



УДК 553.94/96+553.98+553.49

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУЗНЕЦКОМ УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ. ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Скурский М.Д.

Забайкальский государственный университет



Информация о статье

Поступила:
17 сентября 2021 г.

Рецензирование:
25 января 2022 г.

Принята к печати:
22 сентября 2025 г.

Ключевые слова:

Кузбасс, каменный уголь, Кузнецкий угольный бассейн, марки углей, геологическое строение, тектоника, угленосные отложения, угольный пласт, геомеханика, управление состоянием массива, свойства угля, самовозгорание, оползни, обводненность, деформации массива, метаморфизм углей, устойчивость откосов, свойства углей

Аннотация.

Разработка угольных месторождений – одна из наиболее сложных отраслей горнодобывающей промышленности из-за значительного различия в степени литификации и метаморфизма как углей, так и вмещающих пород, разнообразия структурных форм залегания горных пород и их нарушенности, проявляющегося не только на месторождениях различных генетических типов, но и в пределах одного и того же месторождения (часто в границах поля шахты или разреза). Ведение горных работ осложняют многопластовый характер месторождений, различия в мощностях и строении угольных пластов, резкая дифференциация в мощностях межпластовых интервалов, явления расщепления и генетического выклинивания угольных пластов, проявления размыков, мелкоамплитудной тектоники и т. п. Эти геологические особенности определяют необходимость создания многочисленных типов горного оборудования, осложняют ход эксплуатационных работ и условия труда рабочих. Специфичны для разработки угольных месторождений такие осложняющие факторы, как самовозгорание углей, газовыделения, взрываемость угольной пыли, проявления выбросов угля, газа и пород, горных ударов и т.п. Дальнейший технико-экономический прогресс угольной промышленности невозможен без всесторонних и глубоких знаний горно-геологических условий разработки угольных месторождений. В широком понятии горно-геологические условия разработки включают: рельеф месторождения, морфологию, глубину и структурные условия залегания пластов угля (тектонику), их мощность, строение, степень выдержанности и распределение в разрезе (угленосность), состав и физико-механические свойства углей и пород, природную газоносность месторождения, обводнённость и его температурный режим. В данной статье рассмотрены горно-геологические и инженерно-геологические условия разработки угольных месторождений, в том числе применительно к Кузнецкому угльному бассейну.

Для цитирования: Скурский М.Д. Общие сведения о Кузнецком угольном бассейне. Горно-геологические и инженерно-геологические условия эксплуатации угольных месторождений // Техника и технология горного дела. – 2025. – №3(30). – С. 4-56. – DOI:10.26730/2618-7434-2025-3-4-56, EDN: VVHFZJ

Общие сведения о Кузнецком угольном бассейне

Кузнецкий каменноугольный бассейн (Кузбасс) расположен на юге Западной Сибири на западной окраине Алтае-Саянской горной области, в Кемеровской административной области – Кузбассе. В её пределах находится также западная часть Канско-Ачинского буроугольного бассейна. Кузбасс занимает площадь около 27 тыс. км². Он простирается в северо-западном направлении на 330 км при наибольшей ширине 110 км. С северо-востока ограничен Кузнецким



Алатау; с юго-запада – Салаирским кряжем, представляющим собой, равно как и Кузнецкий Алатау, северные отроги Алтайского хребта. С южной стороны бассейн оконтурен предгорьями Горной Шории (Горно-шорское поднятие отрогов Алтая), на севере Кузнецкая котловина окаймляется невысокой грядой, постепенно сливающейся далее в том же направлении с Западно-Сибирской низменностью.

В центральной части Кузбасса выступают Караканские, Абинские, Салтымаковские и другие горы, достигающие высоты 900 м над уровнем моря. Абсолютная высота поверхности котловины колеблется в пределах 300-350 м, возрастая на юго-востоке до 500-600 м и понижаясь к северу до 150-240 м. Основная река – Томь, проложившая русло вдоль длинной оси бассейна. Кузбасс относится к числу крупнейших в мире. По разведанным запасам, добыче угля и запасам коксующихся углей он первый в России. Ежегодно из недр здесь извлекается более 250 млн т угля. Кузбасс характеризуется очень высокой, почти уникальной углеплотностью (количеством угля на один квадратный километр угленосной площади).

Балансовые запасы угля в Кузбассе категорий А + В + С₁ составляют 57 млрд т (данные на начало 2000-х годов). Запасы коксующихся углей составляют 30,7% от всех запасов страны. На долю Кузбасса приходится более половины добычи каменных углей в России, более 70% добычи всех коксующихся углей, а по целой группе марок особо ценных коксующихся углей все 100%. Кондиционные ресурсы углей до глубины 1800 м оцениваются как более 500 млрд т, в том числе прогнозные – 408 млрд т. Наиболее крупными запасами угля обладают Ленинский, Томусинский, Ерунаковский, Прокопьевско-Киселёвский, Кемеровский, Терсинский и Мрасский геологопромышленные угленосные районы.

Под угленосными районами понимается совокупность угольных месторождений, как правило, разобщенных в результате тектонических или эрозионных процессов и приуроченных к какому-либо административному району [12].

Угольные пласти абсолютного большинства месторождений Кузбасса обладают высокой газоносностью (до 30-35 м³ на одну тонну угля). Основная часть газа угольных пластов – метан (80-98%). Его ресурсы до глубины 1800 м оцениваются в 13 трлн м³. На Талдинской площади Ерунаковского района по первой пилотной скважине глубиной 1340 м плотность прогнозных ресурсов метана в продуктивных группах угольных пластов изменяется от 200 до 400 млн. м³/км². Газоносность угольных пластов изменяется от 10-15 м³ на тонну угля на глубинах 400-500 м до 20-25 м³ на глубинах 800-1200 м. По другой скважине Ерунаковского района глубиной 1355 м суммарная плотность прогнозных ресурсов метана в угольных пластах составила 3,3 млрд м³/км², а в продуктивных группах угольных пластов она колеблется от 300 до 1000 млн м³/км². По существу, Кузбасс является газоугольным бассейном.

Основные черты геологического строения. Стратиграфия, угленосность, метаморфизм углей

Кузнецкий каменноугольный бассейн в составе одноименной геосинклинальной осадочной угленосной геологической формации выполнен метаморфизованными складчатыми осадочными породами девонской, карбоновой и пермской систем. Они перекрываются местами также осадочными угленосными породами, входящими в состав платформенного чехла [24].

Угленосные осадочные породы Кузбасса подстилаются рифейско-нижнепалеозойскими. В частности, кембрийские и силурийские образования широко развиты в Салаирском кряже и Кузнецком Алатау. Они представлены сильно метаморфизованными мощными слоями известняков, конгломератов, песчаников, глинистых сланцев, а также прорывающими их изверженными породами.

Девонская система представлена тремя отделами: на восточном и юго-восточном бортах бассейна, близ Кузнецкого Алатау и Горной Шории, – преимущественно континентальными, частично морскими пестроцветными вулканогенно-осадочными толщами, а на западе, вдоль границ с Колывань-Томской зоной и Салаиром, – в основном морскими карбонатно-терригенными отложениями, местами с вулканитами. Мощность девонских отложений от 115 до 4,5 км. На подстилающих образованиях они почти повсеместно (исключая восточный Салаир) залегают со значительным, местами до 100 млн лет, стратиграфическим несогласием [24].



Девонские отложения образовались преимущественно в условиях открытого моря и сложены комплексом известняков, богатых фауной, переслаивающихся с пестроцветными туфогенными песчаниками, глинистыми сланцами и конгломератами. Мощность морских отложений нижнего и среднего девона в районе Салаира – 6000 м. По северо-восточной окраине Кузбасса отложения нижнего и среднего девона представлены мелководными и лагунно-континентальными фациями с очень невыдержаными по составу слоями пород общей мощностью 450-1000 м. Среди красноцветных глинистых пород, песчаников и конгломератов встречаются мощные слои горючих сланцев, а также пласти барзасских каменных углей – листоватых липтобиолитов, сложенных остатками девонских псилофитов (высших растений) и характеризующихся высоким выходом смол. Общая угленосность девонских отложений 1,1% (отношение мощности углей к суммарной мощности отложений). В Кузнецком Алатау и особенно в Горной Шории нижне- и среднедевонские отложения местами пронизаны магматическими породами; верхнедевонские протягиваются широкой полосой только по северо-западной и частично восточной окраинам Кузбасса. К югу тип осадков меняется на прибрежно-морской и континентальный.

Морской нижний карбон. Преимущественно морские сероцветные карбонатно-терригенные отложения (мощность до 1000 м), подстилающие верхнепалеозойскую угленосную формацию Кузбасса, выделяются в мозжухинскую серию, подразделяемую (снизу вверх) на абаевскую, тайдонскую, фоминскую, подъяковскую и верхнетомскую свиты. По возрасту мозжухинская серия соответствует в основном турнейскому и визейскому ярусам нижнего карбона. Нижняя часть этой серии отнесена к фаменскому ярусу верхнего девона [24].

Карбоновые (турнейские и визейские нижнего карбона) морские отложения протягиваются узкой полосой почти по всем окраинам бассейна, залегая на отложениях верхнего, иногда среднего девона. Турнейские и визейские образования карбона известняковые, песчано-глинистые с кварцитовидными песчаниками (мощность 800-1000 м) [25]. Выше залегает толща намюрского яруса нижнего отдела карбоновой системы (песчанистые сланцы мощностью от 100-200 до 600 м).

Угленосные отложения верхнего палеозоя Кузбасса представлены континентальными и прибрежно-морскими осадками суммарной мощностью до 4500-5500 м и не содержат хорошо охарактеризованных фаунистических горизонтов. Поэтому даже основные возрастные границы между нижним и верхним карбоном, между карбоном и пермью достаточно не установлены и являются условными [12].

В Кузбассе угленакопление началось в девоне и представлено Барзасским месторождением в 50 км северо-восточнее Кемерово. Угленосность этого месторождения выражена несколькими пластами углей мощностью 0,4-3,6 м. Рабочим является один пласт. Его мощность в среднем 2 м, протяжённость по простирианию 10 км, по падению – 2 км. Барзасские угли относятся к липтобиолитам. Широкое распространение слоистости углей (не менее чем на 2 км вглубь от береговой линии) указывает на то, что их образование, по-видимому, происходило на дне лагуны, возможно, связанной с морем. Угли отличаются высоким выходом летучих веществ (до 60-80%) и повышенным содержанием водорода (8-10%). Удельная теплота сгорания достигает 9500 ккал/кг. Запасы Барзасского месторождения – 1,5 млрд т.

С девонскими отложениями связаны также горючие сланцы. Угли и горючие сланцы находятся главным образом в эмском ярусе нижнего девона. Незначительные проявления твёрдых каустобиолитов известны в отложениях франского яруса верхнего девона. Горючие сланцы Барзасского района находятся преимущественно в терригенной толще [24].

Угленосные отложения Кузбасса от нижнего карбона до юры включительно разделены на три серии: балахонскую ($C_{2-3}-P_1$), кольчугинскую (P_2) верхнепалеозойского возраста и тарбаганскую (J_{1-3}) мезозойского [12, 20]. Так как некоторые осадки распространены не повсеместно, то, например, в центральной части бассейна максимальная суммарная мощность отложений составляет около 6000-7000 м; наблюдается уменьшение мощности свит и их угленосности в восточной части бассейна [25].

