноватости пород зон выветривания часто трудно обнаружить новые группы полюсов, отображающие собственно трещины выветривания.

Трещины выветривания в глинах проявляются в виде шелушения;

в других однородных породах - развиваются по нормали и почти параллельно поверхности обнажения (последние называются "окаймляющими"). Трещины разных типов, подвергшиеся выветриванию, расширены, заполняющий их материал выщелочен. Глубина распространения трещин выветривания обычно не превышает 50-80 м.

Трещины механической разгрузки связаны с проявлением гравитационных сил и разрядкой напряженного состояния пород (трещины откосов, оползней, оседания, обвалов и т.д.). Эти трещины проявляются, в первую очередь, по уже готовым трещинам и реже возникают самостоятельно. Развитие этих трещин по сравнению с предыдущими носит локальный характер и только в случае закарствованности значительных площадей они могут быть распространены более широко. Трещины механической разгрузки могут быть отрывными и сколовыми, по конфигурации в общем подобные контуру карста или отработанного участка.

Морфология трещин, связанных с проявлением горного давления и оседания кровли определяется, как правило, деформациями отрыва или изгиба.

Трещины отжима связаны с высвобождением материала в сторону выработанного пространства при сжатии пород налегающей толщей.

Некоторые авторы выделяют искусственные трещины, возникающие при взрывах, которые отличаются своим изломом и неровностью стенок.

При геологической документации угольных пластов для характеристики их трещиноватости можно использовать типизацию углей, приведенную в табл. 15. Основным показателем является густота трещин. Поэтому, например, к 3-му типу могут быть отнесены некоторые угли с интенсивной трещиноватостью при 1-2-х системах трещин.

Таблица I5

Тип трещиноватых углей	в пласте	в образце размером 20 х 20 х 20 см
I. Угли ненарушенные	Интенсивность трещиноватости до 30 см; число систем как правило, не более 3-х	I-2 трещины
2. Угли нарушенные (трещиноватые)	Густота трещин одной из 3-х и более систем I0-30 см; остальных - 30 см	3-4 трещины разных систем
3. Угли сильные нарушенные (интенсивно трещиноватые)	Густота трещин одной системы I0 см; остальных - 20 см. Количество систем, как правило, более 3-х	До I0-20 трещин разных систем
4. Угли раздробленные (весьма интенсивно трещиноватые)	Густота трещин одной из систем 0,5 см; остальных - до I0 см. Количество систем не менее 4-5	Количество трещин до сотни
5. Угли перемятые	Количество систем трудно установить. Уголь часто перемят.	Образцы размером 20х20х20 см трудно получить

Этим типам трещиноватости углей приблизительно отвечают группировки углей по степени их нарушенности и тектонической препарации, предложенные институтом геологических наук АН СССР /197/.

§ 4. ЗНАЧЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

Трещиноватость влияет на выбор рациональных способов и средств выемки угля, на проявление горного давления и управление кровлей и на решение других вопросов подземной разработки. Несмотря на это, роль трещиноватости при ведении горных работ изучена крайне недостаточно.

I. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ КРОВЛИ

Трещины, как поверхности ослабления пород, являются определяющим естественным фактором, от которого зависит устойчивость

пород. Устойчивое состояние кровли при небольшом количестве систем трещин во многом зависит от угла между забоем и основной ярко выраженной системой трещин. Специальными исследованиями на шахтах Караганды, Донбасса, Приморья и др. /34,191/ установлено, что кровля менее устойчива, если основная ее трещиноватость параллельна и падает в сторону забоя. Разрушение кровли и даже целика угля по трещиноватости, например, на шахте 7-7 бис Артемовского месторождения не только мешало работе, но часто носило аварийный характер с завалом лавы. Завалы часто происходили через два цикла выемки. Разрушение целика угля и его зажим наблюдался в массиве на протяжении 2 - 5 м. Выемка угля стала возможной при расположении забоя вкрест простирания основной трещиноватости.

На шахте "Аненская" треста Кадиевуголь при повороте фронта лавы относительно основной системы трещин на 15^0 случаи аварийного обрушения кровли, сложенной песчаниками, прекратились.

При параллельном положении основной трещиноватости и лавы часто объём работ и расход материала для крепления увеличивается в два раза. Поворот лавы относительно основных систем трещин на $15-20^0$, например, на шахте "Никанор" позволил заменить двухрядную органную крепь с кострами на однорядную. И.Н.Ушаковым /197/ также отмечается увеличенный расход крепежного материала при неблагоприятном взаимном расположении трещиноватости и лав Центрального Донбасса.

Таким образом, в целом можно говорить, что лавы, расположенные к основной трещиноватости под углом, большим 45^0, находятся в более благоприятных условиях, чем при более остром угле.

На проявление горного давления оказывает влияние угол и на-

правление падения, а также характер поверхности, заполнение и обводненность трещин. Давление на крепь проявляется быстрее, чем в остальных случаях, если трещины отвесны или наклонены в сторону целика угля. При жесткой конструкции крепи породы часто "обыгрывают" (обваливаются) по трещинам и фронту забоя. Если несущая способность крепи ниже давления, определяемого весом блоков пород непосредственной трещиноватой кровли, то завал происходит с разрушением крепи.

При наклоне в сторону выработанного пространства и шероховатой поверхности необводненных трещин горное давление нарастает медленно и, за счет трения и распора, создаваемого сползающими на завал блоками пород, его величина несколько снижается.

Общей закономерностью является зависимость характера проявления и величины горного давления от степени трещиноватости пород. Наибольшее первичное горное давление проявляется быстрее в более трещиноватых породах. В таких породах быстрее наступает и его стабилизация. В массивных нетрещиноватых породах горное давление проявляется медленно и не полностью.

При многосистемной трещиноватости, более свойственной аргиллитам и углистым аргиллитам, давление более или менее равномерно распределяется на крепь, а поэтому легче выбрать паспорт крепления и шаг посадки кровли. Например, на пластах Спорном и др. в Прокопьевском районе Кузбасса при шаге 8-12 м посадка осуществляется легко, независимо от вида режущей крепи. Обрушение происходит последовательно при отслаивании, главным образом, по трещинам, параллельным наслоению. Но в этих условиях иногда требуется сплошная затяжка трещиноватой кровли или оставляется пачка угля.

Неравномерность проявления горного давления, связанная с трещиноватостью пород, ещё не изучена.

При крутом падении пласта на проявление горного давления оказывает влияние трещиноватость почвы. Например, при отработке пласта Прокопьевского(шахта "Манеиха", Кузбасс), падающего под углом 75^0, происходило оползание почвы по продольным кососекущим трещинам с углом наклона $60-65^0$. Поэтому в таких условиях, как правило, от обрушения кровли переходят к закладке выработанного пространства с небольшим шагом закладки (5-6 м).

В результате исследований ИГД АН УССР на шахтах Донбасса получены соотношения параметров естественной и искусственной трещиноватости от горного давления, проявляющейся в виде заколов и отслоений (см.табл.I6).

Таблица I6

Породы	Угол падения, градусы		Частота трещин, м			
			секущих		согласных	
	естествен.	искусствен.	естествен.	искусствен.	естествен.	искусствен.
Аргиллиты (глинистые сланцы)	76	76	0,22	0,84	0,I2	0,47
Алевролиты (песчано-глинистые сланцы)	83	-	0,63	-	0,07	0,20
Известняки	78	79	0,47	0,96	0,07	0,38
Песчаники	77	82	I,I0	I,70	0,I6	0,96

Из приведенных средних значений видно уменьшение густоты обоих видов трещин в зависимости от крепости пород. Расстояние между трещинами - заколами увеличивается при увеличении угла между забоем и направлением соответствующей системы естественных трещин.

Горное давление вызывает деформацию угля в целиках или массиве у забоя, что происходит прежде всего по трещиноватости.

Часто это проявляется в виде откалывания от забоя кусков и "осыпания" угля. А.Кидрбинским /212/ установлена величина "зажима" (уменьшения) мощности пласта в зависимости от положения трещиноватости кровли. Величина "зажима" небольшая - 3% (рис.63),если лава расположена под углом к основной системе трещин, падающих от забоя; наибольший "зажим" (6-10%) наблюдается при параллельности простирания лавы и трещиноватости, если последняя падает в сторону забоя (рис.63-1). Подобие кривых простирания очистных забоев с завалами и трещиноватости угля и пород кровли (рис.63-2) указывают на влияние ориентировки трещиноватости на устойчивость лав.

В подготовительных выработках проявление горного давления также зависит от угла между осью выработки и направлением основной трещиноватости. Например, выработки околоствольного двора шахты "Щегловка-Глубокая", Донбасс, пересекаемые под острым углом двумя основными системами трещин, подвержены большей деформации, чем другие выработки. В Челябинском бассейне основное влияние на разрушение выработок оказывают трещины параллельные напластованию, которые часто несут следы перемещений и приурочены к контакту различных пород. Более устойчивы квершлаги, менее - выработки, пройденные по простиранию пород.

Известную опасность представляют системы трещин, кососекущие выработку и клиновидно сходящиеся в кровле.

Взаимное положение забоя и трещин в плане и разрезе дает возможность выбрать наиболее целесообразный способ и направление отработки пласта. Эти положения показаны на конкретных примерах отработки отдельных пластов в Кузбассе и Донбассе /83,191/. Например, в Кузбассе неприемлемыми оказались камеры и системы с наклонно-поперечными слоями, диагональные слои ВУГИ с восходящей отработкой и забоями по восстанию.

На шахте 2-7 "Лидиевка" при отработке одного и того же пласта, но при разном соотношении с трещиноватостью кровли при прямой и обратной выемке угля, резко различными оказались условия устойчивости кровли.

2. СВЯЗЬ ТРЕЩИНОВАТОСТИ С ЯВЛЕНИЯМИ ОБРУШЕНИЯ И СДВИЖЕНИЯ ПОРОД

Форма куполов и характер поверхности обрушения указывают на их зависимость от трещиноватости пород (рис.64). Обрушение, как уже отмечалось, связано с благоприятным сочетанием плоскостей ослабления (трещины, напластование и др.) с выработкой. Наиболее часто они возникают при пересечении зон разрывных нарушений и повышенной трещиноватости, часто приуроченных к участкам изменения морфологии пласта.

Форма и размеры купола обрушения зависят от ориентировки и интенсивности трещин. При интенсивной трещиноватости образуется купол сводчатой формы, обладающий наибольшей устойчивостью.

Характер образования куполов в целом подобен обрушению пород при сдвижении над выработанным пространством.

Трещиноватость боковых пород в значительной степени оказывает влияние на величину угла обрушения. Например, в Прокопьевском районе отмечается связь поперечных нормальносекущих трещин с элементами сдвижения. Это ярко проявляется в лавах, когда кровля при посадке обрушается ("обрезается") по этим системам. В связи с этим трещины обрушения на поверхности, как правило, незначительно выходят за контур выработанного пространства по простиранию. Отсюда угол обрушения по простиранию, равный 80-90° и подтверждённый многочисленными наблюдениями ВНИМИ, позволил на ряде шахт этого района сократить соответствующие размеры охранных целиков.

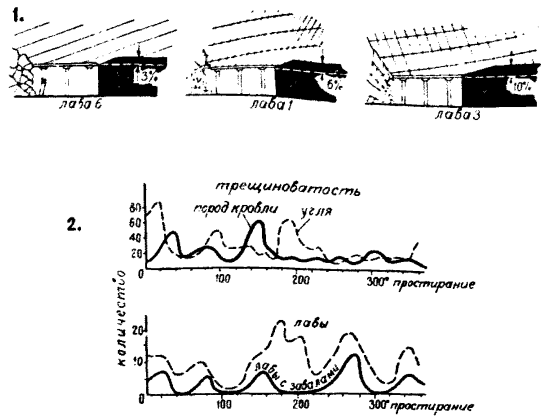


Рис. 63 Влияние трещиноватости на устойчивость кровли и "зажим" пласта угля в Бытомских шахтах (Польша).

I -соотношение величины "зажима" и характера трещиноватости кровли; 2 -соотношение простирания трещиноватости и забоевлав.

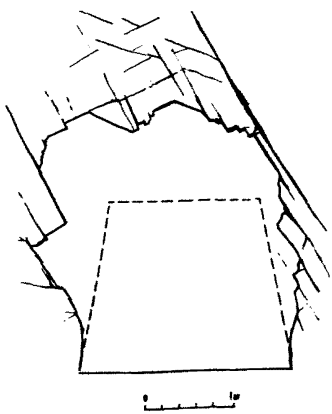


Рис. 64 Влияние трещиноватости на форму обрушения. Шахта № II, Прокопьевское месторождение, Кузбасс.

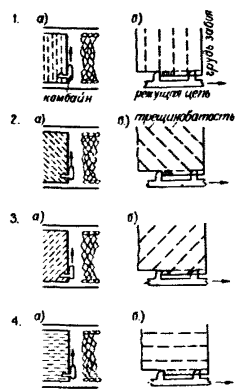


Рис. 65 Взаимное расположение трещиноватости, забоя лавы и направления движения комбайна.

Как установлено П.К. Куликовым /109/ в Прокопьевском районе Кузбасса углы обрушения в плоскости, нормальной к простиранию, для пластов с различным углом наклона (Спорный, Двойной и др.) зависят от ориентировки продольной нормальносекущей трещиноватости основной кровли. При пологом залегании пласта эта трещиноватость благоприятна для обрушения, так как она круче естественного угла откоса. При крутом падении эти пологопадающие системы не способствуют разрушению подработанного массива. Здесь большую роль играют кососекущие трещины. При залегании пласта под углом 40–45^0 (пласт Двойной) сдвижение кровли происходит под углом 40–50^0 по нормальносекущим продольным трещинам.

От ориентировки и интенсивности трещиноватости кровли зависит высота зоны обрушения. Для кровли, сложенной маломощными песчано-глинистыми прослоями, разбитыми интенсивными косо- и нормальносекущими трещинами, характерна быстрая обрушаемость и забучивание выработанного пространства. Например, кровля пласта Подлутугинского, Кузбасс. Поэтому высота зоны обрушения была незначительной и не превысила пятикратную мощность пласта. Песчаники кровли пласта Горелого (Кузбасс) разбиты двумя системами нормальносекущих трещин. Высота зоны обрушения в этом случае составила семикратную мощность пласта, что привело к разрушению пласта Характерного, залегающего выше него на 46 м.