Балахонскую и кольчугинскую серии подразделяют соответственно на подсерии и свиты [24].



Балахонская серия охватывает нижнюю часть разреза верхнепалеозойского комплекса. По возрасту соответствует серпуховскому ярусу; среднему и верхнему отделам карбона и нижнему отделу пермской системы. В разрезах, тяготеющих к современной и палеотектонической оси бассейна (примерно по линии Кемерово – Новокузнецк), балахонская серия тесно связана с подстилающим морским нижним карбоном, но в Приалатаусской и Присалаирской зонах эти осадочные серии обычно разделяются седиментационным перерывом. Балахонская серия составляет крупный тектоноседиментационный цикл мощностью до 2300 м [24]. Она представляет собой циклическое переслаивание преимущественно полимиктовых песчаников, алевролитов, аргиллитов и угольных пластов. Происходило накопление отдельных групп пород морского мелководья, отмелей, баров, подводных дельт, озёр и болот [26].

Кольчугинская серия (P₂). Это стратиграфическое подразделение охватывает верхнюю часть разреза палеозойского угленосного комплекса и примерно соответствует верхнему отделу пермской системы. В историко-геологическом аспекте кольчугинская серия, подобно балахонской, представляет собой крупный цикл осадко- и угленакопления мощностью до 6000 м. Удельное участие в этих двух сериях песчаников составляет около 50% общей мощности отложений, алевролитов – 40%, аргиллитов – 3%, углей – 6%, других пород – 1% [22]. Характерной особенностью пород Кузнецкого бассейна является значительное содержание в них (от 4 до 20%) углистого материала в виде тонких прослойков, плёночных налётов и точечных скоплений.

Углевмещающие породы преимущественно тонкослоистые, преобладающее расстояние между слоями – 10-50 мм. Суммарная мощность угленосных отложений карбона и перми балахонской и кольчугинской серий ≈ 8 км. В них 340 пластов и пропластков угля мощностью от 0,05 до 20 м и более. Свыше 100 пластов имеют мощность более 0,7-1 м. Суммарная мощность угольных пластов 380-400 м, из них 126 – кондиционной мощности. В тонких пластах (до 1,3 м) сосредоточено около 19% запасов угля, в средних (1,3-3,5 м) – 43%, в мощных (3,5-10 м) и в весьма мощных (до 20-30 м) – 38%.

По петрографическому составу гумусовые угли Кузбасса разделяют на несколько групп в зависимости от содержания в них блестящих разностей. Наиболее разнообразен петрографический состав углей балахонской серии (C₂₋₃-P₁), имеющих полосчатое строение с типичным для всех пластов чередованием блестящего (витрена), полублестящего и полуматового углей.

Образование раннепермских углей происходило в основном за счёт древесины кордаитов – древесных растений с мощными стволами и раскидистой кроной ветвей, напоминающих современные хвойные. При этом образование углей протекало в ряде случаев в условиях слабообводнённых лесных торфяников. Это приводило к интенсивной фузенизации растительных тканей. Содержание инертинита в этих углях нередко достигает 50-60% [18].

Угольные пласти кольчугинской серии (P₂) значительно более однородны и в основном относятся к блестящим углям. Они существенно отличаются по исходному материалу и условиям накопления от раннепермских. В них преобладает витринит, образовавшийся из стеблевых и, что особенно характерно, лиственных тканей [27]. Содержание инертинита в позднепермских углях обычно не превышает 5-15%, редко возрастает до 25%, а лейптина – не более 5%. При этом наиболее распространённым лейптиновым компонентом является кутинит (микрокомпонент углей, образовавшийся из кутикулы – тонкой бесструктурной плёнки, покрывающей эпидерму листьев и молодых стеблей) [18].

В целом в Кузбассе, кроме витрена и фузена, выделяются ещё четыре основных литотипа угля: блестящий (кларен), полублестящий дюрокларен (дюренено-кларен), полуматовый клародюрен (кларено-дюрен) и матовый дюрен. Главным признаком для выделения этих литотипов является содержание в них витринита и фузинита [27, 28]. В отложениях балахонской серии преобладают кларено-дюренены, а в кольчугинской – кларены и дюренено-кларен. Вещественный состав углей балахонской и кольчугинской серий резко отличен: в балахонской серии угли содержат много инертинита (до 50%), а в углях кольчугинской серии резко преобладает витринит – до 90% [29].



Петрографический состав углей Кузбасса одних и тех же пластов в пределах отдельных районов изменяется незначительно. В ряде случаев на десятки километров по простиранию пластов в углях сохраняется соотношение микрокомпонентов и распределение литотипов.

Балахонская серия заключает 60 рабочих пластов угля мощностью 1-10 м и суммарной мощностью около 120 м, кольчугинская серия – до 65 пластов мощностью 1-24 м и общей мощностью почти 200 м (табл. 1). Мощность отдельных пластов достигает 30 м. Строение большинства пластов простое, реже сложное и очень сложное. Пласти обычно выдержаны по площади. Наибольшей угленосностью обладают Ерунаковский, Ленинский, Бачатский, Мрасский, Томусинский и Прокопьевско-Киселевский районы.

Особенности изменения угленосности в геологическом разрезе названных серий отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные черты угленосности балахонской и кольчугинской серий Кузбасса
Table 1 – Main features of coal bearing capacity of Balakhonskaya and Kolchuginskaya series in Kuzbass

Свита	Особенности угленосности и ее изменения в пределах бассейна	Количество пластов	Общая мощность угля, м	Угленосность, %
Кольчугинская серия				
Тайлаганская	В центральной части бассейна преобладают мощные пласти, относительно равномерно распределенные по разрезу, к периферийным частям обычно расщепляются на тонкие, а в юго-западном направлении выклиниваются	7-21	14-114	1,8-13,7
Грамотеинская	Среднемощные пласти, переходящие вверх по разрезу в мощные. Тип угленосности близок к тайлаганскому	8-14	8-53	1,5-10,8
Ленинская	Многочисленные, преимущественно тонкие и среднемощные пласти	1-15	5-31	0,7-5,3
Ускатская	На севере без углей или одиночные тонкие пласти. В южной части преимущественно тонкие, реже среднемощные	1-14	1-26	0,3-7,8
Казанково-Маркинская	На севере без углей, многочисленные, преимущественно тонкие пласти в центральной части; тонкие, редко среднемощные пласти угля на юге и юго-западе и по восточной периферии бассейна	0-13	0-19	0-1,5
Балахонская серия				
Усятская	На севере – прослои, а на юге со среднемощными и мощными пластами	0-8	0-24	0-22
Кемеровская	Повсеместно угленосная с мощными и среднемощными пластами	6-9	15-51	6-40,6
Ишановская	Неустойчивая угленосность в различных частях бассейна. Мощность пластов изменяется из-за расщепления и выклинивания	3-11	8-27	1,6-6,3
Промежуточная	Изменчивая угленосность. Тонкие и среднемощные пласти	1-9	2-23	1,3-5,6
Алыкаевская	Наибольшая угленосность со среднемощными пластами на северо-	1-11	1-21	0,3-5,1



Свита	Особенности угленосности и ее изменения в пределах бассейна	Количество пластов	Общая мощность угля, м	Угленосность, %
	восточном и юго-западном крыльях бассейна			
Мазуровская	Угленосность ограничена. Одиночные преимущественно тонкие пласти с многочисленными прослойками	0-5	0-7	0-2,8

В целом для балахонской и кольчугинской серий характерны следующие основные закономерности изменения угленосности. Суммарная мощность угля, средняя мощность пластов и угленосность возрастают снизу вверх по разрезам серий, достигают максимума в кемеровской, усятской свитах для балахонской серии и в грамотеинской, тайлаганской свитах для кольчугинской. В самых верхних горизонтах серий названные характеристики угленосности уменьшаются до нулевых значений. С максимумом угленосности связаны сравнительно простое строение угольных пластов и более сложный вещественный состав с повышенным содержанием в углях фузенизированных компонентов.

Угленосность отложений, мощность угольных пластов уменьшаются в генетическом ряду фаций: аллювиальные – аллювиально-озёрные (переходные) – озёрные (бассейновые). В соответствии с этой закономерностью изменяются некоторые основные параметры качества углей. В частности, в сторону бассейновых фаций повышается степень восстановленности углей и снижается количество фузенизированных компонентов.

Балахонская серия ($C_{2-3}-P_1$) имеет максимальную ширину зоны углеобразования. Общая угленосность отложений 4,5%. Резко уменьшаются мощность осадков серии и угленосность к восточной окраине бассейна, Кольчугинская серия (P_2), равно как и балахонская, представляет собой крупнейший этап угленакопления в бассейне. Средняя угленосность 2,5%.

Практически все угли Кузбасса гумусовые и имеют автохтонную природу, то есть образовались из наземной растительности без её переноса на какое-либо значительное расстояние. Выявлены лишь отдельные признаки существования водорослей. Так, в некоторых пластиах Беловского, Плотниковского районов встречаются прослои гумусово-сапропелевых углей [30, 31].

Континентальные отложения мезозоя представлены породами триаса, юры и мела.

Мальцевская (абинская) серия (T). Мощность триасовых стратифицированных образований – до 1475 м. Они распространены преимущественно в центральной и восточной частях Кузбасса, в пределах Салтымаковского хребта, Койлотских, Абинских и Караканских гор, где принимают участие в строении синклиналей. Её отложения без видимого несогласия залегают на подстилающих породах пермского возраста. Отложения мальцевской (абинской) серии по палеонтологическим данным соответствуют нижнему и части среднего отделов триасовой системы [24]. Её отложения представлены безугольными зеленовато-серыми, тёмно-серыми алевролитами с тонкими прослойками мелкозернистых песчаников. Более высокие горизонты серии сложены песчаниками и алевролитами с большим количеством туфогенного материала. В породах этой серии имеются пластовые залежи базальтов.

Тарбаганская юрская (J₁₋₂) серия мезозоя завершает отложения продуктивной толщи Кузнецкого бассейна и является её верхним геолого-структурным этажом. Её характеризуют континентальные терригенные грубозернистые отложения преимущественно песчано-конгломератового состава, в меньшей мере алевролиты и аргиллиты. Общая мощность осадочных пород юрской системы – до 1700 м [24].

Пласти бурого угля встречаются в средней и верхней частях разреза [26, 30, 31]. Тарбаганская серия является послеинверсионной, послескладчатой в Кузбассе. Она образована в условиях платформенной синеклизы [32], залегает трансгрессивно, с резким угловым несогласием на более древних отложениях Кузбасса (от мальцевской до балахонской серий). Её породы развиты в глубоких прогибах Кузнецкой котловины на юге и в центральной части



бассейна, а также местами в более мелких синклиналях южной половины Кузбасса и на севере, в Завьяловском районе.

На юге мощность пород серии 500 м, более половины её разреза сложено конгломератами, переслаивающимися с песчаниками, а в нижней части имеются линзовидные глинистые комплексы, включающие от 3 до 5 пластов угля сложного строения суммарной мощностью до 7-10 м.

В центральной части Кузбасса мощность пород тарбаганской серии достигает 700-800 м, разрез её составляют преимущественно песчаники, конгломераты почти полностью отсутствуют. Нижние горизонты представлены сравнительно хорошо выдержанной угленосной толщей мощностью около 150-200 м, сложенной глинистыми породами, включающими до 56 пластов угля. Из них от 5 до 14 – мощностью 0,9-4 м [33]. Отдельные пласты угля приурочены также к средней части разреза.

На крайнем севере Кузбасса, на границе с Западно-Сибирской низменностью, установлены юрские угленосные отложения мощностью около 250 м. Здесь выявлено до пяти пластов бурого угля, в том числе пласт мощностью до 30 м. Эти отложения перекрыты меловыми и третичными (палеоген-неогеновыми) песками, мощность которых превышает 100 м.

В юре завершился процесс угленакопления в Кузбассе. Образовались наименее метаморфизованные бурые угли тарбаганской серии. Они в основном гумусовые, полублестящие (клареновые), состоят преимущественно из витринита, фюзинита, суберинита с участием спор, кутикулы, водорослей и смоляных тел. По степени углефикации они относятся к зрелым бурым, длиннопламенным, газовым. Для них характерны повышенная битуминозность, высокий выход летучих веществ, большая теплота сгорания и относительно высокий выход смолы при полукоксации (до 15-18%) [24].

Покровные неугленосные отложения меловой системы наиболее распространены на севере Кузбасса в Анжерском угленосном районе на восточной его окраине в Туганском прогибе. Они представлены в основном красноцветными глинами и глинистыми слабосцементированными алевролитами.

Меловые отложения также имеют место на западе Кузнецкого бассейна в Присалаирской впадине и на юге – в Кондомском прогибе. Их слагают континентальные озерные и речные отложения озёрной пестроцветной формации, представленные красно-бурыми и пестроцветными алевролитами и каолиновыми глинами с прослойками серых песчаников. Общая мощность отложений мела достигает 115 м. Эти породы находятся в начальной стадии диагенеза [34].

Имеют место также третичные (палеогеновые и неогеновые) отложения. Все они сохранились лишь в виде небольших изолированных участков, преимущественно в присалаирской и северной частях бассейна, залегают на коре выветривания угленосных свит и имеют мощность первые десятки метров (озёрно-аллювиальные отложения).

Позднейшими отложениями являются четвертичные элювиальнонеделювиальные суглинки водоразделов и склонов, а также аллювиальные образования речных террас [32].

В целом осадочные отложения Кузнецкого бассейна являются полифациальными, причём комплекс фаций неоднократно повторяется в известной последовательности (цикличность осадков). Речные отложения, играя большую роль в одних свитах или в частях свит, сокращаются вплоть до нуля в других. Если некоторые отрезки разреза можно принять как отложившиеся в речных условиях от русла до поймы, зарастающей торфяником, то другие никак не укладываются в эту схему. В большинстве случаев мы должны видеть в цикле отложений переход от речных условий к обстановке обширного и, по-видимому, опреснённого водоёма [35].

Фациальные особенности накопления угленосных отложений

Физико-географические условия, характер и интенсивность тектонических движений наряду с фациальной обстановкой осадконакопления во многом определяют состав и текстурно-структурные особенности горных пород. Исследованиями различных авторов установлено, что к моменту накопления отложений балахонской серии морские условия на территории Кузбасса сменились на полуморские в нижнебалахонское время, а затем и пресноводные лагунно-континентальные. Физико-географические условия балахонского времени характеризовались



увлажнённым, тёплым климатом, а тектонические – развитием неравномерных тектонических движений как на территории бассейна, так и в пределах окружающих горных сооружений. Последнее обусловило значительные различия в фациальной обстановке осадконакопления как по площади бассейна, так и во времени [26].

В раннебалахонское время в северной и центральной частях бассейна господствующими были фации: мелководья опреснённого залива, песчаных отмелей и барров, подводных дельт и застайных озёр. Вблизи областей сноса, которыми являлись Кузнецкий Алатау и Горная Шория, шло накопление преимущественно осадков фаций подводных дельт.

В верхнебалахонское время происходит опреснение бассейна, а в кемеровское время последний покидает пределы Кузнецкой впадины, которая превращается в аккумулятивную равнину. В пределах областей сноса в это время наблюдаются неравномерные тектонические движения, приводящие то к усилению, то к ослаблению эрозионной деятельности, а следовательно, к смене фациальной обстановки осадконакопления. Тёплый и влажный климат этого времени наряду с ослаблением тектонических движений в отдельные периоды приводит к широкому развитию озёрных, озёрно-болотных, болотных фаций и торфяников, послуживших исходным материалом для образования углей. Наиболее благоприятные условия для этого наблюдались в кемеровское время, характеризующееся широким развитием озёрно-болотных фаций и наибольшей угленасыщенностью; менее благоприятные отмечались в промежуточное и ишановское время. В целом для кемеровского и усятского времени характерно широкое развитие фаций открытых и застайных озёр, болот в Томь-Усинском, Кондомском, Бунгуро-Чумышском районах, а на территории Прокопьевско-Киселёвского, Бачатского и Кемеровского районов были развиты, кроме того, фации подводных дельт. Отмеченная фациальная обстановка в верхнебалахонское время благоприятствовала накоплению обломочных и глинистых осадков, послуживших в дальнейшем исходным материалом для образования преимущественно песчаников и алевролитов, полимиктовых, различных по текстурным и структурным особенностям. Наряду с этим в застайных озёрах и болотных фациях шло угленакопление, а также образование глинистых и углисто-глинистых осадков, явившихся исходным продуктом для формирования углей, аргиллитов, углистых аргиллитов. В составе обломочной части пород балахонской серии преобладают кварц (от 10-15 до 30-40%), полевые шпаты (10-20%), эфузивы (7-15%), микрокристаллические породы (5-10%). Цементом обычно служит глинистый или карбонатный материал. В отдельных образцах отмечается повышенное содержание обломков осадочных пород. Степень окатанности обломочных зёрен различная. Отмеченное убедительно свидетельствует о том, что областью сноса исходного материала на протяжении всего балахонского времени служили Кузнецкий Алатау, Горная Шория и, возможно, Салаир.

Таким образом, формирование отложений балахонской серии протекало в условиях увлажнённого теплового климата и сопровождалось неравномерными тектоническими движениями как на территории самого бассейна, так и в пределах окружающих горных сооружений. Для острогского и нижнебалахонского времени характерно широкое развитие солоновато-водного бассейна, который уходит за пределы Кузбасса к началу кемеровского времени. Одновременно на территории бассейна устанавливаются типично-континентальные условия. Неравномерные тектонические колебательные движения обусловливают различную интенсивность разрушения горных пород областей сноса и неоднократно способствуют смене фациальной обстановки осадконакопления. Преимущественным развитием в раннебалахонское время пользовались фации мелководья опреснённого залива, песчаных отмелей и баров, подводных дельт и застайных озёр. В верхнебалахонское время в связи с опреснением бассейна происходит смена фациальной обстановки и превращение впадины в аккумулятивную равнину с широким развитием фаций открытых и застайных озёр, болот и весьма благоприятными условиями для угленакопления. Отмеченные палеоклиматические условия и особенности тектонического развития создали фациальную обстановку для накопления таких осадочных образований, которые послужили в дальнейшем исходным материалом для формирования следующих литологических типов пород: песчаников, алевролитов, аргиллитов, углей, углистых пород и конгломератов, отличающихся по текстурно-структурным особенностям, минералогическому составу и физико-механическим свойствам.



Условия осадконакопления отложений кольчугинской серии были типично континентальными, так как уже в верхнебалахонское время происходило превращение впадины в аккумулятивную равнину с широким развитием фаций открытых и застойных озёр. В связи с этим в кольчугинской серии преобладают отложения озёрные или же аллювиальные, которые формировались в пределах обширных аккумулятивных равнин. Решающее влияние на формирование отложений кольчугинской серии оказали физико-географические условия и характер эпейрогенных движений, способствовавших накоплению безугольных отложений кузнецкой и угленосных отложений ильинской и ерунаковской подсерий. В ильинское время бассейн представлял межгорную равнину, а накопление осадков происходило в прибрежно-бассейновых, озёрных, озёрно-болотных и болотных условиях. В ерунаковское время происходит дальнейшее расширение и перемещение в центральную часть Кузбасса областей угленакопления. Породы ерунаковской свиты представлены преимущественно кварцем (10-45%), эфузивами (10-15%), микрокристаллическими породами (10-15%), карбонатами (10-25%), обломками осадочных пород (до 30%). Характер эпейрогенных движений, приведших в отдельные периоды к интенсивному разрушению карбонатных осадков балахонской серии, в значительной мере способствовал образованию в толще угленосных отложений ерунаковской свиты пластов и линз глинисто-карбонатных пород и даже мергелей.

В начале мезозойского времени продолжались нисходящие движения области осадконакопления. Однако в отдельные периоды последние сменялись восходящими движениями, что приводило к интенсивному разрушению горных пород как в области сноса, так и в области более древних отложений карбона и перми на территории бассейна. Интенсивная предюрская эрозионная деятельность способствовала размыву многокилометровой толщи триаса и палеозоя. Накопление осадков в юрское время по периферии бассейна чаще всего происходило в пролювиальных фациях подножий конусов выноса, реже – в аллювиальных фациях. Для центральной части бассейна были характерны озёрные и озёрно-болотные фации. Отмеченное разнообразие фациальной обстановки осадконакопления обусловило значительную неоднородность осадков, из которых впоследствии формировались породы с широким диапазоном различий в составе, текстурных и структурных особенностях: от конгломератов, песчаников и алевролитов до аргиллитов, бурых углей и углистых пород. В меловое время происходит смена нисходящих движений на восходящие, что приводит к образованию коры выветривания и интенсивному размыву толщи горных пород.

Все вышеизложенное наглядно показывает, что физико-географические условия, тектонический режим, характер и интенсивность эпейрогенных движений, фациальная обстановка в периоды накопления отложений балахонской, кольчугинской и тарбаганской серий на территории Кузбасса существенно различались. Это обусловило различия в составе и текстурно-структурных особенностях горных пород.

В Кузнецком бассейне наблюдается непрерывный метаморфический ряд углей от бурых (тарбаганская серия юры) до тонких и антрацитов в палеозойских углях. Девонский липтобиолитовый уголь (барзасский липтобиолит) по метаморфизму соответствует стадии Д. Угли кольчугинской серии представлены в основном первой, второй и третьей стадиями метаморфизма. Отражательная способность Ro витринита в них изменяется от 0,53 до 1,2%. Метаморфизм углей балахонской серии изменяется в широких пределах – от первой до восьмой стадии. При этом отражательная способность Ro витринита возрастает от 0,64 до 3,5%. Расположение зон метаморфизма углей балахонской серии на площади контролируется палеотектоническим планом бассейна. Зоны имеют близкую к направлению длинной оси прогиба ориентацию. Метаморфизм нарастает с северо-востока на юго-запад. Площадная зональность метаморфизма угля кольчугинской серии подчиняется тем же закономерностям.

В балахонской серии степень метаморфизма углей повышается по падению пластов, тогда как в кольчугинской этого не наблюдается.