Из приведенных примеров видны следующие закономерности. При небольшом количестве систем нормальносекущих трещин кровля обрушается крупными блоками, и трещины обрушения распространяются на значительную высоту. При более густой различно ориентированной трещиноватости породы кровли дробятся на более мелкие куски, значительно увеличиваются в объёме и быстро забучивают выработанное пространство. Поэтому высота зоны обрушения становится меньше предыдущей.

3. ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА МЕХАНИЗАЦИЮ ДОБЫЧНЫХ РАБОТ

Забойщики, добывающие уголь вручную или с помощью отбойного молотка, давно и успешно использовали способность угля разбиваться по трещинам. На производительность добычного механизма влияет ряд причин, обусловленных трещиноватостью. Трещиноватость оказывает влияние на скалывающую способность угля, расход зубков, заклин и заедание бара. Трещиноватость влияет также на степень измельчения (кусковатость) угля при его транспортировке. На рис. 65 показаны основные случаи взаимного расположения трещиноватости, забоя и комбайна (врубовой машины). Как показали многочисленные исследования /26,83,192/, наиболее эффективная работа механизма достигается при оптимальном "угле встречи" основной трещиноватости с плоскостью забоя и движением рабочего органа комбайна. Опыт работы комбайновых бригад шахт №№ 31,44,40 и др. в Карагандинском бассейне показал, что при изучении интенсивности, ориентировки и минерализации трещин, а также при подборе соответствующих зубков и скорости резания можно добиться наилучшей работы добычного механизма.

При этом следует указать, что часто при стремлении увеличить добычу и производительность механизмов не считаются с требованиями сортности угля по кусковатости. Наиболее рациональное использование трещиноватости должно быть основано на изучении ее проявления и влияния на весь комплекс работ в лаве. Исследованиями установлено, что во 2 и 3 случаях (рис.65) имеется больше положительных сторон, чем в остальных. В этих случаях наиболее благоприятны условия для работы зубков по скалыванию и менее распространен заклин бара (смотри заштрихованную часть рисунка 65-3б). Во втором случае расход зубков меньше, чем в третьем

случае, но больше заедание бара из-за крупного штыба и пропиливания массива угля дисками отбойной штанги. Характерна большая кусковатость угля. Все это хорошо наблюдается при эксплуатации пласта Пятого шахты "Чертинская" 2/3 (Кузбасс). В третьем случае лучше условия для сцепления зубков с углем, поэтому комбайн меньше отходит от забоя. Производительность комбайна при повышенном режиме работы двигателя и повышенном расходе зубков больше, чем во втором и других случаях. Это подтверждается многочисленными данными по шахтам Промышленного участка Караганды. В четвертом случае не происходит оседания подрубленной части угля, реже зажимается бар. Менее выгодное взаимное положение комбайна и трещиноватости отображено на рис. 65-I, когда наблюдается значительный отжим угля и заедание бара.

При струговом или буровзрывном способе отбойки наибольший эффект в производительности достигается, когда плоскость забоя параллельна основной трещиноватости угля.

Выход угля по классам крупности во многом определяется второстепенной, мало выраженной трещиноватостью, и микротрещиноватостью. В первом случае (рис.65-I) выход крупных классов при добыче увеличивается, но при дальнейшей погрузке и транспортировке достаточно быстро разрушается по другим менее выраженным и открытым трещинам. В четвертом случае отбиваемые куски образуются чаще под влиянием большинства систем и лучше сохраняют свою форму и размеры при дальнейшей погрузке и транспортировке.

ГЛАВА 5

КАЧЕСТВО УГЛЕЙ

§ I. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА УГЛЕЙ В СВЯЗИ С ИХ ПРОМЫШЛЕННЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

Задачей изучения качества углей является выяснение их состава и химико-технологических свойств с целью определения возможности эффективного использования в различных отраслях народного хозяйства.

Основными показателями качества углей являются: элементарный состав органической массы, зольность, влажность, сернистость, удельный вес, теплота сгорания, выход летучих веществ, спекаемость. В зависимости от конкретного направления использования углей устанавливаются дополнительные качественные показатели (содержание фосфора, обогатимость, плавкость золы и др.).

Перечисленные показатели определяются генетическим типом, петрографическим составом, степенью восстановленности и стадией метаморфизма углей.

Ископаемый уголь состоит из двух частей: горючей массы и негорючей части или балласта. Горючая масса включает летучие вещества (V^r) и нелетучий твердый остаток - беззольный кокс (K^s). Влага (W) и остающийся после сгорания угля твердый остаток - зола (A) являются балластом топлива.

В состав горючей органической массы угля входят следующие элементы: углерод (C), водород (H), азот (N), кислород (O), сера ($S_{op.}$).

Содержание перечисленных элементов определяется посредством элементарного анализа. В отдельных случаях устанавливается содержание фосфора.

У г л е р о д - основная составная часть угля. При горении, соединяясь с кислородом, он превращается в углекислый газ, выделяя при этом большое количество тепла (до 8140 килокалорий).

В о д о р о д - также является существенной частью горючей массы. Его теплотворная способность очень высокая (34200ккал), однако, доля свободного водорода в угле очень мала, т.к. большая часть его входит в состав воды.

Остальные элементы хотя и составляют значительную часть горючей массы, но являются нежелательными, так как понижают теплоту сгорания угля.

Наиболее вредной является примесь серы. Последняя встречается в углях в трех формах: сера органическая, связанная непосредственно с органическим веществом (S_{op}), сера колчеданная или пиритная ($S_к$) и сера сульфатная (S_c). Первые две при сгорании угля образуют сернистый газ, который улетучивается, сульфатная сера переходит в золу. Сумма всех трех видов составляет содержание серы в аналитической пробе (S^a). Наличие серы в угле (особенно пиритной) ухудшает его качество.

Все анализы для определения основных показателей качества угля производятся на пробах подсушенных при температуре $50^0 \pm 5^0$ до воздушно-сухого состояния. Результаты анализов пересчитываются на абсолютно сухое вещество угля, условную горючую массу и рабочее топливо по следующим формулам:

на абсолютно сухое вещество $$X^c = X^a \frac{100}{100 - W^a};$$

на рабочее топливо $$X^p = X^a \frac{100 - W^p}{100 - W^a};$$

на горючую массу $$X_i^r = X^a \frac{100}{100 - W^a - A^a},$$

где W^a и W^p - соответственно, влага аналитическая и рабочего топлива; A^a - зольность по аналитической пробе;

x - может быть показателем зольности (A), выхода летучих веществ (V), элементарного состава (C, H, O, N, W, S, P), теплоты сгорания (Q); x_1 - выходом летучих веществ, теплотой сгорания, показателем элементарного состава.

Качество угля является одним из существенных факторов, определяющих экономически целесообразную отработку угольных месторождений. От него зависит разделение шахтного поля на участки с кондиционными и некондиционными запасами, перевод запасов в высшие категории, очередность отработки, определение возможностей рационального использования, разработка технологических схем обогащения и переработки.

Контролем за качеством угля на шахтах занимаются отделы технического контроля при участии шахтных геологов; ими совместно составляются планы опробования и размечаются точки отбора проб. В зависимости от фактических изменений состава и свойств угля на отрабатываемых участках с участием шахтных геологов разрабатываются проекты стандартов на качество углей.

Для всестороннего изучения качества углей шахтный геолог должен быть знаком с их свойствами, областями применения, требованиями к ним промышленности и способами улучшения или сохранения их качественных показателей.

Требованиями промышленности к качеству углей предусматривается получение максимального технологического и экономического эффекта в процессе их использования. Учитывая важное значение качества углей для определения направления их промышленного применения, характеристику показателей его целесообразно привести при описании основных видов использования углей.

Существует два основных направления использования углей: энергетическое и технологическое.

I. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА УГЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Использование углей в энергетических целях заключается в их сжигании в топках различных энергетических установок: стационарных котельных установок электростанций, промышленных и коммунально-бытовых предприятий, в топках паровозов, судов морского и речного флота и др.

При энергетическом использовании углей и отходов обогащения требуется определение: зольности, влажности (рабочего топлива и гигроскопической), теплоты сгорания, ситового состава, удельного веса. В отдельных случаях определяются дополнительные показатели: состав и плавкость золы, брикетируемость (для рыхлых углей), обогатимость (для многозольных), а при сжигании топлива в пылевидном состоянии - размолоспособность.

Характеристика основных показателей качества приводится ниже (определение удельного веса см. в разд. А, гл.I).

З о л ь н о с т ь. При полном сгорании горючих веществ, содержащиеся в угле минеральные примеси образуют золу в виде порошка или кусков шлака.

По источникам образования и составу различают следующие виды золы:

1) внутреннюю, состоящую из минеральных примесей, накопившихся в угле в процессе его формирования,

2) внешнюю, образующуюся при добыче угля из обломков пород кровли, почвы и прослоев.

Внутренняя зола подразделяется на первичную (конституционную сингенетическую) и вторичную (эпигенетическую).

Конституционная зола состоит из неорганических примесей, содержавшихся ранее в клетках растений, в её состав входят щелочные и щелочно- земельные элементы.

Сингенетическая зола образована минеральными частицами (зерна кварца, глинистые частицы и др.), принесенными водой или ветром во время формирования торфяника.

Эпигенетическая зола - образуется за счет отложения минеральных веществ (карбонатов, сернистых соединений и др.) при инфильтрации растворов по трещинам и порам в угле.

Содержание первичной золы в углях составляет 0,5-I,5%, редко достигая 2-3%. Вторичная зола может иметь значительные колебания в содержании.

Первичная и вторичная зола при обогащении практически не удаляются. Минеральные примеси, образующие внешнюю золу, могут быть частично или полностью удалены при обогащении угля.

Верхний предел допустимого содержания золы в угле (в пересчете на сухое вещество) принимается равным 55% /I26/.

Фактическое содержание и состав золы не соответствуют количеству и составу минеральных примесей, содержащихся в угле, что объясняется химическими изменениями, происходящими при высоких температурах в процессе сжигания топлива.

Вес золы меньше веса минеральных примесей в среднем на 8% /I30/. В золе углей обычно содержатся следующие окислы: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 (или FeO), CaO, MgO, SO_3 (сера в пересчете на окислы).

Состав золы устанавливается прежде всего по ее плавкости, которая ориентировочно определяется по соотношению тугоплавких компонентов (Al_2O_3 и SiO_2) и легкоплавких (Fe_2O_3, CaO и MgO).

Зольность является одним из основных показателей общей промышленной ценности углей. Она учитывается в промышленных классификациях и как показатель кондиций по качеству при подсчете запасов.

Кондиции по зольности для балансовых запасов изменяются в пределах 20-55% (см.приложение 4).

Зольность определяется в соответствии с ГОСТ 11022-64. При сжигании углей повышенная зольность снижает теплоту сгорания. Являясь баластом топлива она удорожает стоимость перевозок.

Состав и плавкость золы отражаются на технологии процесса сжигания топлива. Легкоплавкая зола образует в топке жидкие шлаки, затрудняющие этот процесс. Температура плавления золы углей колеблется в пределах 1000-1600°. Определение ее производится в соответствии с ГОСТ 2057-60.

В л а ж н о с т ь. Содержание общей влаги в углях зависит от условий залегания угольного пласта, от природы и степени метаморфизма угля, от степени его выветрелости и окисления; оно изменяется в широких пределах - от 3,6% для тощих и антрацита, до 50-60% - для бурых углей.

Повышенная влажность углей снижает теплоту сгорания рабочего топлива, нарушает технологию обогащения, препятствует разделению углей по крупности, ускоряет процесс их выветривания при хранении на поверхности. В зимнее время угли с содержанием внешней влаги более 7% смерзаются, что осложняет их транспортировку /119/.

Влага рабочего топлива (W^p) является основным классификационным показателем для промышленной группировки бурых углей.

Допустимые содержания рабочей влаги в бурых углях устанавливаются соответствующими ГОСТ.

Для пересчетов показателей качества угля на сухое топливо учитывается влага аналитическая (W^a) и влага рабочего топлива (W^p).

Содержание влаги определяется по ГОСТ 11014-64 путем высушивания навески пробы в сушильном шкафу при температуре 105-110° и учета потери ее веса.

Влага рабочая устанавливается в лабораторных пробах топлива. Содержание W^p в процентах вычисляется по формуле:

$$W^p = W_n + W^л \frac{(100-W_n)}{100} \quad ,\% \ ,$$

где W_n - потери влаги (в процентах) при пересылке пробы в лабораторию;

$W^л$ - влага, определенная по лабораторной пробе.

Влага аналитическая (W^a) определяется в аналитических пробах, приготовленных по ГОСТ 9080-59 из лабораторных проб подсушенных при температуре 50 $\pm$ 5^0 до состояния приближающегося к влажности воздушно-сухой пробы.

Вычисление содержания влаги аналитической (W^a) и лабораторной ($W^л$) производится по формуле:

$$W = \frac{G_1}{G} \cdot 100 \quad ,\% \ ,$$

где G - навеска топлива в г;

G_1 - убыль в весе при высушивании топлива в г.

Теплота сгорания углей является важным показателем их теплотехнических свойств; она зависит от их генетического типа и степени метаморфизма и связана с влажностью и зольностью.

Определение теплоты сгорания производится по ГОСТ 147-64 путем сжигания навески угля в калориметрической бомбе в кислородной среде под давлением 25-30 кг/см, количество выделяемого тепла выражается в калориях.

Теплота сгорания при сжигании угля в обычных условиях в топках печей энергетических установок ниже теплоты, получаемой по аналитической пробе в бомбе, что объясняется различиями в технологии сжигания.

Полученная величина теплоты сгорания по аналитической пробе является исходной для вычисления теплоты сгорания: высшей по ана-

литической пробе ($Q_в^a$), высшей ($Q_в^p$) и низшей ($Q_н^p$) для рабочего топлива.

Низшая теплота сгорания рабочего топлива, характеризующая количество тепла, которое может быть получено при сжигании угля в топках, изменяется в пределах 1900-7500 ккал/кг.