Наиболее сильно метаморфизованные угли Кузбасса (наименьший выход летучих 5-6%) приурочены к отложениям балахонской серии. Угли кольчугинской серии почти на всей площади бассейна характеризуются выходом летучих веществ более 32%.



Степень метаморфизма юрских углей конгломератовой свиты тарбаганской серии наиболее низкая. Эти угли принадлежат к бурым и переходным от бурых к каменным.

Более сложный характер метаморфизма углей наблюдается на площади бассейна. Обычно в одноименных пластах метаморфизм возрастает от периферии к центру первичного прогиба [36]. Относительно слабо метаморфизованные угли залегают по периферии бассейна в приалатаусской и присалаирской зонах. Общая закономерность Кузбасса – увеличение степени метаморфизма пластов угля к центральной части бассейна. Максимальный их метаморфизм наблюдается по южному замыканию синклиниория и на севере. Высокий метаморфизм углей по северной границе подтверждает глубокое погружение в этом направлении. В зонах, тяготеющих к осевой части синклиниория, развиты тощие угли и антрациты с выходом летучих веществ от 15 до 5%. По мере приближения к окраинам бассейна располагаются менее метаморфизованные угли до длиннопламенных включительно.

Закономерностью Кузбасса также следует считать увеличение степени метаморфизма пластов угля в стратиграфическом разрезе – от верхних пластов к нижним. Выход летучих веществ в углях в стратиграфическом разрезе изменяется от 0,5 до 3% на 100 м разреза, возрастая на средних стадиях метаморфизма. Степень метаморфизма возрастает в замках крупных синклиналей. Это связано с погружением их на большие глубины в первичных складчатых структурах.

В районах проявления магматической деятельности (дайки и силлы изверженных пород) наблюдается контактный метаморфизм с развитием тощих углей и антрацита. Это касается юго-восточных районов бассейна – Томь-Усинского, Терсинского, Мрасского. Здесь контактный метаморфизм углей проявился вблизи даек и силлов базальтоидов, в отдельных случаях вплоть до образования кокса. В юго-восточной части Кузбасса выявлено два крупных силла кварцевых диоритов – Сыркашевский и Майзасский. В междуречье Мрассу от Сыркашевского силла отвечается Кийзасская дайка мощностью 25-42 м и протяжённостью свыше 8 км. Зона активного влияния силла в висячем боку составляет в среднем 250 м, в лежачем – 140 м. В зоне контактного метаморфизма углей выделены подзоны суперантрацитов, антрацитов, полуантрацитов и тощих углей [33].

Помимо контактного метаморфизма углей с периодом становления дайкового комплекса, вероятно, связано и проявление гидротермальной деятельности в угленосных отложениях юго-восточной части Кузбасса. Здесь установлена прожилково-вкрашенная карбонатная, кварцевая и сульфидная минерализация. В отдельных случаях выявлены гидротермально-метасоматические образования типа аргиллизитов. Процесс эпигенетических изменений наложен как на углевмещающие породы, угли, так и на дайковый комплекс. Золотоносные аргиллизиты имеются в Бачатском районе на западе Кузбасса. При этом аргиллизация проявлена как в обрамлении бассейна, так и непосредственно в угленосных отложениях (песчаниках, алевролитах и углях). Возраст этих образований послепермский, по всей видимости, мезозойский [33].

Основные закономерности изменения метаморфизма углей Кузбасса в разрезе и на площади под влиянием регионального метаморфизма: возрастание метаморфизма со стратиграфической глубиной в каждой отдельной точке бассейна, возрастание метаморфизма в каждом отдельно взятом пласте вместе с увеличением мощностей угленосных свит, возрастание метаморфизма в одном и том же пласте вместе с увеличением современной глубины залегания, возрастание метаморфизма в областях с повышенным современным геотермическим градиентом [25, 37].

Тектоника

В региональном тектоническом плане Кузнецкий позднепалеозойский угольный бассейн в составе одноименной угленосной геологической формации представляет собой один из краевых прогибов южного фланга Сибирской платформы вдоль северо-западной границы Алтае-Саянской геосинклинально-складчатой области [38] (рис. 1).

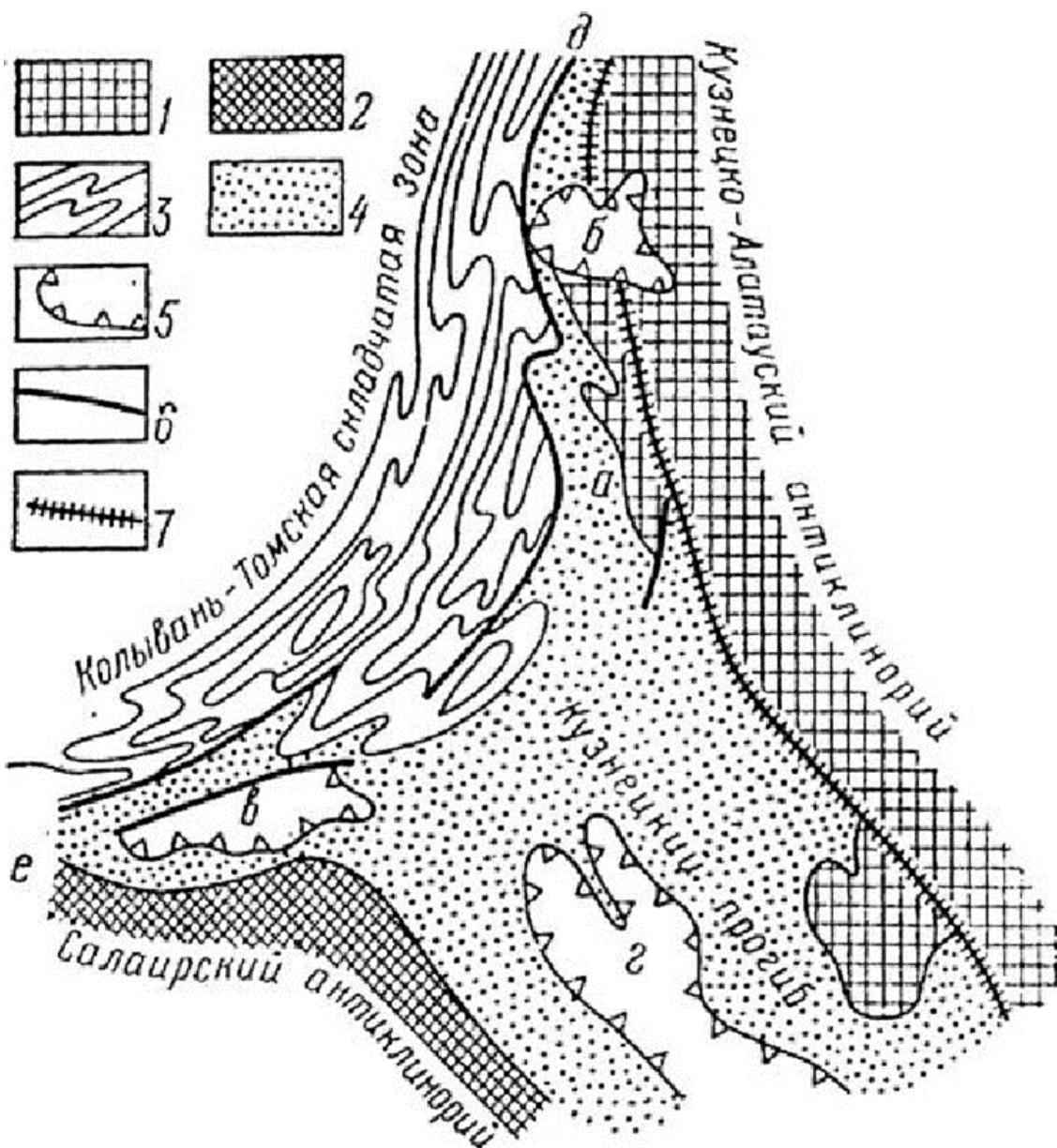


Рисунок 1 – Тектоническая схема северной части Кузнецкого прогиба и сопредельных территорий: 1 – область каледонской (преимущественно раннекаледонской) стабилизации (а – Яйская глыба); 2 – область раннегерцинской стабилизации; 3 – область позднегерцинской стабилизации; 4 – передовой (краевой) прогиб герцинских складчатых сооружений; 5 – мезозойские впадины: б – Улановская, в – Доронинская, г – Центральная мульда Кузнецкого бассейна; В – основные надвиги: д – Томский, е – Салаирский; 7 – глубинный разлом

Figure 1 – Tectonic scheme of the northern part of the Kuznetsk Trough and adjacent territories: 1 – area of Caledonian (mainly Early Caledonian) stabilization (a – Yaisky block); 2 – area of Early Hercynian stabilization; 3 – area of Late Hercynian stabilization; 4 – advanced (edge) trough of Hercynian fold structures; 5 – Mesozoic troughs: b – Ulanovskaya, c – Doroninskaya, d – Central Mold of the Kuznetsk Basin; C – main thrusts: e – Tomsky, f – Salairsky; 7 – deep faults

Вместе с тем это и девонский межгорный субмеридиональный поперечный геосинклинальный (миогеосинклинальный) унаследованный прогиб – синклиниорий, образовавшийся на месте алтае-саянских каледонид (каледонской складчатой области). Таким образом, отложения Кузбасса несут на себе черты как геосинклинальных, так и платформенных образований [39, 40]. Кузнецкий синклиниорий расположен между более древними складчательными



сооружениями Салаирского кряжа с юго-запада и Кузнецкого Алатау с северо-востока. Кузнецкая угленосная геологическая формация, равно как и вмещающий ее межгорный геосинклинальный прогиб, приурочена к крупным длительно развивавшимся близмеридианальным разломам складчатого каледонского фундамента [41]. Кузнецкий межгорный прогиб (бассейн, синклиниорий) «врезан» между вытянутыми в близмеридианальном направлении более древними складчатыми системами эвгеосинклинального типа Салаира и Кузнецкого Алатау [40].

Выходы угленосных свит верхнего палеозоя Кузбасса расположены почти концентрически – от более древних (балахонская серия) по периферии к более молодым (кольчугинская серия) к центру и образуют в общем плане крупный синклиниорий неправильной (близкой к четырёхугольной) формы. Он вытянут с юго-востока на северо-запад, заложен в среднем и получил развитие в позднем палеозое [26, 33]. К настоящему времени Кузнецкий бассейн рассматривается в геологическом отношении как межгорная впадина Алтае-Саянской горно-складчатой области. Пермо-карбоновая угленосная формация Кузнецкого бассейна залегает в геосинклинальном комплексе структур Алтае-Саянской герцинской складчатости [42].

Геологический разрез Кузбасса от девона (405-350 млн лет) палеозоя венчается мезокайнозойскими отложениями (350-0 млн лет).

Кузбасс в конце палеозоя (в перми) был превращён из геосинклинальной области (точнее, синклиниория) в герцинскую геосинклинально-складчатую область. Она обрамляется с северо-востока и юга, то есть со стороны Кузнецкого Алатау и Горной Шории зоной более древней кембрийской (салаирской) складчатости (возраста более 450 млн лет) или, иначе говоря, зоной ранней стабилизации каледонид, сложенной существенно геосинклинальными складчатыми карбонатными формациями рифея и эфузивно-осадочными формациями нижнего кембрия, с кембрийскими гипербазитовыми, габбро-перидотитовыми и габбро-плагиогранитными интрузивными комплексами.

С юго-запада территория Кузбасса по крупному тектоническому разлому – Тырганскому надвигу – примыкает к Салаирскому кряжу, обрамляясь зоной раннегерцинской (D_3 -C) складчатости и длительного развития, сложенной геосинклинальными формациями кембрия, ордовика и силура, а также геосинклинальными вулканогенными формациями девона. Они прорваны каледонскими и герцинскими (позднепалеозойскими) гранитными интрузиями.

С северо-запада Кузбасс по крупному тектоническому разрыву – Томскому надвигу – обрамляется Колывань-Томской зоной герцинской складчатости. Её породы сложены существенно девонскими вулканогенно-осадочными, нижнекарбоновыми флишоидными геосинклинальными (точнее, геосинклинально-складчатыми) формациями, прорванными герцинскими позднего палеозоя существенно гранитными интрузиями.

В пределах Кузнецкого угольного бассейна угленосные отложения карбона и перми мощностью 4 км (на востоке) и 7 км (на западе) слагают асимметричную близмеридиональную синклинальную структуру, строение которой усложняется в западном направлении [20], она осложнена более мелкой складчатостью второго и более низких порядков.

Платформенные, в том числе угленосные, отложения (тарбаганская серия) Кузбасса приурочены к отрицательным структурам, наиболее крупными из которых являются Доронинская, Чусовитино-Бунгарапская и Тутуясско-Подобасская. В их пределах мезозойские отложения залегают обычно полого с углами падения $3-10^\circ$, разрывные нарушения, за исключением Доронинской впадины, не прослеживаются.

Таким образом, Кузбасс, находясь в пределах Саяно-Алтайской (Алтае-Саянской) полициклической (каледониды, герциниды) складчатой области с двумя геолого-структурными этажами – каледонским, герцинским, венчается платформенным геолого-структурным этажом (триасовые, юрские, меловые, четвертичные отложения).

В угленосной складчатой толще Кузбасса складки линейные, пологие; куполовидные поднятия, моноклинали, крутые складки, брахискладки и др. [26] (таблица 2).

Наиболее деформированы (дислоцированы) угленосные отложения в краевых частях Кузнецкого бассейна как со стороны Томь-Колыванской складчатой дуги, так и со стороны Салаира [38].



Таблица 2 – Ведущие структурные формы Кузбасса
Table 2 – Principal structural forms of Kuzbass

Ведущие структурные формы	Характеристики основных структурных форм	Примеры
Моноклиналы	Моноклиналы с выдержаными или плавно и закономерно меняющимися от пологих до наклонных, реже крутых углов падения без существенного проявления флексур и дополнительных складок. Разрывные нарушения немногочисленны	Бирюлинский и главный Западный моноклиналы
Пологие складки	Крупные складки с преимущественно пологим и наклонным залеганием крыльев, осложнённые волнистостью и одиночными дополнительными складками. Развиты пологие, часто пликатогенные крупные разрывы. Относительно многочисленные мелкие разрывные нарушения	Андреевская, Кедровско-Крохалевская, Ленинская, Байдаевская, Шелканская синклинали
Крутые складки	Крупные и средние складки и отдельные крылья с преимущественно крутым падением и умеренным развитием дополнительной складчатости, с разнообразными разрывами	Складки типа Прокопьевских синклиналей
Складчато-разрывные структуры	Сложные складчато-разрывные структуры средних и малых размеров, невыдержаных форм и ориентировки, с большим разнообразием многочисленных дополнительных складок и густой сетью разрывных нарушений	Структуры типа Бачатской и Бунгуро-Чумышской складок
Приразломные зоны	Зоны влияния крупноамплитудных разрывных нарушений с трудновыявляемыми формами, часто не поддающимися увязке	Зоны Томского, Тырганского надвигов, Афонино-Киселевского, Кольчегизского взбросов

В линейных напряжённых складках почти во всех пластах угля в результате послойных движений содержатся пачки перетёртого угля мощностью до 0,5-0,8 м. Располагаются они обычно в почве или в средней части пластов, приуроченных к kontaktам различных по физико-механическим свойствам пород и углей. Нередко они хорошо выдерживаются на больших расстояниях по падению и простирации пластов.

Послойные трещины разбивают пласт угля на отдельные пачки, перемещающиеся относительно друг друга. В результате нередко существенно изменяется мощность угольных пластов, в них образуются раздувы и пережимы. На участках пережимов уголь раздавливается, разваливается и местами переходит в порошкообразное состояние.

Пережимы и раздувы пластов угля особенно часто наблюдаются вдоль крупных продольных разрывов типа согласных взбросов, а также на участках развития дополнительных складок. Для пластов угля в тектонически напряжённых зонах характерно сложное строение. Как правило, уголь в пластах разделяется прослойками пород на несколько пачек с различными физико-механическими свойствами. Наряду с прочным углем в пластах выделяются пачки нарушенного угля с интенсивно развитой трещиноватостью. Именно к таким пачкам приурочены внезапные выбросы. Их полости ограничиваются мощностью этих пачек и практически не распространяются на прочный уголь [30, 31]. По характеру складчатости и дизъюнктивной нарушенности на площади бассейна выделяют три тектонические зоны [12, 25]. У западной, юго-западной и северо-западной окраин бассейна протягивается зона интенсивной складчатости с линейными узкими и очень крутymi, местами опрокинутыми, нарушенными складками. В этой



зоне расположены один из наиболее крупных в бассейне Прокопьевско-Киселёвский район, Бачатский район и юго-западная часть Кемеровского.

К центру бассейна прослеживается зона брахискладчатых структур, в которой отложения кольчугинской серии собраны в изолированные складки, разделённые линейными нарушениями северо-западного простириания. В этой зоне находятся Осиновский, Беловский, Ленинский и другие районы.

Центральная, юго-восточная и восточная части Кузбасса представляют собой зону моноклинального залегания и пологих складок на фоне общего погружения к центру котловины. В центральной части бассейна выделяются районы Ерунаковский и Плотниковский, в юго-восточной части – Кондомский, Мрасский и Томь-Усинский.

Изолированное положение занимает Анжерский район, представляющий синклинальную структуру на крайнем севере бассейна.

Угленосные отложения и угольные пласты в бассейне рассекаются густой сеткой трещиноватости. В отличие от тектонических разрывов, по трещинам не наблюдается значительных перемещений – амплитуда смещений не выходит за пределы миллиметров или первых сантиметров. В угленосной толще и пластах угля развиты две группы трещин – нормальносекущие по отношению к слоистости и кососекущие. Некоторыми исследователями выделяются четыре группы нормальносекущих эндогенных трещин по их протяжённости: пересекающие пласт на всю мощность, пересекающие в пласте отдельные пачки угля, пересекающие отдельные петрографические разновидности угля внутри угольных пачек, локализованные внутри прослоев и линз витрена и витренитового угля. Преимущественное развитие в углях Кузбасса имеют трещины второй, третьей и четвёртой групп. Трещиноватость углей, характеризуя их прочностные свойства, зависит не только от степени проявления тектонической напряжённости в том или ином районе, но и от основных геолого-генетических факторов – стадии метаморфизма, особенностей петрографического состава углей, степени восстановленности.

Общий характер складок затушёвывается дизьюнктивными нарушениями, многие из которых протягиваются почти через весь бассейн. Наиболее крупные разрывные нарушения западной окраины Кузбасса – Тырганский надвиг, срезающий угленосные отложения в Присалайрской полосе, а также Афонино-Киселёвский, Кутоновский, Кольчегизский и Журинский взбросы, разделяющие отложения балахонской и кольчугинской серий на отдельные крупные блоки. Амплитуда этих нарушений, имеющих крутое западное падение сместителей, превышает 1,5-2 км.

На севере Кузбасса проходит крупнейший Томский надвиг, по которому отложения среднего девона надвинуты на верхние горизонты балахонской серии; он имеет переменную амплитуду от 2-3 км до сотен метров и падение сместителя на северо-запад 45-60°. Этот надвиг определяет северо-западную границу угленосной площади Кузбасса. Максимальная стратиграфическая амплитуда Томского надвига около 5000 м [38]. Ширина погребённой под надвигом угленосной полосы в Анжерской синклинали достигает 8 км. Сместитель надвига подчинён общему простирианию Колывань-Томской складчатой дуги в северо-восточной части Кузбасса.

В целом в Кузбассе, его горном обрамлении тектонические структуры докембрия и палеозоя формировались в условиях Алтае-Саянской геосинклинальной области, развитие которой в рассматриваемом районе можно проследить, начиная с позднего докембрия, обнажённого в северо-западной окраине Кузнецкого Алатау.

Кузнецкий геосинклинальный прогиб был заложен, как уже отмечалось, на каледонском складчатом фундаменте [38]. Территория Кузбасса и окаймляющие её Салаирский кряж, Горная Шория, Кузнецкий Алатау и Томь-Колыванская складчатая зона испытали тектонические движения многих геологических периодов. Наиболее древний Салаирский цикл тектогенеза (складчатости) захватил кембрийские отложения Кузнецкого Алатау и Салаира. Проявления герцинской фазы отразились на отложениях среднего девона. После этого происходило непрерывное накопление осадков на фоне общего опускания Кузнецкой котловины в течение времени от нижнего карбона до верхней перми включительно. Оно привело к накоплению



огромной, согласно залегающей, толщи мощностью до 7000-8000 м, также подвергшейся герцинской складчатости.

В результате воздействия пфальцской фазы складчатости отложения верхнего триаса залегают несогласно на пермских отложениях [12].

Последующая фаза складчатости – нижнекиммерийская – устанавливается по резкому несогласному залеганию юрских отложений на более древних породах. В свою очередь, складчатость юрских отложений указывает на проявление и верхнекиммерийской фазы складчатости.

В Кузбассе, особенно по его окраинам, происходили, по-видимому, и более молодые движения. Горный характер р. Томи в верхнем течении и большей части ее притоков, развитие террас и слабые проявления землетрясений в Кузнецком Алатау указывают, что постумные колебательные движения на площади Кузнецкого бассейна проявлялись в течение всего четвертичного периода и продолжаются в настоящее время.

В итоге тектоническое положение Кузбасса можно, пожалуй, кратко сформулировать следующим образом. Это угленосный бассейн типа котловины с периферической напряжённой складчатостью. По генезису он является межгорным регressive-морским, окружён горными цепями. Угленосные осадки собраны в антиклинальные и синклинальные складки, нередко остроугольной формы. По мере приближения к горным сооружениям складчатая и разрывная тектоника становится более сложными. Складки и разрывы ориентированы в основном в направлении, соответствующем направлению горных хребтов и их отрогов. Из разрывных нарушений широко развиты взбросы и особенно надвиги. Нередки участки с различными комбинациями разрывных дислокаций. Для бассейна характерны изверженные межпластовые интрузии (силлы). В его предгорных территориях древние комплексы пород, слагающие горные сооружения, надвинуты в ряде мест на угленосные отложения.

В системе Алтае-Саянской горно-складчатой области Кузнецкий бассейн представляет собой передовой поперечный прогиб, заложенный в девоне, устойчиво погружающийся вплоть до конца юрского периода [15].