Существенное значение имеет теплота сгорания по бомбе, рассчитанная на условную горючую массу ($Q_б^г$); она является показателем степени метаморфизма углей (до марки Г включительно) и используется для контроля элементарных анализов.

С и т о в о й с о с т а в. Сжигание углей при энергетическом использовании производится преимущественно в кусковом виде. Рядовой уголь, предназначенный для кускового сжигания, предварительно сортируется по крупности.

По ГОСТ 5634-51 и ГОСТ 5287-50 предусмотрена рассортировка энергетических углей на семь основных классов по крупности (табл.17).

В качестве энергетического топлива могут использоваться угли всех марок, однако сжигание углей марок Ж, К, ОС, СС в топках энергетических установок не рационально, так как они являются ценным сырьем для коксохимической промышленности.

Эффективность использования углей с различными качественными показателями определяется конструкцией топочных устройств.

2. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА УГЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Технологическое использование предусматривает различные виды переработки угля: коксование, полукоксование, получение искусственного газа, деструктивную гидрогенизацию, экстрагирование битумов и пр.

Пригодность углей для технологической переработки опреде-

Таблица I7

Наименование класса	Размер кусков, мм	Обозначение класса		Наименование класса	Размер кусков, мм	Обозначение класса	
		каменный уголь	антрацит			каменный уголь	антрацит
Плитный	более I00	-	АП	Семечко	6-I3	С	АС
Крупный	50 -I00	К	АК	Штыб	0-6	Ш	АШ
Орех	25 - 50	О	АО	Рядовой	менее I00	Р	АРШ
Мелкий	I3 - 25	М	Ам	-	-	-	-

ляется основными показателями их качества: спекаемостью и коксуемостью, выходом летучих веществ, выходом смол, сернистостью.

Для специальных видов использования устанавливается: выход битумов и других продуктов полукоксования, содержание фосфора, содержание редких и рассеянных элементов в золе и др.

Коксование является одним из основных видов промышленного использования угля, для получения специального металлургического топлива - кокса.

Жидкие и газообразные продукты коксования: деготь (смола), аммиачная вода и газ находят применение в качестве химического сырья.

Сущность процесса коксования заключается в высокотемпературной сухой перегонке угля в камерных коксовальных печах без доступа воздуха. В начальной стадии этого процесса испаряется влага. При температуре от 350 до 450^0 вещество угля приобретает пластическое состояние, часть органической массы разлагаясь, переходит в газообразные и жидкие продукты. Выделение газов вызывает вспучивание угольной массы, которая при нагревании от 470 до 550^0 затвердевает превращаясь в полукокс.

В температурном интервале 600-800^0 образуется кокс (твердый пористый остаток). Процесс коксования заканчивается при 750-1100^0.

В горючей массе кокса содержится 97-98% углерода и 0,8-1,0% водорода. Теплота сгорания достигает 8000 ккал/кг.

Доменный кокс может содержать не более 10% золы и 2,5-3,5% серы /126/. Содержание золы в литейном коксе допускается не более 9%, серы - не выше 1,2-1,3%, фосфора - менее 1%. Содержание фосфора не лимитируется при плавке высокофосфористых руд.

Важное значение имеет механическая прочность кокса и ситовой состав. Истираемость определяется в барабане Сунгрена дроби-

мость–по остатку на сите.Величина остатка на барабане для домен ного кокса должна быть не менее 280 кг, для литейного кокса допускается меньшая прочность.

Основными показателями качества углей, определяющими их пригодность для коксования, являются пластометрические свойства: спекаемость, коксуемость и выход летучих веществ. Понятия о спекающих свойствах и коксуемости тесно связаны между собой.

С п е к а е м о с т ь – это способность угля при быстром нагревании без доступа воздуха до определенной температуры (350-450^0) переходить в пластическое состояние, а при температуре выше 700^0 – превращаться в связанный плотный нелетучий остаток (сплавленный кокс). В процессе спекания угля выделяются жидкие и газообразные продукты.

К о к с у е м о с т ь – свойство углей при высокотемпературной (750-1100^0) сухой перегонке давать твердый сплавленный пористый кокс, характеризующийся определенным составом, прочностью и др.свойствами (см.выше).

В Международной системе классификации каменных углей /121/ спекаемость и коксуемость рассматриваются как два самостоятельных показателя, определяемых разными методами: первый по вспучиванию в тигле, либо методом Рога, второй – методом Одибер-Арну или Грей-Кинга. По спекаемости угли подразделяются на группы, а по коксуемости на подгруппы.

Приближенное суждение о спекаемости угля можно получить по внешним физическим признакам нелетучего твердого остатка при определении выхода летучих веществ по ГОСТ 6382-52.

Для определения спекающих свойств углей существует ряд методов, среди которых наиболее распространен в Советском Союзе пластометрический метод по ГОСТ 1186-62.

Этот метод позволяет одновременно определять спекающие и коксующие свойства углей, характеризуемые двумя пластометрическими показателями: толщиной пластического слоя У (мм) и величиной усадки Х (уменьшением объёма угля при превращении его в кокс)

Для определения пластометрических показателей применяется аппарат, разработанный Институтом горючих ископаемых.

В пластометрическом аппарате происходит коксование угля в условиях близких к заводским. Изменение величины усадки записывается автоматически регистрирующим прибором в виде кривой на графике пластометрических показателей (рис.66).

Перемещение верхней и нижней границ пластометрического слоя систематически измеряется и вычерчивается на графике. Величина У характеризует спекаемость, а характер пластометрической кривой и величина Х - коксуемость.

Для каменных углей с пониженным пластическим слоем (менее 6 мм) спекаемость устанавливается по пробе угля в смеси с отощающей добавкой при нагревании до 350^0 и последующем испытании прочности полученного нелетучего остатка в специальном барабане (ГОСТ 9318-59).

Выход летучих веществ. Летучие вещества - это жидкие и газообразные продукты, которые выделяются при нагревании угля без доступа воздуха (в процессах коксования и полукоксования). В состав летучих веществ входят: влага, газы, заключенные в порах и полостях в угле, летучие продукты разложения органической массы и минеральных веществ.

Остающийся после возгонки летучих веществ нелетучий твердый остаток включает беззольный кокс и золу.

Выход летучих веществ зависит от генезиса угля, метаморфизма и окисленности его и от содержания и состава минеральных примесей.

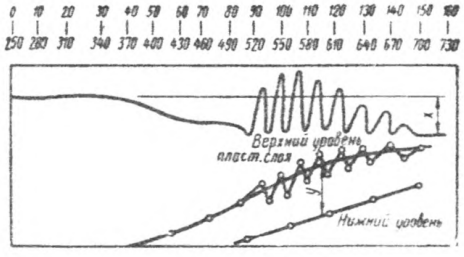


Рис.66 График пластометрических показателей

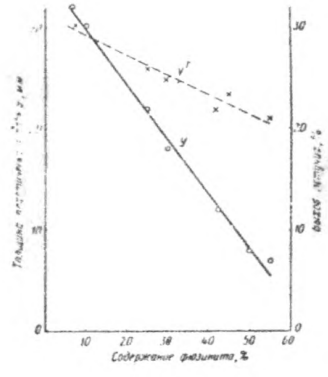


Рис.67 Зависимость выхода летучих веществ (V^r) и толщины пластического слоя (У) от содержания компонентов группы фюзинита для углей марки Ж (по И.И.Аммосову).

Максимальный выход летучих дают сапропелевые угли (от 70 до 93,9%); гумусовые угли характеризуются более низким выходом.

В бурых углях выход летучих на горючую массу составляет 45–60%, в каменных углях – от 10 до 50%, в антрацитах – не более 8%.

Угли, обогащенные компонентами группы лейптинита, характеризуются повышенным выходом летучих. В углях одной стадии метаморфизма с увеличением содержания компонентов группы фюзинита выход летучих закономерно снижается (рис. 67).

Выход летучих веществ определяется путем нагревания навески угля в закрытом фарфоровом тигле при температуре 850 $\pm$ 25^0 (ГОСТ 6382-65).

В связи с тем, что выход летучих в угле может значительно колебаться в зависимости от зольности и содержания влаги, для получения сравнимых результатов анализа принято пересчитывать данные на условную горючую массу.

Для углей с выходом летучих менее 9% на горючую массу можно пользоваться методом определения объёмного выхода летучих (ГОСТ 7303-54).

В процессах коксования используют неокисленные каменные угли, способные спекаться и давать самостоятельно или в смеси с другими углями прочный пористый кокс, отвечающий требованиям промышленности по химическому составу, механической прочности, кусковатости.

Для самостоятельного коксования пригодны угли с выходом летучих веществ от 18 до 26 %.

Толщина пластического слоя (У) в углях, используемых для коксования, по разным бассейнам и месторождениям Советского Союза изменяется от 8 до 25 мм.

Важное значение имеют зольность и сернистость углей. Угли

с зольностью не более 7 - II% и содержанием серы менее 3% могут направляться непосредственно на коксование. При более высоких показателях производится их обогащение.

Отрицательно сказывается на технологии процесса коксования повышенная влажность углей (за норму принимается 3-6% влаги).

При получении доменного кокса вредной примесью в угле является фосфор, содержание его не должно превышать сотых долей процента (в процессах получения специальных сортов кокса - не более 0,012%).

При существующей в Советском Союзе технологии коксования лишь немногие угли даже марки К могут использоваться самостоятельно. Обычно составляется шихта из углей разных марок от газовых спекающихся до тощих. Кокс высокого качества получается при рациональном подборе шихты из углей марок Ж, К, ОС. Учитывая ограниченные запасы этих углей, прибегают к использованию (до 25%) в шихте углей марки Г и частично марок Д, СС и Т.

Для расширения ресурсов коксующихся углей (за счёт использования углей марок Д и Г) большое значение могут иметь результаты разработки новых методов коксования /I43, I62, I63/.

Полукоксование. Полукоксованием называется процесс низкотемпературной перегонки угля без доступа воздуха. Этот процесс основан на свойстве угля при температуре 500-550^0 разлагаться с выделением летучих веществ и образованием твердого остатка - полукокса. Часть летучих веществ при этом конденсируется в смолу (деготь) и подсмольную или надсмольную воду.

Выделяющийся при полукоксовании газ состоит на 55-70% из метана и на I0-20% из водорода; теплота сгорания его 6500-8000 ккал/м^3 для каменных углей и 3500-4500 ккал/м^3 - для бурых.

 Полукоксование применяется для получения смолы с целью пе-

реработки ее в жидкое топливо и на химические продукты.

Остаток от разгонки смол (пек) употребляется в качестве связующего вещества при брикетировании.

Полукокс используется как бездымное топливо, а также в качестве отощающей добавки в коксовой шихте.

Для сухой перегонки пригодны каменные угли (преимущественно марки Д с выходом смолы не менее 10-12%), бурые угли и сапропелиты. От сухого каменного угля марки Д образуется 70-75% полукокса, 8-10% смолы, 10-12% газа и 5-6% пирогенетической воды.

Газификация - процесс, при котором органическая часть угля под влиянием высоких температур и воздействия вдуваемого в газогенератор воздуха и других газов превращается в горючие газы.

Основным техническим показателем является неспекаемость или слабая спекаемость (толщина пластического слоя допускается более 10-12 мм).

Производство жидкого топлива. Основным методом получения из углей (марки Д,Г) различных видов жидкого топлива, смазочных масел и веществдля органического синтеза является деструктивная гидрогенизация. Этим методом получается до 70% жидких горючих (от горючей массы угля).

Сущность процесса гидрогенизации заключается в воздействии на уголь водорода при температуре 380-550^0 и давления от 200 до 700 атм в присутствии катализаторов.

Допустимые пределы по содержанию углерода в угле 68-85%, водорода - не менее 4,5%. Содержание фюзена, понижающего выход жидких продуктов, не должно превышать 5-6%.

Обработка углей химическими реагентами. При воздействии на органическое вещество угля органических растворителей и щелочей могут быть выделены битумы и гуминовые кислоты.

Переработка углей на битумы считается целесообразной при содержании битумов не менее 10% (в пересчете на сухое вещество) и при влажности до 15%.

3. ПРОЧИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ

Помимо описанных выше направлений использования угли могут применяться при производстве литейного и электродного термоантрацита, карбида кремния и карбида кальция.

Промышленное применение находят также отходы коксования, обогащения (отсев, пыль, шлам) и зола углей. Зола может применяться в качестве сырья в шлакобетонном или цементном производстве и для других целей.

Попутно с основным направлением использования углей может производиться извлечение содержащихся в них редких и рассеянных элементов: Li , B , Co , Ni , Zn , Ga , Ge , As , Zr , Mo , Pb и др. Эти элементы присутствуют в углях обычно в небольших количествах (от 0,1 до 0,001%), но содержание их резко возрастает при сжигании топлива, что позволяет попутно извлекать некоторые элементы из золы углей.

Наиболее значительные содержания в золе отмечаются /122/ для следующих элементов (см.табл.18).

Таблица 18

Элемент	Содержание в золе углей, %	
	среднее	максимальное
Ge	0,05	1,1
B	0,06	0,3
W	0,01	0,03
Zn	0,02	1,0
As	0,05	0,8
Ni	0,07	0,8
Zr	-	0,5
Pb	0,01	0.1

Помимо приведенных в таблице элементов в золе некоторых углей содержится до 0,01-0,3% окислов урана (U_3O_8).

Повышенный интерес со стороны промышленности проявляется к германию.

Накопление германия в углях объясняется осаждением его из циркулирующих вод в торфяную стадию углеобразования. Наблюдается связь этого элемента с тонкополосчатыми углями /144/. Характерно присутствие его в бурых и слабо-метаморфизованных каменных углях. Чаще всего повышенные концентрации германия приурочены к почве или кровле пласта и отдельных его пачек.

Содержание редких элементов в золе может определяться спектральным анализом. Вес проб золы, предназначенных для этого анализа должен составлять 5-10 г (при измельчении до 0,1мм).

Германий рекомендуется определять по ГОСТ 10175-62 в аналитических пробах. Озоление проб производится с постоянной подачей воздуха при температуре от 550^0 до 600 ± 25^0.

§ 2. ОБОГАЩЕНИЕ И БРИКЕТИРОВАНИЕ УГЛЕЙ

Обогащение и брикетирование являются операциями, способствующими улучшению качества угля.