Качество углей Кузбасса

Качество углей Кузбасса весьма разнообразно и главным образом очень высокое. Это связано с длительными и часто менявшимися условиями формирования угленосных отложений и угольных пластов. В девоне установлены высокобитуминозные каменные угли – барзасские липтобиолиты (сапромикситы), характеризующиеся высоким выходом смол (до 50%) и летучих веществ (46-70%) на горючую массу.

Почти все верхнепалеозойские и юрские угли бассейна гумусовые [12, 25]. Сапропелевые угли имеют ограниченное распространение, образуя прослои среди пластов гумусового угля тарбаганской серии на юге Кузбасса и балахонской в приплатформенной части, примыкающей к Кузнецкому Алатау.

Угли Кузбасса (Рис. 2) охватывают практически все группы ГОСТ 25543-2013 «Угли бурые, каменные и антрациты». По выходу летучих веществ, пластометрическим показателям и принадлежности к различным петрографическим группам их подразделяют на марки Д (длиннопламенный), ДГ (длиннопламенный газовый), Г (газовый), ГЖО (газовый жирный отощенный), ГЖ (газовый жирный), Ж (жирный), КЖ (коксовый жирный), К (коксовый), КО (коксовый отощенный), КСН (коксовый слабоспекающийся низкотемпературный), КС (коксовый слабоспекающийся), ОС (отощенный спекающийся), ТС (тощий спекающийся), СС (слабоспекающийся), Т (тощий), А (антрацит).

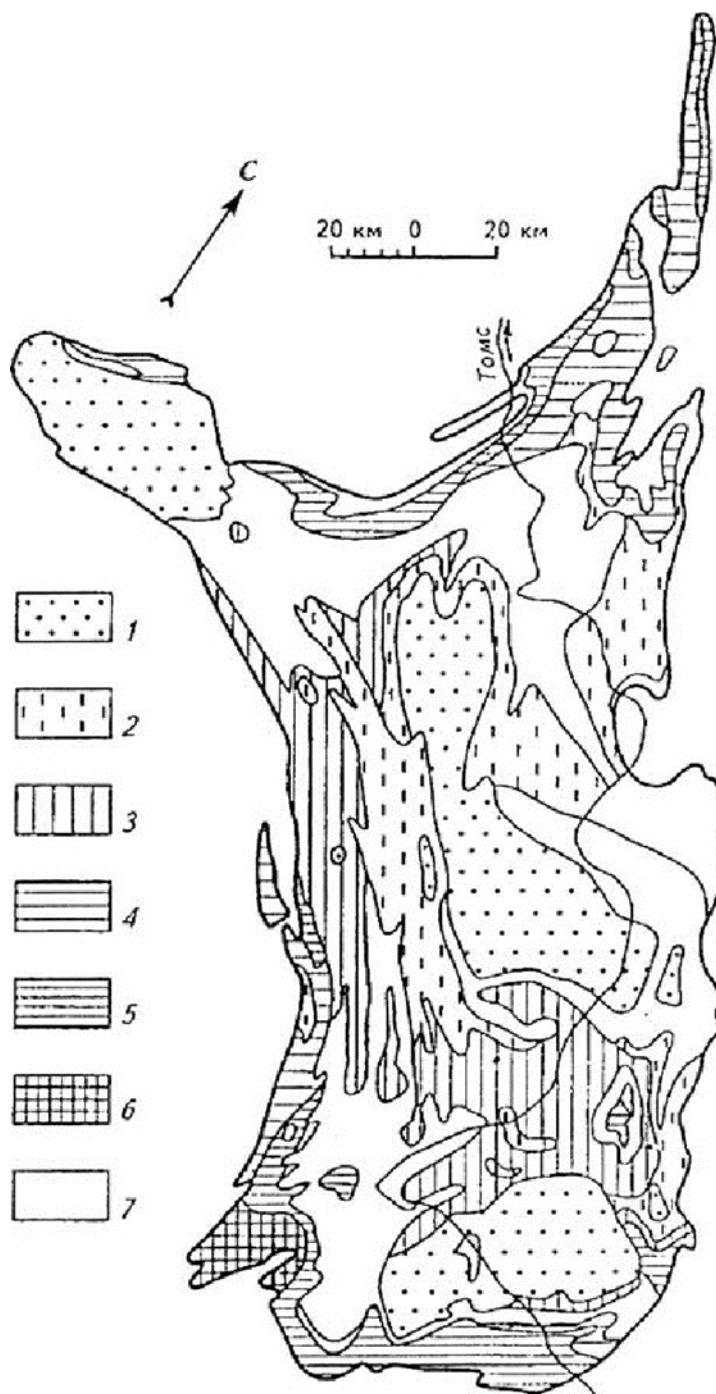


Рисунок 2 – Карта марочного состава углей Кузбасса: 1 – юрские угли марок Д, ДГ и групп 3Б, 1Г; 2 – энергетические верхнепалеозойские угли марок Д, ДГ, ГЖО и групп 1Г, 1СС, 2СС; 3 – коксующиеся угли марок 2Г, ГЖ, Ж, КЖ с присутствием углей марки ГЖО; 4 – коксующиеся угли марок К, КО, ОС, ТС с учётом слабоспекающихся углей марок СС, КСН, КС; 5 –

энергетические угли марки Т, частично контактово-метаморфизованные; 6 – антрациты регионального метаморфизма; 7 – площади неугленосные и с непромышленной угленосностью

Figure 2 – Map of the grade composition of Kuzbass coals: 1 – Jurassic coals of D, DG ranks and 3B, 1G groups; 2 – energetic Upper Paleozoic coals of D, DG, GZHO and 1G, 1SS, 2SS ranks; 3 – coking coals of 2G, GZh, Zh, KZh ranks with presence of GZHO coals; 4 – coking coals of K, KO, OS, TS ranks with consideration of low-caking coals of SS, KSN, KS ranks; 5 – thermal coals of T rank, partially contact-metamorphosed; 6 – anthracites of regional metamorphism; 7 – non-coal-bearing areas and with non-industrial coal-bearing capacity.



Свыше 40% запасов бассейна приходится на угли особо ценных марок. Содержание серы в кузнецких углях не превышает 0,5-1,5% и обычно равно 0,4-0,6%, фосфора – повышенное, достигает 0,12%. В балахонской серии развиты коксовые, отощенные спекающиеся, тощие угли и антрациты, а в кольчугинской – длиннопламенные, отчасти жирные.

Выход летучих веществ на горючую массу в общем уменьшается с ростом углефикации от 42-43% в длиннопламенных углях до 5-6% в полуантрацитах. Разные значения в углях одной стадии объясняются в основном колебаниями вещественно-петрографического состава. Например, из-за повышенного содержания витринита кольчугинские угли дают выход летучих веществ на 3-5% больше, чем изометаморфные балахонские.

Спекаемость. За показатель спекаемости принята толщина пластического слоя, по которой оценивают коксующиеся свойства и выделяют марки углей на средних стадиях метаморфизма. Этот показатель зависит от степени метаморфизма и петрографического состава, прежде всего – от содержания витринита. Спекаются угли марок Г, ГЖ, Ж, КЖ, К и ОС, не спекаются Д и Т. Максимальные значения характерны для жирных углей кольчугинской серии (до 36-38 мм) и некоторых разновидностей балахонских марки КЖ (до 23-25 мм) [24].

По зольности угли Кузбасса разделяют на малозольные (менее 8%, среднезольные (8-16%) и высокозольные (свыше 16%). Большая часть углей бассейна относится к малозольным и среднезольным. Наименьшей зольностью характеризуются угли ерунаковской подсерии кольчугинской серии (2-7%). Угли ускатской свиты имеют зольность 12-15%, которая при эксплуатации повышается за счёт многочисленных породных прослоев в угольных пластах.

Удельная теплота сгорания горючей массы каменных углей балахонской и кольчугинской серий колеблется от 7600 ккал/кг для марок Д и Г и до 8600 ккал/кг у коксующихся и тощих.

Обогатимость углей ерунаковской подсерии кольчугинской серии лёгкая, товарная зольность их связана в основном с прослойками породы. Угли балахонской серии по обогатимости весьма разнообразны – от легкообогатимых до труднообогатимых. В основном угли легко- и среднеобогатимые (выход концентрата 70-90% при зольности 5-9%) [43].

Глубина зоны окисления не превышает 20-25 м по вертикали. В районах с молодым расчленённым рельефом зона окисленных углей почти отсутствует. Наибольшая глубина её наблюдается в районах, где сохранилась мезо-кайнозойская кора выветривания. Это прежде всего равнинные северо-западные районы (Плотниковский, Ленинский, Беловский) и все основные водоразделы, покрытые чехлом мезо-кайнозоя. Зона окисления достигает там глубины 50-70 м; угли на выходах превращены в сажу. На юге и юго-востоке, где сильнее проявилась молодая эрозия, окисление на водоразделах не превышает 30-50 м, в логах 15-20 м, а под нижними террасами р. Томи и её крупных притоков почти не заметно [24].

Границу зоны окисления коксующихся углей определяют по толщине пластического слоя, а энергетических – по теплоте сгорания.

Природные особенности угольных месторождений

Угольные месторождения характеризуются большими площадями распространения угольных пластов (залежей) при преимущественно небольшой их мощности. При разработке угля подземным способом это определяет очень крупные размеры шахтных полей, сложность обеспечения устойчивости горных выработок с учётом горного давления.

Многим месторождениям свойственна высокая изменчивость морфологии, мощностей и строения угольных пластов. Широко проявлено их расщепление, поражённость мелкой складчатостью, малоамплитудными разрывами. Они крайне осложняют ведение горных работ, выемку запасов углей [1].

К природным особенностям угольных месторождений относится также резкое различие в вещественном составе и свойствах угля и вмещающих его пород. Значительной является их изменчивость на сравнительно небольших расстояниях. Это обусловливает необходимость проведения большого объёма изучения инженерно-геологических свойств пород кровли и почвы угольных пластов.

Угольным месторождениям свойственна повышенная сложность гидрогеологических условий – наличие в угленосных отложениях пластовых порово-трещинных водоносных



горизонтов нередко напорного характера. Наиболее высокая водообильность связана с угольными пластами, обладающими повышенной трещиноватостью и водопроницаемостью.

Под воздействием вод подземного стока происходит рассолонение (выщелачивание солей) глинистых пород. Это сопровождается изменениями физико-механических свойств и деформациями пород, их фильтрационным разрушением. При совместном действии поверхностных и подземных вод и гравитационных процессов формируются оползни. Они существенно влияют на инженерно-геологическую обстановку месторождений, определяют условия их промышленного освоения [2]. Почти всем месторождениям каменных и частично бурых углей присуща газоносность, в частности метаноносность.

Все эти горно-геологические и инженерно-геологические особенности угольных месторождений указывают на неустойчивость горных пород, вмещающих угольные пласти. Понятие устойчивости горной породы весьма относительное. Горная порода считается практически устойчивой в данных условиях её обнажения в природе, если деформации пород горного массива не сказываются на нормальном ходе работы горного предприятия и не приводят к сколько-нибудь значительным работам по уборке сместившихся пород [3].

Свойства углевмещающих горных пород и углей, их устойчивость в горных выработках

Вмещающие уголь породы – это разновидности осадочных обломочных пород (песчаных, алевритовых), а также глинистых, реже известняков и вулканогенных образований. Основные литологические типы скальных пород – песчаники, алевролиты, аргиллиты. Резко снижается их прочность в зонах выветривания, глубина которых может распространяться до первых сотен метров от дневной поверхности. Водонасыщение пород также понижает их прочность – до 50%.

При разведке и разработке угольных месторождений для изучения горнотехнических условий определяются: плотность и средняя плотность, пористость, временное сопротивление сжатию, растяжению, сдвигу (скалыванию), изгибу, коэффициент Пуассона, угол естественного откоса, коэффициенты и углы трения, влажность и водопоглощение, набухаемость и пучение, водо- и газопроницаемость, сыпучесть, насыпная плотность, гранулометрический состав, твёрдость, вязкость, дробимость, абразивность, буримость, взрываемость, зарубаемость, трещиноватость, расслаиваемость и другие геологические, акустические, тепловые, электрические, магнитные и прочие свойства горных пород и углей.

Полученные по перечисленным параметрам данные используются в горном деле для различных целей: определения горного давления, устойчивости горных выработок, расчёта крепи, выбора способов рыхления, экскавации, дробления, обогащения, транспортировки, складирования, конструирования и создания горных машин и оборудования, и ряда других целей.

За последний период изучение физико-механических свойств пород и прогнозирование на этой основе устойчивости боковых пород как в процессе эксплуатации, так и при разведке приобрело широкие масштабы.

Как видно из данных табл. 3, прочность пород уменьшается в ряду песчаник – алевролит – аргиллит в два раза. В этом же направлении наблюдается некоторое уменьшение пористости, а средняя плотность различных пород изменяется малозаметно. Во всех бассейнах прочность пород увеличивается при повышении степени их катагенеза.

Под массивом скальных углевмещающих горных пород понимают геологическое тело, образующее тектоническую структуру или её часть, сформированное в определённой геологической структурной и палеогеографической обстановке и характеризующееся присущими только ему геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими закономерностями [4].

Факторы, определяющие свойства массивов горных пород – это их вещественный состав, трещиноватость, в частности, экзогенные трещины отдельности, отрыва (растяжения), сжатия (скалывания).

Трещиноватые зоны открывают доступ воде и воздуху вглубь массива; благодаря им под влиянием процесса выветривания могут изменяться на значительную глубину породы, обычно устойчивые к воздействию этого процесса.



Также весьма важным фактором, определяющим поведение (свойства) трещиноватых скальных массивов пород, является их обводнённость и фильтрационные свойства.

Таблица 3 – Физико-механические свойства пород и углей
Table 3 – Physical and mechanical properties of rocks and coals

Породы, марки углей	Бассейны											
	Донецкий			Карагандинский			Кузнецкий			Печорский		
	Пористость, %	Средняя плотность, г/см ³	Сопротивление сжатию, МПа	Пористость, %	Средняя плотность, г/см ³	Сопротивление сжатию, МПа	Пористость, %	Средняя плотность, г/см ³	Сопротивление сжатию, МПа	Пористость, %	Средняя плотность, г/см ³	Сопротивление сжатию, МПа
Песчаник												
Д	13,6	2,37	33,2	–	–	–	–	–	–	12,6	2,42	31,4
Г	10,1	2,44	63,6	–	–	–	9,6	2,47	36,3	–	–	–
Ж	4,6	2,62	110,3	10,0	2,51	58,8	6,3	2,60	81,2	5,7	2,62	117,5
К	4,6	2,62	110,3	9,6	2,53	68,6	3,8	2,64	63,45	4,7	2,58	90,2
ОС	4,6	2,62	110,3	9,5	2,54	68,6	3,8	2,64	63,45	4,0	2,63	64,7
Т	–	–	–	–	–	–	3,8	2,64	63,45	–	–	–
Т-А	2,9	2,65	136,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Алевролит												
Д	9,9	2,50	26,0	–	–	–	–	–	–	13,2	2,35	27,16
Г	6,7	2,61	40,8	–	–	–	10,4	2,49	25,7	–	–	–
Ж	4,7	2,64	49,7	12,0	2,46	36,3	8,9	2,54	53,45	5,9	2,57	54,5
К	4,7	2,64	49,7	11,1	2,49	40,2	5,0	2,58	40,4	5,5	2,56	55,9
ОС	4,7	2,64	49,7	10,7	2,50	42,2	5,0	2,58	40,4	4,6	2,58	55,9
Т	–	–	–	–	–	–	5,0	2,58	40,4	–	–	–
Т-А	3,6	2,68	63,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Аргиллит												
Д	10,2	2,41	14,9	–	–	–	–	–	–	12,6	2,35	19,6
Г	8,1	2,55	27,1	–	–	–	12,5	2,43	19,32	–	–	–
Ж	5,2	2,62	35,3	14,5	2,44	15,7	–	–	–	6,2	2,58	45,2
К	5,2	2,62	35,3	12,6	2,46	22,6	–	–	–	6,1	2,54	47,07
ОС	5,2	2,62	35,3	11,1	2,48	24,5	–	–	–	5,1	2,58	43,15
Т	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Т-А	4,8	2,63	41,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Напряжённое состояние массивов горных пород. Этим озабочены специалисты разного профиля: тектонисты, гидростроители, горняки и инженеры-геологи. Напряжения в массивах горных пород распределяются в зависимости от характера тектонических структур, направления и величины тектонических сил, трещиноватости горных пород; чередования в разрезе прочных, слабых, хрупких и пластичных толщ, особенностей фильтрационного и температурного полей, расчленённости рельефа [4].



Наряду с вертикальными напряжениями возникают ещё и горизонтальные, во много раз превышающие вес вышележащих пород. Установлено, что реальные напряжения вблизи подвижных тектонических разломов на глубинах в первые сотни метров достигают 70-100 МПа. Об этом свидетельствуют, в частности, результаты изучения ультразвуковым методом напряжённого состояния пород в зоне регионального Норильского разлома. Тектоническая нарушенность горного массива осложняет технологию горных работ, приводит к созданию непредсказуемых физико-геомеханических ситуаций. В зоне тектонических нарушений наблюдается увеличение интенсивности геомеханических процессов. Изучение тектоники включает комплекс методов и средств, обеспечивающих достоверность прогноза мелкоамплитудной нарушенности угольных пластов и особенностей их деформирования в зонах разрывных нарушений [5].

Действующие в массиве напряжения оказывают в основном отрицательное влияние на его прочностные свойства. Они приводят к разрушению сплошности пород, к обрушению их в зонах аномально высоких напряжений, приуроченных к тектоническим нарушениям. Возле них величина напряжений в значительной степени превышает прочность пород, могут происходить оползни в случае, если высокие склоны имеют в основании глинистые толщи, выше которых залегают прочные породы, к примеру, известняки, эфузивы, интрузивные образования.

Определяющим фактором прочности массивов являются сами горные породы, слагающие массив. От прочности пород зависит их крепость. Под крепостью понимают сопротивление действию внешних сил. Это проявляется в той или иной трудности проходки подземных горных выработок [6].

Крепость горных пород оценивается коэффициентом крепости, который характеризует относительную крепость каждой породы при различных способах воздействия на неё (бурение скважин, шпуров, взрываемость, устойчивость и т. д.). Коэффициент крепости показывает сопротивляемость пород разрушению при их добыче [7, 8].

Коэффициент крепости f принимают 0,1 от предела прочности на сжатие (в МПа). Для характеристики крепости пород пользуются классификацией М.М. Протодьяконова (табл. 4).

В сильнотрещиноватых породах горные выработки подлежат креплению кровли и стенок. Глинистым породам почвы угольных пластов свойственно пучение. Усилинию этого процесса способствует увлажнение пород, низкая степень их литификации (окаменения), возрастание глубины разработки пластов, наличие угольных пропластков, слоистость, трещиноватость. Вдавливание стоек крепи в почву угольных пластов в основном происходит в углисто-глинистых аргиллитах, сильноглинистых алевролитах с низкими показателями прочности. При просадке кровли резко возрастает горное давление.

С учётом указанных и других особенностей необходимо осуществлять инженерно-геологическую оценку разрабатываемости горных пород месторождений [2]. В частности, изучать гидрогеологию массивов горных пород, определять их сопротивления различного рода воздействиям, главным образом механическим ударам, сдвигу, уплотнению, перемещению. Необходимо знать физико-механические, водно-физические и другие инженерно-геологические характеристики пород согласно требованиям ГОСТ 25100-2020 «Грунты, классификация». Всё это следует предусматривать ещё на стадии технического проекта эксплуатации месторождения [2], например, твёрдость горных пород, которая определяет производительность бурильных установок, потребность в армировании головок бура твёрдыми сплавами и т. п.; сопротивляемость угля резанию, зависящая от его петрографического состава, степени метаморфизма, трещиноватости, наличия в нем породных прослойков и твёрдых минеральных включений, глубины залегания, мощности и строения пластов, а также от строения и свойств боковых пород, буримость которых ухудшается с увеличением плотности, прочности, вязкости, твёрдости. Она зависит и от их минерального состава, строения и термодинамических условий.



Таблица 4 – Категории крепости пород по М.М. Протодьяконову
Table 4 – Categories of rock strength according to M.M. Protodyakonov

Категория	Степень крепости	Порода	<i>f</i>
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. Менее крепкие, нежели указанные выше, кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки. Очень крепкие железные руды	15
III	Крепкие породы	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат.	10
III ^a	Крепкие породы	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор. Доломит. Колчеданы.	8
IV	Довольно крепкие породы	Кварцит с трещинами. Обыкновенный песчаник. Железные руды (средней крепости).	6
IV ^a	Довольно крепкие породы	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5
V	Средние породы	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий глинистый сланец и известняк. Мягкий конгломерат	4
V ^a	Средние породы	Различные сланцы (некрепкие). Плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие породы	Мягкий сланец, очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, сцементированная галька и каменистый грунт	2
VI ^a	Довольно мягкие породы	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие породы	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь, крепкий нанос. Глинистый грунт	1
VII ^a	Мягкие породы	Легкая песчанистая глина, лёсс, гравий	0,8
VIII	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	Плытующие породы	Плытуны, болотистый грунт, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты	0,3

Важнейшими физико-механическими свойствами нерудных и рудных месторождений полезных ископаемых, влияющими на технологические процессы добычи и переработки, являются объёмная масса, влажность, пористость, крепость, дробимость, трещиноватость, абразивность (повышенная твёрдость в массивном или измельчённом состоянии), способность к флотации, магнитность, электропроводность и радиоактивность [9]. Эти свойства подлежат изучению в стадию разработки месторождения.



Трециноватость угля и пород. Согласно общепринятой терминологии, трещинами обычно называются разрывы в горных породах, перемещения по которым либо совершенно отсутствуют, либо имеют незначительную величину. Трециноватость – это разделение породы плоскостями на серию блоков (разрыв сплошности породы), связанное с самыми различными причинами – тектоническими, гравитационными, контракционными, выветриванием и т. д.