О б о г а щ е н и е угля - это процесс удаления из него минеральных примесей и получения более богатого угольным веществом концентрата. При обогащении снижается в основном зольность и сернистость углей.

Обогащение способствует повышению спекаемости углей и уменьшению трещиноватости кокса.

Эффективность обогащения зависит от характера распределения в угольном пласте минеральных веществ и от физико-химических свойств органических и неорганических компонентов. Угли с большой внутренней зольностью трудно обогатимы.

На обогащение направляются угли с зольностью более 11,5% (в рядовых углях, предназначенных для коксования допускаются колебания от 12,5 до 26,5%) /119/.

В процессе обогащения углей при среднем выходе угольных концентратов на углеобогатительных фабриках до 65,5%, зольность снижается почти вдвое (до 10,4% при исходной величине 19,9%).

Из сернистых углей при механическом обогащении поддается удалению только колчеданная сера. На обогатительных фабриках удаляется до 15-20% серы, содержащейся в рядовом угле /119,126/.

Обогатимость углей изучается по данным ситового и фракционного анализа. Ситовой анализ производится в соответствии с ГОСТ 2093-59 путем разделения пробы на классы по крупности.

Фракционный анализ (по ГОСТ 4790-58) основан на расслоении в тяжелых жидкостях проб, разделенных на классы. В каждой фракции определяется зольность и содержание золы.

В зависимости от выхода средних фракций плотностью 1,4-1,8 г/см^3 исследуемый уголь относят к следующим категориям обогатимости (табл.19).

Таблица 19

Категория обогатимости	Выход фракций 1,4-1,8 к беспородной массе исследуемого угля, %	Категория обогатимости	Выход фракций 1,4-1,8 к беспородной массе исследуемого угля, %
I легкая	менее 4	III трудная	10 - 17
II средняя	4 - 10	IV очень трудная	более 17

Для прогноза степени обогатимости углей применяется петрографический метод /11,12/.

Брикетирование применяется для получения крупно-кускового топлива (брикетов) из рыхлых бурых углей и угольной мелочи, остающейся после технической обработки каменных углей и антрацита. Оно основано на свойстве перечисленных углей уплотняться и слипаться под давлением при нормальной температуре без добавления или с добавкой связующих веществ.

Среди бурых углей некоторые разности брикетируются самостоятельно.

Принятый в настоящее время в промышленности немецкий способ брикетирования предусматривает ограниченную влажность углей (не более 12-16%). Уголь с допустимой влажностью прессуется под давлением от 1000 до 2000 кг/см^2.

§ 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ

Промышленная классификация предусматривает разделение углей на классы, марки и группы по химическим и технологическим свойствам и направлению их использования.

В 1957 г. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов введена классификация применительно к отдельным угольным бассейнам и месторождениям (утверждено и действует более 14 ГОСТов, составленных для каменных и бурых углей). В ее основу положена различная степень метаморфизма углей, определяющая их качественные показатели.

Бурые угли делятся на три технологические группы: $Б_1$, $Б_2$, $Б_3$ в зависимости от содержания рабочей влаги ($Б_1$ - более 40%, $Б_2$ - от 40 до 30%, $Б_3$ - 30% и менее) и выхода смолы (угли Украины).

Классификация для каменных углей построена с учетом выхода летучих веществ и спекаемости. Эти два параметра не всегда удовлетворительно идентифицируют угли, потому что они зависят не только от стадии метаморфизма, но также от петрографического состава,

степени восстановленности и зольности. Так, например, для Донбасса, Кузбасса, Сучана отмечается одинаковый выход летучих веществ (I8%) в углях марок К, ОС и Т /I2/.

Каменные угли делятся на 9 (основных) технологических марок: длиннопламенные (Д), газовые (Г), газовые жирные (ГЖ), жирные (Ж) коксовые жирные (КЖ), коксовые (К), коксовые вторые ($К_2$), отощенные спекающиеся (ОС) и тощие (Т).

Для антрацитов классификационными показателями являются: теплота сгорания и объёмный выход летучих (ГОСТ 7303-54). Они делятся на две промышленные марки - полуантрацит (ПА) и антрацит (А).

Определение марок и групп углей производится на обогащенных неокисленных углях при $А^С$ менее I5%.

Промышленная классификация основных угольных бассейнов Советского Союза приводится в приложении 5.

В настоящее время закончена работа комиссии Института горючих ископаемых АН СССР по подготовке ГОСТ на новую классификацию углей СССР, где за основные параметры предлагается принять выход летучих и спекаемость, а в качестве дополнительного параметра - петрографический состав /I2/.

За последнее двадцатилетие ряд исследователей /59/ занимался разработкой генетических классификаций гумусовых углей с учетом их промышленного применения. Наиболее современной является классификация И.И.Аммосова, Б.Г.Бабашкина, Н.П.Гречишникова и др./I2/, составленная "по принципу количественного выражения генетических особенностей химико-технологических параметров". Классификация составлена в кодовой системе. В этой классификации одним из основных показателей, характеризующим класс угля по степени метаморфизма является отражательная способность.

Международная классификация каменных углей /121/ разработана в 1956 г. Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций, в связи с возникающими значительными затруднениями при импортно-экспортных операциях. В этой классификации используются следующие параметры: выход летучих веществ на горючую массу (V^r), высшая теплота сгорания (Q_s^c) (для углей с выходом летучих более 33%), спекаемость.

По выходу летучих и теплоте сгорания выделяется 10 классов, которые, в свою очередь, подразделяются на четыре группы по спекаемости и пять подгрупп по коксуемости.

Тип угля обозначается номером по коду, состоящим из трех цифр, из которых первая означает номер класса, вторая – номер группы, третья – номер подгруппы.

Проводившаяся в Советском Союзе проверка применимости методов оценки углей, рекомендованных в Международной классификации, показала недостаточно четкие разграничения углей по их свойствам.

§ 4. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО УГЛЕЙ

Природные типы углей характеризуются большим разнообразием физико-химических и технологических свойств, определяющих их качество. Это разнообразие обусловлено различиями петрографического состава углей, степенью их восстановленности, стадией метаморфизма, а также состоянием выветривания. Наиболее существенное влияние на качество углей оказывает метаморфизм.

I. ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА УГЛЕЙ ОТ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО СОСТАВА

Основные свойства углей и их качество в значительной мере зависят от состава, свойств и количественного соотношения микрокомпонентов.

По новой петрографической классификации для технологических

целей (ГОСТ 9414-60) выделяется пять групп органических микрокомпонентов (см.стр. 19).

В зависимости от соотношения этих групп при прочих равных условиях изменяется важное свойство углей- спекаемость.

Способностью размягчаться и плавиться при высоких температурах обладают только компоненты группы витринита (витрен, прозрачная основная масса и др.) и лейптинита.

Опытные исследования /143/, проведенные с целью выявления коксующих свойств слабо метаморфизованных углей показали, что некоторые длиннопламенные угли, обогащенные гелифицированной основной массой, обладают способностью спекаться в определенных технологических условиях (за счет увеличения времени процесса коксования или повышения температуры нагрева угольной массы).

Компоненты группы семивитринита при термическом воздействии проявляют некоторую способность к спеканию, не переходя в пластическое состояние, а компоненты группы фюзинита (непрозрачная основная масса, фюзен, ксиленофюзен и др.) не способны даже размягчаться.

Обычно содержание в угле компонентов группы фюзинита составляет 3-5%, редко достигая 15-30%. Обогащение фюзинитом резко снижает спекаемость углей.

Витринит и фюзинит в угле одной стадии метаморфизма различаются по элементарному составу, витринит богат водородом, фюзинит - углеродом (может содержать более 90%).

Компоненты группы витринита содержат большое количество летучих веществ (от 15 до 40%). Содержание их в группе фюзинита не превышает 18%. Эта группа характеризуется также пониженным выходом газа и смол.

Угли с большим содержанием компонентов группы фюзинита (особенно микринита), бедные летучими веществами и водородом, не под-

даются гидрогенизации, а пониженный выход смол не позволяет использовать их для полукоксования.

Обогащение углей компонентами группы лейптинита (кутинитом, споринитом) с выходом летучих веществ более 25% (до 80%) и высоким содержанием водорода (до 9%) указывает на возможность применения их в качестве сырья для получения жидкого топлива.

Микрокомпоненты группы альгинита характеризуются высоким выходом летучих веществ и битумов и большим содержанием водорода. Угли с преобладанием компонентов этой группы могут подвергаться химической и технологической переработке.

Имеет значение для характеристики качества угля различие в зольности микрокомпонентов. Витринит обладает наименьшей зольностью от 0,4 до 1,5 редко 2%. Зольность фюзинита колеблется от 1 до 15%.

Витринит и фюзинит отличаются по удельному весу и микротвердости. Наименьшим удельным весом (1,3-1,4) и микротвердостью обладает витринит. Удельный вес фюзинита 1,4-1,6.

Величина микротвердости компонентов группы витринита и фюзинита (на примере Кузбасса /11/) изменяется, соответственно, в пределах: 17-127 кг/мм^2 и 20-230 кг/мм^2.

Компоненты группы лейптинита характеризуются небольшой микротвердостью от 12 до 24 кг/мм^2.

Компоненты группы фюзинита (главным образом микринит), преобладающие в составе полуматовых литотипов углей, придают им значительную механическую прочность. При измельчении угли, обогащенные компонентами группы фюзинита, попадают в крупные классы /11/. Собственно фюзинит отличается большой хрупкостью.

2. ЗАВИСИМОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЕЙ ОТ СТАДИЙ МЕТАМОРФИЗМА

В процессе метаморфизма изменяются физические свойства углей: цвет, блеск, твердость, хрупкость, удельный вес (разд.А, гл.I).

Происходят изменения химического состава и показателей качества углей. При переходе от бурых углей к каменным исчезают свободные гуминовые кислоты. С повышением степени метаморфизма: возрастает содержание углерода и уменьшается содержание водорода и кислорода; понижается выход летучих веществ и битумов (содержание битумов в землистых бурых углях более I0%, в блестящих бурых и каменных углях 2-3%, в антрацитах - уменьшается до следов); увеличивается теплота сгорания (у антрацитов она вновь несколько снижается); резко изменяются спекающие свойства.

В начальной стадии процесса углефикации заметно уменьшается влажность.

Разделение углей на бурые и каменные производится по высшей теплоте сгорания угля, рассчитанной на влажную беззольную массу, и по выходу щелочного экстракта. К каменным относят угли с теплотой сгорания 5700 ккал/кг и выше, с выходом щелочного экстракта в пересчете на гуминовые кислоты менее 3%. Для антрацитов характерно полное отсутствие гуминовых кислот и низкий выход летучих веществ (ниже 9%).

Элементарный состав и основные показатели качества углей в бассейнах и месторождениях Советского Союза в зависимости от степени метаморфизма (по марочному составу) приводятся в приложении 6 /I2,82/.

Различия в степени метаморфизма углей отчетливо выявляются при микроскопическом изучении. В зависимости от характера изменения окраски микрокомпонентов, прозрачности, величины отражательной способности, показателя преломления и пр.может быть установлена технологическая группа угля.

Отражательная способность ($I_0 R$, %) является наиболее надёжным показателем стадии метаморфизма углей; она определяется по витриниту /II, I2, I46/.

Отражательная способность углей закономерно возрастает от 50-70% для стадии бурых, до 70-II5% у каменных и II6-I80% у антрацитов (измерения при длине волны света 558 ммк).

Микротвердость углей также может определяться по витриниту, у которого она изменяется с увеличением стадии углефикации в следующих пределах: в бурых угля от 6 до I6,6 кг/мм^2, в каменных - от I4,2 до 34,8 кг/мм^2, в антрацитах - от 43 до I40 кг/мм^2 /I84/.

Показатель преломления для гумусовых углей изменяется в зависимости от степени метаморфизма в пределах I,66-2,04 (по витриниту).

Растворы (в органических жидкостях) битумов углей разных марок отличаются цветами люминесценции при освещении их ультрафиолетовыми лучами.

Различия в технологических свойствах углей связаны с изменениями, происходящими в петрографических компонентах под влиянием метаморфизма.

На ранних стадиях метаморфизма в компонентах группы витринита происходит более быстрое снижение выхода летучих веществ, чем в компонентах группы фюзинита. С повышением стадии метаморфизма эта разница стирается.

Содержание углерода и водорода изменяется для витрена по кривой линии (максимум отвечает углям средней стадии метаморфизма) для фюзена - по прямой.

Компоненты группы витринита и лейптинита на ранних и поздних стадиях метаморфизма (марки Б,Т,А) не обладают ни плавкостью, ни спекаемостью. На стадии длиннопламенных углей спекаемость проявляется слабо (У = 0 - 8 мм). На средней стадии метаморфизма она достигает максимума (у марки Ж более 25 мм) и затем вновь снижается (в ОС до 0-6 мм).

Для компонентов группы фюзинита на всех стадиях метаморфизма спекающие свойства отсутствуют.

Установлена /IO/ возможность определения (в т.ч. по пробам из зоны окисления) коксуемости углей на основе микроскопического изучения петрографического состава и степени метаморфизма.

Петрографический состав и стадия метаморфизма углей не всегда могут с достаточной полнотой характеризовать их химико-технологические свойства.

Многими исследователями (В.В.Видавским, И.И.Аммосовым, А.И. Боголюбовой и др.) выделяются два типа углей: восстановленные и менее восстановленные, которые при одинаковом петрографическом составе и равной степени метаморфизма отличаются по ряду свойств.

Различия в свойствах углей объясняются неодинаковым химическим характером среды превращения исходного материала в торфяную стадию углеобразования: большим или меньшим участием кислорода и разным влиянием минеральных веществ /II/.

Угли, относимые к восстановленным, характеризуются наименьшим содержанием кислорода, более высокими показателями спекаемости, теплоты сгорания и плавкости.

Единого взгляда на существование в природе и происхождение

двух указанных типов углей нет. Некоторыми исследователями (К.М.Иносова, Тан-Сю-н) установлена неоднородность в петрографическом составе восстановленных и невосстановленных углей.

Точного определения явления восстановленности углей и прямых методов определения степени восстановленности не существует.

Косвенными количественными показателями, позволяющими отличать более восстановленные угли от менее восстановленных, являются их микротвердость и микрохрупкость.

3. ВЛИЯНИЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ НА КАЧЕСТВО УГЛЕЙ

Выветривание приводит к медленному окислению угля при обычной температуре и резкому ухудшению его качества.

Процесс выветривания происходит как в естественном залегании - в пласте, так и в добытом угле. Наиболее подвержены выветриванию гумусовые угли с преобладанием компонентов группы витринита.

Фюзинит почти не окисляется, но благодаря пористости, способен поглощать из воздуха большое количество кислорода, что может привести к нагреванию и самовозгоранию углей.

Степень выветривания уменьшается от бурых углей к антрацитам. В зоне выветривания целесообразно выделять зону окисления, в которой наблюдается интенсивное изменение технологических свойств углей и резкое ухудшение их качества.

Для разных угольных бассейнов и месторождений граница зоны окисления, ниже которой сохраняется постоянство химического состава устанавливается на глубине от нескольких метров до десятков, иногда сотен метров. Например, в Донбассе и Кузбассе эта граница проходит на глубине 20-50 м, в Ухтемском бассейне -100м, в Печорском бассейне она практически отсутствует.

При окислении каменные угли приобретают некоторые свойства

бурых углей; в них появляются гуминовые кислоты (в зоне 7-II м от поверхности).

По составу гуминовые кислоты окисленных каменных углей отличаются от гуминовых кислот неокисленных бурых углей низким содержанием водорода (менее 4%) и высоким соотношением $\frac{C}{H}$, превышающим I5.

В процессе окисления изменяется элементарный состав углей: значительно снижается содержание углерода и водорода, и увеличивается содержание кислорода. Происходят изменения в физических свойствах: уголь становится рыхлым, снижается его крепость и твердость. Удельный вес угля, как правило, увеличивается /4/.

В углях средней и высокой степени метаморфизма повышается выход летучих веществ с большим содержанием CO_2 и CO. Спекающиеся каменные угли теряют способность при нагревании переходить в пластическое состояние и становятся непригодными для коксования/75/. Уменьшается теплота сгорания, повышается влажность и, как правило, увеличивается зольность углей за счет разрушения органической части.

Интенсивные процессы выветривания наблюдаются в добытых углях при хранении на поверхности. Длительное хранение углей на открытых складах приводит к резкому ухудшению их качества и увеличению механических потерь. Теплота сгорания угля после одного месяца хранения уменьшается в среднем на 0,I%.

Особенно подвержены выветриванию бурые угли, которые при потере влаги часто превращаются в пыль.

Допустимые сроки хранения углей на складах в разных месторождениях могут изменяться в пределах от 6 до 24 месяцев в зависимости от марочного состава / II9/.

Сильно выветрелые угли, непригодные даже для энергетического использования, могут применяться в качестве удобрений при содержании гуминовых кислот выше 35%.

ГЛАВА 6

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

§ I. УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБВОДНЁННОСТЬ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК

Степень обводнённости горных выработок находится в прямой зависимости от природных условий: климата, рельефа местности, наличия многолетней мерзлоты, обнажённости коренных пород, просачивания воды из поверхностных водотоков (водоёмов) и тектоники шахтного поля.

Горно-гидрогеологические условия в первую очередь определяются следующими факторами (табл.20) /I82/.

Таблица 20

Горно-гидрогеологические показатели	Подтипы обводнённости шахтных полей			
	весьма обводнённые	обводнённые	умеренно обводнённые	слабо обводнённые и практически необводнённые
Коэффициент водообильности (приток воды, $м^3$ на 1т добытого за тот же срок-сутки, месяц, год - угля).....	свыше 25	25-8	8-3	менее 3
Суммарные притоки к шахтному полю, $м^3$/час	свыше I000	I000-300	300-I00	менее I00
Коэффициент фильтрации основного обводняющего горизонта, м/сутки.....	свыше I00	I00-5	5-0,05	менее 0,05
Удельные притоки, л/час, на $1м^2$ обнажённой поверхности горных выработок в период эксплуатации	свыше 4	4-0,4	0,4-0,05	менее 0,05

Устойчивость горных выработок зависит от обводнённости и от развития в них инженерно-геологических явлений: плывунов, пучения, текучести.

Опасность прорыва воды в горные выработки обусловливается мощностью водоносного горизонта, величиной напора воды, составом, свойствами и мощностью пород, слагающих защитный водоупорный слой. Плотные и вязкие породы лучше предохраняют выработку, чем песчаные разности. Слоистые и трещиноватые породы, обрушающиеся в выработки в виде глыб, пропускают воду при значительной мощности (5-6метров) и создают условия для возникновения прорывов. Часто к прорывам приводят размывы в угольном пласте или вмещающих его водоупорных породах, заполненные оводнённым песком. Зоны крупных тектонических нарушений также могут явиться путями значительных прорывов воды. При этом водопритоки оказываются устойчивыми, если тектоническое нарушение выходит на поверхность под русло реки. Несвоевременная постановка крепи, увеличенное против паспорта расстояние между крепёжными рамами, неудовлетворительная затяжка кровли, несоответствующий давлению вид крепи - всё это приводит к прогибам, образованию трещин и обрушению кровли. Незакреплённый свод с течением времени распространяется вверх, нарушает водоупор вышележащего водоносного горизонта, и вода прорывается в выработку.

Развитие в горных выработках инженерно-геологических явлений (плывунов, пучения, текучести) осложняет эксплуатацию месторождения: часто выводит из строя оборудование и крепь, уменьшает добычу, увеличивает сроки проведения подготовительных и очистных выработок и себестоимость угля.

П л ы в у н ы возникают главным образом в мелкозернистых и тонкозернистых песках, которые, будучи в водонасыщенном состоянии, обладают способностью оплывать. Различаются две группы

плывунов: I) слабо осушаемые и не осушаемые (плохо отдают воду из-за наличия в них глинистых и пылеватых частиц); 2) осушаемые (которые при снятии гидростатического напора отдают воду и превращаются в устойчивые породы).

Явления плывунов наблюдаются в Подмосковном бассейне, на украинских буроугольных месторождениях, в Шурабском месторождении (Средняя Азия), в некоторых районах Кузбасса. Прорыв плывунов в горные выработки заключается в поступлении большого количества песка и воды и может продолжаться в течение нескольких минут, часов, а иногда и суток (рис.68).

В горных выработках глинистые породы при увлажнении переходят в пластичное (иногда текучее) состояние; позднее в них, при определенных условиях, могут развиваться процессы пучения (см. разд.Б, гл.7).

В текучее состояние глины переходят при наличии гравитационной воды. Текучие глины могут передавать гидростатическое давление, увеличивающее напряжение крепи.

Основные инженерно-геологические факторы, осложняющие проведение горных работ, положены в основу инженерно-геологической классификации шахтных полей /I82/.

В зависимости от преобладания одного или нескольких факторов поле относится к соответствующему классу, отмеченному в табл. 2I знаком (+).

На основании количественной оценки гидрогеологических показателей (см.табл.20) и инженерно-геологических характеристик действующих шахт (см.табл.2I) выделяются следующие гидрогеологические типы угольных месторождений (табл. 22) /I82/.

Таблица 21

Инженерно-геологические характеристики разреза	Инженерно-геологические классы			
	Особо сложные А	Сложные Б	Средней сложности В	Простые Г
I	2	3	4	5
Плывучие пески, мощностью более 5 м, непосредственно вмещающие рабочие пласты угля; плывуны мощностью более 10 м, в зоне деформаций надугольной толщи; плывуны в подугольной толще на расстоянии, не превышающем 4 м от почвы выработок, при гидростатическом напоре более 20 м; пучащие породы, непосредственно вмещающие рабочий пласт угля	+			
Плывунные пески мощностью до 10 м в зоне деформации надугольной толщи или же плывуны в подугольной толще на расстоянии, не превышающем 4 м от почвы рабочего пласта, при гидростатических напорах менее 20 м; пучащие породы в пределах зоны деформации:				
а) мощностью более 3-кратной мощности рабочего пласта угля, отделённые от последнего выдержанной пачкой устойчивых пород,				
б) при гидростатических напорах над рабочим пластом свыше 75 м		+		
Глинистые гидрофильные или песчано-глинистые породы, не контактирующие с рабочим пластом угля, но в пределах зоны деформаций надугольной толщи, при гидростатических напорах над рабочим пластом менее 75 м; обводнённые тектонические или карстовые зоны в разрезе плотносцементированных пород с гидростатическими напорами над рабочим пластом более 50 м, а также подземные воды в жидкой фазе в области распространения многолетней мерзлоты			+	
Обводнённые тектонические или карстовые зоны в разрезе плотносцементированных пород с гидростатическими напорами над рабочим пластом менее 50 м; а также если разрез представлен устойчивыми скальными или песчано-глинистыми породами, независимо от гидростатических напоров, или любыми породами в зоне сплошной многолетней мерзлоты				+

Таблица 22

Гидрогеологические типы месторождений (районов)	Подтипы обводнённости шахтных полей				Инженерно-геологические классы шахтных полей			
	I	2	3	4	А	Б	В	Г
	Весьма обводнённые	Обводнённые	Умеренно обводнённые	Слабо обводнённые и практически безводные	Особо сложные	Сложные	Средней сложности	Простые
А	I	2	3	4	5	6	7	8
Тип I. Приуроченные к дислоцированному скальному комплексу пород (Донбасс, Кузбасс, Караганда, Восточно-Ферганский бассейн, Кок-Янгакское, Байсунское и другие месторождения)			+	+			+	+
Тип II. Приуроченные к глинисто-песчаному комплексу слабоводоносных пород в спокойных тектонических условиях (Восточно-Уральский буроугольный бассейн, Кызылкийское, Ахалцихское и другие буроугольные месторождения).			+	+		+	+	
Тип III. Приуроченные к песчано-глинистому комплексу водоносных пород в слабодислоцированных районах с основным напорным подугольным горизонтом (Подмосковный бассейн, Украинские буроугольные месторождения и др.)		+	+		+	+		
Тип IУ. Приуроченные к карстующимся породам (Киселевский бассейн, Гдовское месторождение сланцев)	+						+	+
Тип У. Перекрытые с поверхности обильно водоносными аллювиальными или трещиноватыми породами (Ангренское, Буланашское месторождения, месторождения в долинах рек Томи и Ини в Кузбассе, участки под "горелыми" породами и др.)..	+	+				+	+	

А	I	2	3	4	5	6	7	8
Тип УI. Связанные с мощным надпродуктивным водоносным комплексом песчаных пород (Ленгерское, Кушмурунское, Черновское и другие месторождения) ..			+	+	+	+		
Тип УП. В области распространения сплошной многолетней мерзлоты (Печорский, Таймырский угольные бассейны и др.).				+			+	+

Кроме перечисленных факторов, на величину обводнённости шахтного поля оказывает влияние производство горных работ: глубина выработок, система разработки, площадь горных работ, степень сработки статических запасов подземных вод.

С увеличением площади горных работ и глубины отработки приток увеличивается, а по мере сработки статических запасов уменьшается; площадь выработанного пространства оказывает на изменение притока более существенное влияние, чем глубина /193/.

При системах разработки с закладкой выработанного пространства фильтрационная способность пород в целом над очистным пространством почти не изменяется, гидродинамический режим подчиняется здесь закономерностям радиальных или плоских потоков.

При системах разработки с обрушением кровли над горной выработкой возникают 3 зоны деформации пород: зона обрушения, зона повышенной трещиноватости и зона плавного оседания пород без разрыва сплошности. Фильтрационная способность пород во всех трех зонах повышается, что может привести к резкому увеличению водопритока в шахту.

Особенно важным является вопрос изменения фильтрационных свойств горного массива при его подработке, если в зону беспорядочного обрушения пород попадает поверхностный водоём или река. Затопление вы-

работок при этом неизбежно. Зона трещин является также весьма опасной с точки зрения затопления горных выработок или резкого увеличения в них притоков воды. Если выше верхней границы зоны трещин залегает мощный слой слабопроницаемых пород, являющийся защитной зоной, то значительного увеличения притоков воды в выработку не будет. В том случае, когда этот слой представлен водоносными песчаниками, вода по трещинам будет поступать в горную выработку.

В разд. Б, гл. 6 приводятся некоторые рекомендации по определению условий безопасной выемки угля под водоёмами.

§ 2. ОЦЕНКА ВОДОПРИТОКОВ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Рассчитать приток воды в отдельные горные выработки очень трудно, а иногда и невозможно из-за недостатка исходных данных и несовершенства расчётных формул. Чаще всего рассчитывается приток воды к шахтному полю в целом; некоторые методы позволяют очень грубо оценить водопритоки и в отдельные горные выработки /I,2,I8,I68/. В зависимости от гидрогеологических условий и наличия исходных данных для оценки водопритоков в шахту применяется ряд различных методов.

I. МЕТОД ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ

Этот метод основан на сходстве гидрогеологических условий эксплуатирующихся и строящихся шахтных полей. Он базируется на эмпирических положениях, учитывающих ограниченное количество факторов (коэффициент водообильности, величину понижения уровня подземных вод или удельный дебит и размеры горных выработок).

Поэтому область применения этого метода ограничена. Его можно использовать для оценки водопритоков к шахтным полям, на-

ходящимся в простых гидрогеологических условиях. Расхождения между расчетными и фактическими водопритоками колеблются от 50 до 100% /19/.

М.В. Сыроватко предлагает следующую формулу для оценки водопритоков в горные выработки:

$$Q = Q_1 \frac{F}{F_1} \sqrt{\frac{H}{H_1}} \quad м^3/час ,$$

где: Q_1 – фактический приток к действующим выработкам, принятым в качестве аналогов, $м^3/час$;

F и F_1 – площадь проектируемых выработок и их аналогов, $м^2$;

H и H_1 – глубина проектируемых выработок и их аналогов, м;

Для условий Донбасса принимается квадратичная зависимость между водопритоком и отношением величин понижения напоров, учитывающая уменьшение трещиноватости пород с глубиной:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} \qquad (1)$$

$$Q_2 = Q_1 \frac{F_2}{F_1} \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} \qquad (2)$$

где: Q_2 – ожидаемый суммарный приток в шахту, $м^3/час$;

Q_1 – фактический приток воды в действующую шахту – аналог, $м^3/час$;

S_2 – проектируемое понижение на новой шахте, м;

S_1 – наблюдаемое понижение уровня подземных вод, при котором был получен приток Q_1, м;

F_1 и F_2 – площадь подготовительных и очистных выработок в действующей и проектируемой шахтах, $м^2$.

Практически в большинстве случаев расчёт производится по формуле (I).

2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Метод основывается на формулах динамики подземных вод, учитывающих конкретные условия ведения горнопроходческих работ. Этот метод позволяет рассчитывать притоки воды в отдельные горные выработки (вертикальные и горизонтальные) и в шахту в целом.

Приток воды в шахтный ствол. Для расчета притока воды в ствол в основном по данным контрольно-технического бурения различными авторами предложено большое число формул. Наиболее применимые из них:

1) для безнапорного режима:

$$Q = 2\pi K H \sqrt{r \cdot S}$$

2) для напорного режима:

$$Q = 2\pi K M \sqrt{r H_1}$$

3) для нескольких водоносных слоев:

$$Q = 1{,}366 \frac{K_{ср} H^2}{\ell g R - \ell g r},$$

где $K_{ср}$ – средний коэффициент фильтрации водосодержащих пород, м/час;

H – мощность водоносных пластов, м;

R – радиус влияния ствола, м;

r – радиус ствола шахты, м;

K – коэффициент фильтрации пород водоносного горизонта, м/час;

H_1 – высота столба воды, м;

S – величина понижения, м;

M – мощность водоносного горизонта, м.

Приток в горизонтальные подземные выработки определяется по формуле:

$$Q = 2HL\sqrt{KW} \quad м^3,$$

где: H – мощность водоносного горизонта, м

L – длина выработки,

K – коэффициент фильтрации, м/сутки

W – коэффициент инфильтрации, определяемый исходя из общегодового или сезонного количества просачивающихся атмосферных осадков, м/сутки.

Расчет общего притока воды в шахту (метод "большого колодца") производится по формулам:

I) для безнапорного режима

$$Q = \frac{1{,}366K\,(2H - S)\cdot S}{\ell g\,(R + r_0) - \ell g\, r_0}$$

2) для напорного режима

$$Q = \frac{2{,}73 \cdot Km\,S}{\ell g\,(R + r_0) - \ell g\, r_0},$$

где R – радиус влияния, м

$$R = r_0 + \frac{\sum a_{cp}\,\ell}{\sum \ell}$$

a_{cp} – среднее расстояние (из двух смежных поперечников) между контуром выработок и контуром питания;

ℓ – расстояние между смежными поперечниками;

r_0 – приведенный радиус, м

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

F – площадь контура всей системы горных выработок или площадь, оконтуренная ближайшими к стволу гидроизогипсой или гидроизопьезой, $м^2$;

H – мощность безнапорного горизонта, м

S – понижение уровня воды, м

m – мощность напорного водоносного горизонта, м

K – коэффициент фильтрации, м/сутки.

Формула, которой можно пользоваться для прогноза снижения притока воды во времени:

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + at)},$$

где: Q – приток воды в выработку в момент t, отсчитываемый от начала осушения пласта, $м^3$/час

Q_o – приток воды в выработку в начальный период осушения пласта, $м^3$/час

α – коэффициент истощения $\alpha = 5{,}77 \cdot \frac{K \cdot V}{4 \mu L^3}$

K – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сутки

V – сечение пласта на участке от выработки до водораздела, $м^2$

μ – водоотдача пород, в долях единицы

L – расстояние от выработки до водораздела грунтовых вод, м

3. МЕТОД ВОДНОГО БАЛАНСА

В условиях разработки угольного пласта на небольшой глубине, где пропускная гидравлическая способность пород не будет ограничивать приток воды в горные выработки, можно оценить водоприток в шахту по водному балансу (инфильтрация атмосферных осадков, поглощение поверхностных вод, приток из других водоносных горизонтов) после сработки статических запасов /I8/.

4. МЕТОД ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ (ЭГДА)

Более точно можно оценить приток воды к горным выработкам по методу электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) / I8/. Этот метод, несмотря на большую точность, применяется мало из-за громоздкости и сложности его осуществления.

ГЛАВА 7

ГАЗОНОСНОСТЬ, РУДНИЧНАЯ ПЫЛЬ, САМОВОЗГОРАНИЕ УГЛЯ

§ I. ГАЗЫ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

I. ОБРАЗОВАНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ГАЗОВ

В процессе формирования угольных месторождений в результате биохимических превращений исходного растительного материала и последующего метаморфизма углей выделяются газообразные продукты. Установлено, что из одной тонны растительного вещества образуется от 230 до 465 м^3 газа. Разложение клетчатки, составляющей основную массу растительного материала, в упрощенном виде может быть представлено в виде формулы:

$$2\ C_6H_6O_5 = 5\ CO_2 + 3\ CH_4 + 4\ C$$

В начальной стадии образования углей шло накопление органического вещества и его разложение с участием аэробных бактерий, грибков и других микроорганизмов. Если процесс происходил на суше, то растительный материал полностью разлагался с выделением углекислого газа, аммиака, азота, метана и тяжелых углеводородов. Газы рассеивались в атмосфере. В проточной воде доступ кислорода не затруднён, и поэтому здесь также преобладали окислительные процессы с образованием углекислого газа.

После перекрытия растительного вещества неорганическими осадками на смену окислительным процессам приходили восстановительные процессы с образованием метана, водорода и сероводорода.

Образование углекислого газа было также возможно, но уже за счёт кислорода, входящего в состава разлагающегося вещества.

Процессы проходили с участием анаэробных микроорганизмов. Незначительная глубина залегания способствовала эффузии (взаим-

ному проникновению) газов: на дневную поверхность проникали газы метанового, водородного и сероводородного брожения, а газы воздуха - в пласт через породы. Кроме того, воды, циркулирующие на небольших глубинах, также содействовали газообмену. Поэтому в сформированных месторождениях с подобными условиями залегания газы не сохранились (Подмосковный бассейн). Чем глубже погружался пласт при последующем накоплении осадков, тем дальше шли физико-химические процессы с образованием метана и незначительных количеств углекислого газа, азота, сероводорода и аммиака. Газообмен с атмосферой ухудшался. С ростом степени метаморфизма угля росло и количество выделяющегося из него метана. Подсчитано, что только при переходе угля от стадии газовых до тощих из одной тонны выделяется 80 кг метана. Поэтому для каменноугольных пластов характерны скопления метана. В общем балансе газов каменноугольных месторождений содержание метана доходит до 97%, углекислого газа - до 1%, азота и других газов-до 2%. Среди газов бурноугольных месторождений преобладает азот (до 90%); содержание углекислого газа доходит до 9-10%, очень редко-до 25%, метана - до 1%.

Менее характерным для угольных месторождений является сероводород. Он хорошо растворим в воде, поэтому его скопления редки (доли процента). Еще более скромное место среди газов угольных месторождений занимают водород и тяжелые углеводороды (этан, пропан и др.).

Процессы формирования угольного месторождения шли длительное время, в течение которого выделявшиеся газы насыщали поры, пустоты и трещины угольных пластов и вмещающих пород. Благодаря интенсивной трещиноватости угля и высокой способности его к адсорбции (сгущение газа на поверхности пор) скопление газов в угольных пла-

стах во много раз больше, чем во вмещающих породах (табл.23).

Таблица 23

Распределение метана в породах и угольных пластах по Г.Д.Лидину

Глубина	Объём метана в $м^3$ на I $м^3$	
	в породах	в угольных пластах
I00	I,0	I7
300	2,7	23
500	4,2	26
I000	7,6	34

Высокое содержание газов в угленосной толще и выделение их в горные выработки представляет собой опасность при производстве горных работ. Знание свойств газов, особенностей распространения их и мер борьбы с газовыделениями - необходимые условия безопасной работы в шахтах.

2. СВОЙСТВА ГАЗОВ И ИСТОЧНИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

У г л е к и с л ы й г а з (CO_2) - газ без цвета, со слабым кислым вкусом и слабым запахом; удельный вес - I,52 (поэтому его скопления наблюдаются у почвы выработок и в забоях уклонов); слабо ядовит; не поддерживает горения; в I00 объёмах воды растворяется I80 объёмов CO_2 при 0^oC и при нормальном давлении.

В горные выработки углекислый газ выделяется из угля, вмещающих пород и подземных шахтных вод, а также в результате окисления угля и гниения крепежного леса.

В шахтах Подмосковного бассейна наблюдается явление "газования", выражающееся в том, что при резком падении атмосферного

давления в выработках появляется в значительных количествах углекислый газ. Во Франции на шахте Нордале в 1935 году произошло внезапное выделение углекислого газа, заполнившего 500 км выработок за короткий промежуток времени. Выделение сопровождалось выбросом 5000 т угольной мелочи. В СССР внезапных выбросов углекислого газа не отмечалось.

При содержании в воздухе 6% углекислого газа у человека появляется сильная одышка и слабость, а при 10% – может наступить обморочное состояние.

Существующими нормами установлено максимальное содержание углекислого газа в рудничном воздухе – 0,5%.

О к и с ь у г л е р о д а (CO). Некоторые ископаемые угли содержат очень ядовитый газ – окись углерода. При содержании его в воздухе 0,13% людям грозит тяжелое отравление, а при 0,4% – смерть. Выделение окиси углерода из угля незначительно и не представляет серьезной опасности. Однако при подземных пожарах и взрывах метановоздушной смеси и угольной пыли основной причиной гибели людей является их отравление образующейся при этом окисью углерода. Даже при небольшом пожаре в шахте легко возникают опасные количества CO. Предельно допустимые концентрации окиси углерода в рудничном воздухе – 0,0016%.

С е р о в о д о р о д (H_2S) – газ без цвета, с запахом тухлых яиц и сладковатым вкусом, удельный вес – 1,19, горюч. В одном литре воды растворяется 3,25 л сероводорода при атмосферном давлении и температуре + 15°С. Сероводород весьма ядовит, действует раздражающе на слизистые оболочки глаз и дыхательных путей, а также на нервную систему. При концентрации сероводорода в воздухе 0,05% наступает тяжёлое отравление, а при 0,1% – смерть.

В горные выработки сероводород может поступать вместе с метаном в незначительных количествах. Первым признаком наличия H_2S в атмосфере является запах, который появляется уже при концентрации 0,0002%, а при 0,02% сильно раздражает слизистые оболочки. Опасное выделение сероводорода в шахту из трещин и пустот - довольно редкое явление. Предельно допустимая концентрация сероводорода в рудничном воздухе - 0,00066%.

Метан - рудничный газ (CH_4). В настоящее время почти все шахты угольных бассейнов СССР (кроме Подмосковного) являются газовыми по содержанию в них метана. Метан - газ без цвета и запаха, хотя примеси других углеводородов придают иногда ему запах яблок. Удельный вес метана - 0,554 при 0^0C, поэтому скопления его наиболее вероятны в верхних частях горных выработок. Сам по себе газ не ядовит, но вытесняя воздух в подземных выработках, он очень затрудняет дыхание уже при 43% концентрации, а при содержании в воздухе свыше 57% метан вызывает удушье. Если нет нового притока газа, скопление метана равномерно распределяется по всем выработкам, благодаря большой скорости диффузии газа (в 1,6 раза больше скорости диффузии воздуха).

Растворимость метана в воде - незначительная (49,5 $см^3/л$). Метан горюч, температура воспламенения его 650-750^0C. При содержании метана в воздухе в количестве 14-16% и выше смесь становится инертной (ввиду большой теплоёмкости метана) и загорается только при притоке кислорода извне. Наиболее опасная концентрация метана от 5-6 до 14-16%. Такая смесь взрывчата при соприкосновении с открытым огнем или электрической искрой.

Метан выделяется в горные выработки из микротрещин и пор с обнаженной поверхности угля и вмещающих пород, а также из тектонических трещин.

3. ЗОНАЛЬНОСТЬ ГАЗОВ И ГАЗООБИЛЬНОСТЬ

В недрах угольных бассейнов непрерывно происходит перемещение газов: из глубины к поверхности (газы образовавшиеся в результате метаморфизма угля) и обратно (газы воздушного происхождения). В естественных условиях, если отсутствуют открытые трещины, процесс этот идет миллионы лет. Путями миграции служат поры и трещины угольных пластов и, в меньшей степени, вмещающих пород. Подземные воды переносят газы в растворенном состоянии. Этим путем газообмен происходит в незначительных масштабах. Постоянная миграция газов обусловила дегазацию неглубоко залегающих пластов угля и сохранение высокой газоносности на больших глубинах. С глубиной газы изменяются не только в количественном отношении, но и по составу.

В зависимости от преобладания тех или иных газов различаются следующие газовые зоны (сверху вниз): I) азотно-углекислая, 2) азотная, 3) азотно-метановая, 4) метановая.

Первые три зоны, не содержащие метана или содержащие небольшое его количество (до 2 $м^3$/т), образуют зону метанового выветривания (рис.69). Её мощность колеблется в широких пределах, в среднем она составляет: для Донбасса 100-300 м, Кузбасса 70-150м, Карагандн 100-200 м, Воркуты 100-180 м.

При несогласном залегании на размытой поверхности угленосных толщ более поздних газонепроницаемых отложений, а также в районах вечной мерзлоты, зона азотно-углекислых газов может отсутствовать.

Количество свободного и сорбированного газа (в $м^3$), содержащееся в тонне угольного пласта или породы, называется газоносностью.

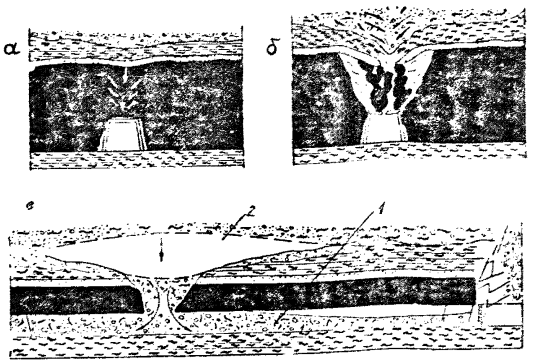


Рис.68 Схема прорыва плывунов в штрек.
Черновское месторождение (Забайкалье).

а – поперечный разрез до прорыва; б – поперечный разрез после прорыва; в – продольный разрез после прорыва:
I – камера заполненная плывуном (500 м^3);
2 – пустоты, возникшие в результате прорыва плывуна.

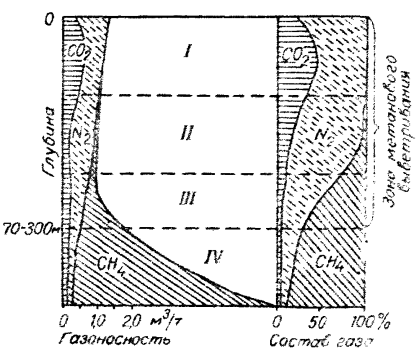


Рис.69 Изменение состава и количества газа в угленосных отложениях в зависимости от глубины.

Выделение газа в горные выработки определяется газообильностью, величина которой зависит не только от газоносности, но и от горнотехнических факторов (системы разработки, быстроты продвигания забоев, наличия больших выработанных пространств). Под абсолютной газообильностью понимается количество метана (в $м^3$), выделяющегося в шахте за сутки. Относительная газообильность - количество метана, выделяющегося в шахте за сутки, отнесенное к I т среднесуточной добычи. С углублением шахт относительная газообильность увеличивается (табл.24).

Таблица 24

Нарастание относительной газообильности шахт с углублением горных работ, $м^3/т$ (по Г.Д.Лидину)

Глубина, м. бассейны	0-100	100-200	200-350	350-550	550-800
Донбасс	0,7	2,5	6,0	11,0	20,0
Кузбасс	0,5	5,0	-	-	-
Караганда	0,5	7,5	17,0	-	-
Воркута	0,0	1,0	4,0	12	-

Относительная метанообильность является показателем степени опасности шахты по газу. В СССР согласно Правилам безопасности при производстве горных работ /148/ угольные шахты по газообильности подразделяются на четыре категории (табл.25).

Таблица 25

Категория по газу	Относительная газообильность в $м^3/т$
I	Менее 5
II	от 5 до I0
III	от I0 до I5
сверхкатегорные	свыше I5 или шахты, разрабатывающие пласты, опасные по выбросам угля и газа и по суфлярам

Таблица 26

Распределение шахт, опасных по газу, по категориям на основных угольных бассейнах СССР /I88/

Угольные бассейны	Количество шахт по категориям							
	I	%	II	%	III	%	сверхкатегорные	%
Донецкий	I33	34	58	I5	30	7	I73	44
Кузнецкий	39	49	I7	2I	5	6	I9	24
Карагандинский	5	I2	7	I8	2	5	26	65
Воркута	I6	49	3	9	4	I2	I0	30

Из таблицы 26 видно, что только на основных угольных бассейнах в 1956 г. было 228 шахт, отнесенных к сверхкатегорным по газообильности, т.е. 42% всех шахт основных угольных бассейнов. С углублением шахт и интенсификацией эксплуатации угольных месторождений число таких шахт значительно возрастает.

§ 2. ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ГАЗОНОСНОСТЬ

Наиболее важными факторами, обусловливающими газоносность угольных пластов и вмещающих пород, являются обнаженность бассейнов и месторождений, степень метаморфизма угля, угленосность отложений, структура бассейнов и их районов, разрывные нарушения.

О б н а ж е н н о с т ь. В угольных бассейнах и месторождениях, где выходы продуктивных отложений не перекрыты более поздними осадками (например, Центральный Донбасс), условия для естественной дегазации более благоприятны, чем в закрытых бассейнах и месторождениях (Северный Донбасс, Кузбасс, Караганда). Для каменноугольных месторождений в области вечной мерзлоты образование газонепроницаемого ледового покрова также благоприятствовало сохранению газа в недрах.

С т е п е н ь м е т а м о р ф и з м а у г л я. Метан является продуктом метаморфизма углистого вещества. Чем выше степень метаморфизма, тем большее количество газов образовалось в процессе углефикации. Бурые угли наименее метаноносны, содержание газа в них составляет 3-4 $м^3/т$, а на долю метана приходится всего 0,3-0,7% (Подмосковный бассейн). Газовые и длиннопламенные угли Лисичанского района Донбасса при их эксплуатации выделяют метана 5-10$м^3$ на одну тонну среднесуточной добычи; угли марки ПА Центрального района Донбасса - около 20 $м^3/т$. Наибольшее содержание метана наблюдается у антрацитов, до 70-80 $м^3/т$.

У г л е н о с н о с т ь о т л о ж е н и й. Угленасыщенность продуктивных отложений характеризуется коэффициентом угленосности. Чем выше коэффициент угленосности при прочих равных условиях (глубина залегания, обнаженность, степень метаморфизма и др.), тем выше газоносность угля и пород.

Геологическая структура оказывает влияние на газоносность как всего бассейна, так и отдельных его районов. Наиболее благоприятные условия для сохранения газа имеют угольные бассейны, представляющие крупные котловины с глубоким погружением продуктивных свит (Тунгусский и Карагандинский бассейны). В крупных котловинах со складчатостью на периферии (Кузбасс) создавались условия для дегазации на окраине бассейна, где пласты при размывах имели значительную обнаженность. В бассейнах со складчатостью, развитой по всей площади, (Донбасс) создавались еще более благоприятные для дегазации условия.

Газопроницаемость угольных пластов, за редким исключением выше, чем вмещающих пород, поэтому миграция газов происходит, в основном, по углям. Условия для дегазации в пласте угля с крутым залеганием более благоприятные, чем в пологопадающем. При изменении угла падения от 80^0 до 10^0 общая газоность для данной глубины увеличивается примерно в 10 раз. Аналогично изменяется и глубина зоны метанового выветривания /111/.

Газоносность угольных пластов в призамковых частях антиклиналей возрастает (а в синклиналях падает) по направлению к оси складки. Например, в Кременском и Томашевском куполах Лисичанского района Донбасса первые проявления метана наблюдаются на глубинах 85-100 м, а ниже 200 м располагается зона чисто метановых газов. В то же время в смежной Крупско-Титовской синклинали пласты угля сильно дегазированы и метан в них до глубины 300-400 полностью отсутствует /19/. Аналогичные положения наблюдаются в Чистяковском районе Донбасса, в Араличевском, Осиновском и Прокопьевском районах Кузбасса.

Р а з р ы в н ы е н а р у ш е н и я. Основным критерием, определяющим роль разрывных нарушений в перемещении газов, является газопроницаемость зоны смесителя, которая зависит от состава, степени раздробленности и уплотнения пород в зоне нарушения. По этому признаку нарушения можно разделить на хорошо проницаемые, практически непроницаемые и обладающие по падению переменной газопроницаемостью.

Газопроницаемые нарушения обычно представлены сбросами. Угольные пласты висячих и лежачих крыльев таких нарушений значительно дегазированы (рис.70-$а_I$). В случае изоляции нарушений от дневной поверхности мощными отложениями глинистых или других газонепроницаемых осадков создаются условия для накопления в зонах разрыва свободных газов, газоносность же угольных пластов остается неизменной (рис.70-$а_2$). Такие нарушения являются чаще всего источниками суфлярных выделений метана. Поэтому вскрытие их горными выработками нужно производить с особой осторожностью.

Газопроницаемые нарушения широко развиты на площади Донецкого бассейна. Районы Хрусталевский и Чистяковский имеют повышенную газоносность углей и пород. Однако вблизи открытых нарушений угленосные отложения дегазированы на сравнительно большую глубину. В Кузбассе и Караганде в пределах шахтных полей неоднократно отмечалось снижение метанообильности выработок вблизи нарушений (Прокопьевский район Кузбасса, зона меридиональных сбросов в Караганде).

Газонепроницаемые нарушения представлены, в основном, надвигами. Они закупоривают газ в пластах, препятствуя его движению. В тех случаях, когда угольные пласты, имеющие выход на дневную поверхность, вследствие нарушения изолируются от нижних горизонтов, они подвергаются глубокой дегазации. Зона нарушения,

будучи газонепроницаемой, служит экраном, препятствующим перемещению метана с нижних недегазированных горизонтов, где в угольных пластах либо сохраняется первоначальная газоносность, либо повышается, благодаря подтоку газа с больших глубин (рис.70-б). Типичным примером газонепроницаемого нарушения может служить Итальянский надвиг Макеевского района Донбасса. Первое проявление метана в пластах висячего крыла наблюдается на отметке +100м лежачего - на горизонте - 50 м.

Изменение характера зоны нарушения по падению или простиранию может повлиять на ее газопроницаемость. Верхняя часть Северо-Донецкого надвига Лисичанского района Донбасса на контакте пород карбона с мощными глинистыми отложениями мезокайнозоя является газонепроницаемой. Нижняя же часть - проницаема для газа. Вследствие этого создались условия для накопления свободного газа в самой зоне надвига, а также в трещиноватых известняках и песчаниках, залегающих в висячем его крыле (рис.70-в).

§ 3. ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ И ИХ ПРОГНОЗ

I. ОБЫЧНОЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ

Обычное газовыделение в шахтах происходит из пор и трещин по всей обнаженной поверхности угля и вмещающих пород. Глубина зоны газового дренажа зависит от начального давления газов и от газопроницаемости пласта, обычно период дренирования вскрытого угля не превышает 8-10 месяцев. Ненарушенный уголь содержит в среднем от 30 до 40 $м^3$/т газа. По мере приближения к нему плоскости забоя сеть искусственных трещин увеличивается, происходит дегазация, и уже на расстоянии 4-7 м от забоя целик угля обычно содержит 5-6 $м^3$/т газа. Интенсивность газовыделения с новой обнаженной поверхности наибольшая в первые сутки и со временем - падает.

Подготовительные и очистные забои продвигаются, в основном, за сутки равномерно, поэтому газовыделение стабилизируется в действующих шахтах.

Выделение метана из разрабатываемого пласта зависит от скорости продвижения забоя, а также от способа эксплуатации (отбойный молоток скалывает слой угля до I м, струг - I5-20 см, а при подрубке угля врубовой машиной глубина щели доходит до I,8-2,0м). Особенно велика загазованность лав при работе врубовых машин на газовых пластах.

Явление отжима угля на крутопадающих пластах может привести к значительному загазованию выработок. На пологих пластах раздавливание кромки пласта угля происходит незначительно, поэтому газовыделение хотя и увеличивается при этих явлениях, но к резкому загазовыванию не приводит /II2/.

Свыше 50% общих запасов газа в недрах содержится в породах. Газ, поступающий в выработки из вмещающих пород, играет существенную роль в газовом балансе, несмотря на то, что проницаемость этих пород значительно ниже угля. Природные трещины способствуют продвижению газов; по мере отработки пласта происходит смещение вмещающих пород, трещины раскрываются и дегазация увеличивается. Особое влияние на газовыделение имеют неразрабатываемые угольные пласты, смежные с разрабатываемым, но отстоящие от последнего не более,чем на 50 м. Естественно, что чем ближе находятся неразрабатываемые угольные пласты к разрабатываемому и чем больше их мощность и количество, тем значительнее будет метановыделение. Дегазация неразрабатываемых угольных пластов, залегающих в кровле разрабатываемых, происходит быстрее, чем залегающих в почве, так как эксплуатационные трещины в кровле образуют более густую сеть.

Основными данными для прогноза газообильности глубоких горизонтов действующих шахт или новых шахтных полей, смежных с эксплуатируемыми, являются ступень газообильности выработок и глубина зоны метанового выветривания. Ступенью газообильности выработок называется величина углубления горных работ, при которой относительная метанообильность увеличивается на I $м^3/т$. Обычно она составляет по вертикали от 5 до 40 м. Для нахождения величины ступени газообильности рассчитывается средняя относительная газообильность выработок действующих и отработанных горизонтов за 5-6 лет. Строится график зависимости относительной газообильности от средневзвешенного значения глубины горных работ.

Ступень газообильности определяется величиной котангенса угла (Ψ) наклона построенной прямой по отношению к оси абсцисс. Кроме того, по графику определяется глубина зоны метанового выветривания (нижняя граница зоны 2 $м^3/т$). Экстраполируя прямую в область больших глубин, можно определить вероятную газообильность выработок на глубоких горизонтах (рис.7I). При изменении горнотехнических факторов (каптаж метана, переход с обрушения кровли на закладку выработанного пространства и т.п.) ступень газообильности будет меняться и в расчеты должны вноситься поправки /60,89/.

2. СУФЛЯРНОЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ

Суфлярное выделение газов - выделение скопившегося газа из естественных или эксплуатационных трещин. Продолжительность действия суфляров - от нескольких дней до десятков лет, дебит - от нескольких кубометров до несколько тысяч и даже десятков тысяч кубометров. Максимальный дебит суфляров обычно бывает в начальный период газовыделения и затем затухает. Величина дебита зависит от размеров трещин, из которых выделяется газ, и от давления газа.

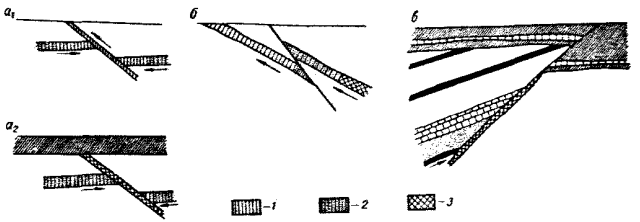


Рис.70 Схема перемещения и накопления газов при различных типах разрывных нарушений

$а_1, а_2$ – газопроницаемые нарушения,

$б$ – газонепроницаемые нарушения,

$в$ – изменение характера нарушения по падению;

I – участки, лишенные метана, 2 – участки с пониженной метаноносностью, 3 – участки с повышенной метаноносностью.

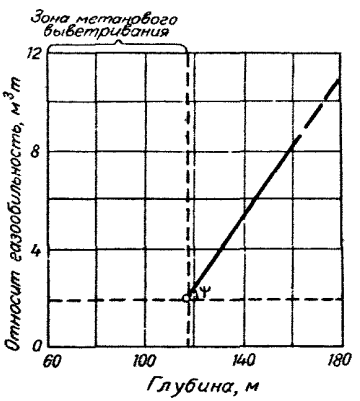


Рис.71 График зависимости относительной газообильности от глубины.

Давление в начальный период может доходить до десяти и более атмосфер. На шахте "Прасковиевская" в Донбассе суфляр давал в сутки около 2-3 тыс.м^3 газа при давлении не менее 3 атм. На шахте "Центральная" в Донбассе суфлярные трещины в течение 500 дней давали около 20тыс.м^3/сут. метана, затем дебит снизился до 8 тыс.м^3/сут. и, наконец, запасы метана иссякли.

Суфлярные газовыделения сопровождаются шипением, а если трещину закрывает вода, то бурным клокотанием. Нередко суфляры выбрасывают сначала воду, а потом газ. Чаще всего суфляры встречаются в зонах тектонических нарушений.

Установлена приуроченность суфлярных газовыделений к определенным зонам: к наиболее насыщенной угольными пластами части угленосной толщи, где разрабатываются сближенные пласты; к куполам, флексурам, разрывным нарушениям; к пластам с высокой степенью метаморфизма; к наиболее трещиноватым породам; к большим глубинам.

Неожиданная встреча мощного суфляра создает серьезную опасность не только для отдельной выработки, но и для всей шахты. Образуются взрывоопасные смеси, а иногда рудничная атмосфера настолько загазовывается, что становится удушающей.

Для борьбы с суфлярными выделениями самым эффективным способом является каптирование метана и отвод его на поверхность. При суфлярных газовыделениях небольшой силы с успехом может быть применено дополнительное проветривание /184/. Как временная мера в борьбе с суфлярами может применяться тампонаж трещин, из которых выделяется газ.

3. ВНЕЗАПНЫЕ ВЫБРОСЫ УГЛЯ И ГАЗА

Динамическое явление, возникающее вследствие быстрого изменения напряженного состояния насыщенного газом угольного пласта вблизи горной выработки, сопровождающееся разрушением угля и бурным выделением газа и раздробленного угля, получило название внезапный выброс. В Бельгии и Франции известны случаи, когда внезапно выбрасывалось несколько тысяч тонн угля и сотни тысяч $м^3$ газа. На территории СССР за последние 50 лет на шахтах Донбасса, Кузбасса, Восточного Урала и Сучана насчитывается около 2000 внезапных выбросов угля и газа.

Академик А.А. Скочинский, изучая природу внезапных выбросов, установил их зависимость от 3-х основных факторов: давления горных пород, давления заключенного в угле газа и структуры угля /171/.

Горное давление - основной фактор возбуждающий внезапный выброс угля и газа. Под действием давления горных пород угольный пласт в призабойной зоне растрескивается и разрыхляется, уменьшается прочность угля, что подготавливает внезапное сдвижение. Если пласт залегает наклонно и выработка пройдена по восстанию, то внезапному сдвижению угля способствует также и его собственный вес. Если исходить только из величины горного давления, то теоретически внезапные выбросы возможны лишь с глубины 320 м.

При глубоком растрескивании и дроблении угля в пласте резко возрастает дегазация. Потенциальная энергия газа, заключенного в угле, при достаточно высокой газоносности и способности угля быстро растрескиваться может перейти в кинетическую. Выделяющийся газ захватывает угольные частички. Процесс лавинно нарастает

и переходит во внезапный выброс. Опыты, проведенные В.В.Ходотом и В.С.Кравченко (брикеты угля, близкие по своим свойствам к трещиноватому углю насыщались метаном, а затем резко понижалось давление) позволили искусственным путем воспроизвести явления внезапных выбросов угля и газа /154/. Для того, чтобы газ мог совершить работу выброса, необходимо его некоторое минимальное давление (около 3-6 ат). Таким образом, горное давление подготавливает внезапный выброс, а давление газа непосредственно его производит.

Если два первых фактора (горное давление и давление газа) для данного горизонта-величины относительно постоянные, то структурные особенности углей могут резко изменяться даже в пределах одного сечения пласта.

Из структурных элементов на внезапные выбросы влияет в первую очередь, трещиноватость угля. По данным И.И.Аммосова и др. такие пласты характеризуются повышенным показателем трещиноватости от 200 до 250. Показатель трещиноватости колеблется от I до 250. По их данным уголь разбит густой сетью микротрещин. При этом пласт будет выбросоопасен, если угольные пачки с повышенной трещиноватостью составляют более 2/3 мощности пласта.

В.В. Эз и другие исследователи считают, что влияние трещиноватости на внезапные выбросы весьма сложно и неоднозначно и поэтому в настоящее время нет универсальных методов оценки степени опасности пласта по выбросам по данным изучения структуры пласта.

Стадия метаморфизма углей не является определяющим фактором, но замечено, что наиболее склонны к внезапным выбросам угли марки ПЖ, К и ПС, а также угли, богатые витреном (более хрупкие, перемятые) очень редко Т и А /7/.

В местах тектонических нарушений внезапные выбросы наблюдались чаще, чем при спокойном залегании; в подготовительных выработках чаще, чем в очистных; наибольшей силы достигают обычно внезапные выбросы при вскрытии пластов квершлагами. Подавляющее большинство выбросов произошло сверху. Примерное соотношение угля и газа при выбросах: на I т угля - I0-60 м^3 газа. В некоторых случаях газовыделение быстро прекращалось, в других - продолжалось длительное время. При выбросах образуются пустоты самых разнообразных форм, но чаще всего грушевидной, с длинной осью, расположенной по падению пласта.

Внезапному выбросу предшествуют глухие удары в массиве, потрескивание, осыпание угля, изменение газовыделения, выдавливание угля из забоя, шелушение угольного забоя. В настоящее время созданы приборы, регистрирующие предупредительные признаки внезапных выбросов: геофоны, дистанционные электронные барометры, газоанализаторы.

Профилактические мероприятия, которые проводятся в настоящее время при разработке пластов, склонных к внезапным выбросам, сводятся, в основном, к следующему:

I) При сближенных пластах - разработка близлежащего угольного пласта производится с некоторым опережением с тем, чтобы разгрузить опасный пласт от горного давления и дать возможность переместиться газу в выработанное пространство. Этому способствует развитие трещиноватости в процессе ведения горных работ.

2) Создание дополнительной искусственной трещиноватости в местах возможных встреч очагов скопления газов. Искусственная трещиноватость вызывается путем сотрясательного взрывания. В этом случае можно ускорить внезапный выброс при отсутствии лю-

дой, т.е. в подготовленных условиях, когда он не представляет собой особой опасности.

3) Дегазация угольных пластов путём бурения скважин диаметром 250-300 мм. Обычно они бурятся из верхнего штрека по падению пласта. Устья скважин обсаживаются и подключаются к вакуумным установкам.

§ 4. РУДНИЧНАЯ ПЫЛЬ

Частицы угля или породы размером от I мм до долей микрона в поперечнике относятся к пыли. Главным источником образования пыли в угольных шахтах является работа комбайнов, врубовых машин, качающихся конвейеров, а также образуется много пыли при спуске угля по скатам и при его перегрузке. Часть пыли оседает на кровле, стенках и почве выработок, другая часть находится во взвешенном состоянии в рудничной атмосфере.

Пыль размером I-5 микрон и меньше является причиной профессиональных заболеваний горняков. Особенно вредна для человеческого организма пыль кварца, кварцита, песчаников и др.пород, содержащих много свободного кремнезёма. Предельно допустимые нормы её в атмосфере шахт - 2 мг/м^3, а породы, содержащие свободную двуокись кремния в количестве более I0%, являются опасными по образованию вредных концентраций. Угольная пыль считается одной из наименее вредных, но наибольшее допустимое ее содержание в воздухе, также как и известковой, сланцевой и глинистой, не должно превышать I0 мг/м^3.

Кроме того, угольная пыль является причиной взрывов на шахтах. Степень взрывчатости угольной пыли зависит от следующих факторов: размера пылинок, состава и количества пыли и наличия метана в атмосфере шахты.

Носителем взрывчатых свойств пыли является фракция с размером частиц 0,1-0,06 мм. Участие во взрыве пылинок размером более 0,1 мм определяется тем, насколько эти пылинки могут измельчаться силой взрыва.

Взрывчатость пыли возрастает с увеличением содержания в ней горючих летучих, рассчитанных на сухую беззольную массу. При содержании летучих менее 10% пыль практически не взрывчатая, при 10-15% - слабовзрывчатая, а при 15% и более взрывчатость пыли быстро нарастает.

Зольность и влажность снижают взрывчатость пыли, но в значительно меньшей степени, чем увеличивает взрывчатость количество летучих.

Если пыль находится в воздухе, то плотность облака (при летучих около 30% и размере фракции 0,1-0,06 мм) 30 г/м^3 становится уже взрывоопасной. Количество осевшей пыли, отнесенной к 1 м^3 объёма выработки, считается опасной при 100-120 г.

Даже при содержании метана 1-2% в воздухе существенно повышается взрывоопасность пыли. Кроме того, взрывчатость пыли увеличивается с увеличением глубины горных выработок.

Таким образом, взрывчатость угольной пыли может колебаться в весьма широких пределах. Наибольшей взрывоопасностью отличается каменноугольная пыль Карагандинского бассейна.

Основным методом борьбы со взрывами угольной пыли в шахтах является добавка в осаждающуюся пыль инертной пыли (глинистый сланец, известняк) в количестве, определяемом опытным путём или расчётом.

§ 5. САМОВОЗГОРАНИЕ УГЛЯ

В выработанных пространствах, где остаётся много разрыхленного угля, особенно, если очистные работы производятся с обру-

шением кровли, может возникнуть самовозгорание угля. Весьма опасными в отношении возникновения пожара также являются заброшенные штреки, в которых находится неубранная угольная мелочь или кучи рыхлого угля, выпадавшего из кровли.

Основной причиной самовозгорания угля является его нарушенность и раздробленность, создающие возможность кислороду воздуха проникать в массу угля. Соединение кислорода с углем происходит при обычных температурах. При этом выделяется тепло, и если оно накапливается, то возникает самовозгорание. Поэтому при эксплуатации угольных пластов, склонных к самовозгоранию, необходимо обеспечивать полную выемку угля. В случае оставления угольных целиков вокруг основных горных работ эти целики должны быть обособлены (глинистое заиливание) от соприкосновения с воздухом.

Показателем склонности углей к самовозгоранию является температура воспламенения углей (табл. 27), а для углей одинаковой степени метаморфизма - способность поглощать кислород.

Таблица 27

марки углей	Б	ДГ	Ж	К	ОС	Т	А
температур. воспламен. град.	250-450	305-315	350-360	365-370	375-380	390-395	650-800

Содержание в угле фюзена, тектоническая нарушенность угля, высокая влажность - факторы способствующие самовозгоранию.

Для успешной борьбы с подземными пожарами необходимо вовремя определить очаги самовозгорания в начальной стадии их зарождения. Анализ геологических признаков наиболее опасных по самовозгоранию (низкая степень метаморфизма углей, трещиноватые, легко крошащиеся угли, большая мощность пластов угля и др.) и контроль за составом и температурой воздуха в шахте позволяют обнаружить начало самовозгорания.

О Г Л А В Л Е Н И Е

стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

РАЗДЕЛ А

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ

ГЛАВА I. СОСТАВ И СВОЙСТВА УГЛЕЙ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД 6

§ I. Типы ископаемых углей 6

§ 2. Литолого-петрографическая характеристика пород угленосной толщи I9

§ 3. Метаморфизм углей и вмещающих пород 32

§ 4. Физико-механические свойства углей и пород. 42

ГЛАВА 2. МОРФОЛОГИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ 64

§ I. Строение и мощность угольных пластов. 64

§ 2. Минеральные прослои и включения 68

§ 3. Нарушения угольных пластов 69

§ 4. Сопоставление угольных пластов 90

§ 5. Методика изучения морфологии угольных пластов. 92

ГЛАВА 3. СКЛАДЧАТЫЕ И РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ 93

§ I. Складчатые нарушения 93

§ 2. Разрывные нарушения I0I

I. Основные понятия I0I

2. Геометрические особенности разрывов и их классификация I09

3. Определение вектора движения крыльев и расположения осей тектонических напряжений . . I24

4. Генетическая характеристика разрывных нарушений угольных месторождений I30

ГЛАВА 4. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ I43

§ I. Основные понятия I43

§ 2. Генезис трещин I48

§ 3. Классификация трещиноватости I52

§ 4. Значение трещиноватости при ведении горных работ I56

I. Трещиноватость и устойчивость кровли . . I56

2. Связь трещиноватости с явлениями обрушения и сдвижения пород I6I

3. Влияние трещиноватости на механизацию добычных работ I64

ГЛАВА 5. КАЧЕСТВО УГЛЕЙ 166

§ 1. Основные показатели качества углей в связи с их промышленным использованием. 166

1. Показатели качества углей, используемых для энергетических целей 169

2. Показатели качества углей, предназначенных для технологического использования 173

3. Прочие направления использования углей. . . . 182

§ 2. Обогащение и брикетирование углей 183

§ 3. Промышленная классификация углей 185

§ 4. Основные факторы, влияющие на качество углей. 187

1. Зависимость качества углей от петрографического состава 187

2. Зависимость химического состава, основных свойств и показателей качества углей от стадии метаморфизма. 190

3. Влияние выветривания на качество углей. . . 193

ГЛАВА 6. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ 195

§ 1. Условия, влияющие на обводненность шахтных полей и устойчивость выработок 195

§ 2. Оценка водопритоков в горные выработки. . . . 201

ГЛАВА 7. ГАЗОНОСНОСТЬ, РУДНИЧНАЯ ПЫЛЬ, САМОВОЗГОРАНИЕ УГЛЯ. 206

§ 1. Газы угольных месторождений 206

§ 2. Влияние геологических условий на газоносность. 215

§ 3. Газовыделение в горные выработки и их прогноз. 218

§ 4. Рудничная пыль 226

§ 5. Самовозгорание угля 227

РУКОВОДСТВО ПО ИЗУЧЕНИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Раздел А

Характеристика геологических факторов, влияющих на эксплуатацию

Отв. ред. А.С. Забродин Техн.ред. В.С.Саложников

Печатный цех ВНИМИ Заказ № 78. Тираж 2000 30/XII-67

185 Объем 10 п.л. Цена 89 коп.

gost.e-ecolog.ru