Все связные и литифицированные породы угленосных формаций в той или иной степени поражены трещинами. В ещё большей степени трещины развиваются в угольных пластах, даже залегающих среди несцементированных песков и пластических глин. Трециноватость оказывает большое влияние на ряд горно-геологических и инженерно-геологических условий проведения горных выработок. От характера и интенсивности трещиноватости зависят степень устойчивости в горных выработках равнoprочных и идентичных по литологическому составу горных пород, формы обрушений пород кровли. Наиболее подвержены обрушениям кровли и завалам очистные забои, расположенные параллельно направлениям основной системы трещин, особенно если падение последних направлено в сторону забоя. Резко уменьшается число завалов, если забои располагаются под углом более 45° к простиранию основной системы трещин.

Трециноватость горных пород относится к числу их основных физико-механических свойств, которые учитываются в теории горного давления. Нарушенность массива горных пород трещинами позволяет применить для вывода основных положений расчёта крепи теорию сыпучих (дискретных) тел. С другой стороны, трещиноватость – одна из основных причин, не позволивших до сих пор создать удовлетворительные методы прогноза устойчивости пород с распространением на массив определений физико-механических свойств образцов пород.

Трециноватость пород во многом определяет гидрогеологические условия разработки угольных пластов, так как часто основными водоносными горизонтами служат трещинные коллекторы. На глубоких горизонтах от степени трещиноватости пород и угля в значительной мере зависит их газоносность и интенсивность таких газодинамических явлений, как суфляры, выбросы угля и пород. Трециноватость энергетических углей и некоторых антрацитов весьма неблагоприятно оказывается на экономических показателях работы предприятий, способствует снижению кусковатости при добыче. Например, по этой причине весьма затрудняется использование антрацитов Горловского бассейна в качестве сырья для электродной промышленности, поскольку при их добыче выход мелочи (менее 25 мм) достигает 85%. Разработка пластов угля серьёзно затрудняется при наличии минерализованных трещин, заполненных плёнками и прожилками кальцита, кварца, пирита и других минералов.

Наибольшее влияние на условия разработки пластов оказывает степень ориентированности, направление и частота (интенсивность) трещин. По своей ориентировке в массиве пород угленосных формаций трещины можно подразделить на две основные группы: упорядоченные и беспорядочные. Первая группа трещин формируется под воздействием направленных факторов их образования, например тектонических сил, гравитации или контракционного сжатия при диагенезе, усыхании и т. п. Среди трещин этой группы можно выделить системы по направлению простирания и падения их плоскостей или по другим признакам (например, возрасту). В образовании неупорядоченных трещин главенствующее значение имеет отсутствие направленности воздействующего фактора, например влияние выветривания, остаточная трещиноватость и т. п.

Наибольшее значение при разработке угольных месторождений имеет упорядоченная трещиноватость пород и угля, образующаяся в основном под влиянием тектонических сил, а также гравитации и уплотнения при осадкообразовании, диагенезе и метаморфизме пород. Упорядоченные трещины в конкретном блоке (массиве) пород угленосных формаций принято классифицировать по расположению относительно наслоения (пластов) на три класса: по наслоению, нормальносекущие и кососекущие.

Трещины по наслоению возникают из-за различий литологического состава пород, зависят от первичных условий осадконакопления и, как правило, закрыты, раскрываются местами под влиянием тектонических сил (складчатости) или выветривания. Протяжённость и ориентировка трещин целиком зависят от характера слоистости (параллельная, косая, волнистая и т. д.) и



литологического состава контактирующих слоёв. Треугольники нормальносекущие (перпендикулярные наслению) и кососекущие объединяются в понятие «кливаж пород и угля».

В практике угольного горного дела в настоящее время кливаж понимается как основное направление трещиноватости угля и пород кровли, которое должно наноситься на планы горных работ с целью наиболее безопасного и выгодного расположения горных выработок. По направленности и генезису основная система трещин также может быть как нормальносекущей, так и кососекущей. Нормальносекущие трещины характеризуются рядом особенностей, из которых главнейшая – их внутрипластовый характер. Как правило, нормальносекущие трещины, если только по ним позже не развиваются тектонические разрывы, не распространяются в соседние (слои), ограничиваясь кровлей и почвой данного пласта.

На месторождении бывает от одной до двух пар систем трещин. При наличии двух пар последние ориентируются под углом около 45° одна к другой (диагонально). Степень выраженности и частота трещин в каждой системе совершенно различны, в связи с чем обычно одна из систем может быть выделена в качестве основной, наиболее выраженной,

Частота нормальносекущих трещин (число на единицу длины исследуемого участка пласта) зависит от литологических особенностей пород и их физико-механических свойств, уменьшаясь в ряду «уголь – глинистые породы – песчаники (известняки)». Так, например, в Донбассе трещины в угле располагаются через 1-5 см, а в песчаниках – через 0,3-2 м. В Кузбассе частота трещин увеличивается от 10 на 1 погонный метр в песчаниках до нескольких десятков в углях. В одном угольном пласте прослои петрографически разных углей существенно различаются по интенсивности трещиноватости. Максимальное число трещин наблюдается в блестящих, минимальное – в матовых углях. Характерная особенность нормальносекущих трещин в углях – их ровная, гладкая, часто блестящая поверхность со следами разрыва в виде глазков. В зернистых породах поверхность этих трещин также зернистая, без следов притёртости на нескладчатых месторождениях. К этим трещинам наиболее часто приурочена минерализация (плёнки кальцита, пирита и других минералов), что свидетельствует об их первоначально открытом характере.

Указанные особенности позволили предположить происхождение таких трещин под влиянием внутренних напряжений растяжения в самом веществе угля и пород в процессе их диагенеза.

Во всех бассейнах и месторождениях основными, лучше всего выраженными являются системы трещин, простирание которых совпадает с простиранием самого бассейна, месторождения или перпендикулярно последнему, особенно при тектонических контурах бассейна (месторождения) или наличии внутри него аналогичных очень крупных тектонических разломов.

В противоположность нормальносекущим кососекущие трещины могут быть внутрипластовыми и распространяться за пределы пласта, охватывая группу пластов (слоёв), что случается чаще. Поверхности этих трещин обычно притёртые, со следами скольжения в виде штриховатости, струйчатости, борозд, конусовидных бугорков и других признаков. Системы таких трещин отмечаются только в тектонически нарушенных угленосных отложениях, подвергшихся складкообразованию или разрывам. Чем интенсивнее тектоническая нарушенность, тем больше насчитывается систем кососекущих трещин,

Трещины обычно располагаются под углом около 45° к направлению действующих сил в соответствии с эллипсоидом напряжений. Поэтому отмечается тесная связь простираций систем кососекущих трещин с простиранием конкретных складчатых структур. Относительно осей складок трещины располагаются в продольном, поперечном и двух диагональных направлениях. Углы падения трещин зависят от углов падения пород на крыльях складок, будучи, как правило, больше последних на $15-20^\circ$. Могут формироваться и сопряжённые пары систем по дополнительным углам падения (согласные и несогласные). Крупные тектонические разрывы сопровождаются зонами преобладания трещин аналогичной ориентировки. Ширина (мощность) таких зон достигает 100 м и более (в Кузбассе – до 800 м). Имеются данные о том, что вблизи небольших разрывов исчезает система параллельных им трещин в результате разрядки напряжений в горной породе при образовании этого разрыва.



Интенсивность кососекущей трещиноватости, как и нормальносекущей, зависит от литологического состава и физико-механических свойств пород, уменьшаясь от угля к песчаникам. Наиболее трещиноваты угольные пласти. При переходе к породам кровли и почвы значительная часть трещин угасает, а их число снижается по мере удаления от пласта. Кососекущая трещиноватость, подобно тектоническим разрывам, часто развивается по существовавшим ранее нормальносекущим трещинам. В частности, своды складок усиленно поражаются крутопадающими продольными и поперечными системами трещин, простирация которых совпадает с направлениями нормальносекущих. Установлена количественная зависимость между числом трещин, физико-механическими свойствами пород и размерами возможной площади обнажения в горных выработках – главным показателем степени устойчивости пород.

Горно-геологические явления, возникающие при разработке угольных месторождений подземным способом

Выделяются следующие четыре группы горно-геологических явлений: гравитационные и газоносность, гидродинамические, гидрохимические и геотермические [3].

Гравитационные горно-геологические явления и газоносность выражаются в следующем:

- различных формах сдвижения горных пород и деформации подземных сооружений (выработок, целиков и пр.);
- пучении литифицированных глинистых пород;
- отжиме горных пород в зоне опорного давления;
- горных ударах;
- внезапных выбросах угольной пыли и газов;
- деформации породных отвалов.

Причина возникновения гравитационных явлений – горное давление. Термин «горное давление» определяется как «силы в породах, окружающих горную выработку». Горное давление – это давление на стенки и крепь горных выработок, оказываемое горными породами в результате перемещения и сдвига [7, 10, 11]. Давление измеряется обычно в Па (паскалях).

Горные породы в земной коре в естественном залегании находятся в напряжённом состоянии. Оно обусловлено действием двух силовых полей – гравитационного и тектонического, а также влиянием температурных градиентов и геохимических процессов [2].

Напряжённое состояние создаётся при формировании горных пород. В частности, при образовании магматических пород их напряженное состояние происходит при остывании и раскристаллизации магмы. Напряжённое состояние осадочных пород формируется при гравитационном уплотнении осадков. Метаморфические породы переходят в напряжённое состояние при перекристаллизации первичных пород. Все эти процессы сопровождаются тектоническими движениями (нарушениями). При отсутствии геологических нарушений напряжённое состояние массива горных пород определяется силой тяжести (давлением) вышележащей толщи пород, их физико-механическими свойствами и т. д.

Горное давление формируется в недрах Земли в результате действия в основном гравитационных сил, в меньшей мере за счёт тектонических сил и изменения температуры верхних слоёв земной коры. Горное давление вызывает деформирование массива горных пород, приводит к горным ударам и внезапным выбросам пород [11].

Естественное напряжённое состояние горных пород в массиве нарушается при изменении условий окружающей среды, в частности при проходке горных выработок, образовании шахтных полей. Возникают при этом зоны разгрузки (разуплотнения) пород и концентрации напряжений в них.

При подземной разработке месторождений осложняют напряжённое состояние массива при ведении горных работ тектонические силы, структурная раздробленность пород, их литологическая неоднородность, анизотропия свойств.

Развитие деформаций при ведении очистных работ в массиве вызывает, как уже указывалось, сдвижение горных пород в сторону выработанного пространства. В процессе сдвижения участки массива, попадающие в зону влияния выработанного пространства, испытывают все виды деформаций: изгиб, сдвиг, растяжение, сжатие. В результате образуется



область сдвижения горных пород, состоящая из зон обрушения, трещин и плавных сдвигов [2].

Сдвижение горных пород – это длительный и многостадийный процесс деформирования подработанных массивов пород. Он вызывается перемещениями пород в сторону выработанного пространства.

Сдвижение горных пород может происходить под влиянием очистных выработок. Это связано с прогибом подработанных слоёв и сдвиговыми деформациями. Характер процесса сдвижения зависит от слоистости и прочности пород, размеров выработанного пространства и глубины залегания отрабатываемой залежи.

В процессе сдвижения участки массива пород, попадающие в зону влияния выработанного пространства, последовательно или одновременно испытывают: изгиб, сдвиг, растяжение, сжатие [10].

При сдвижении горных пород в кровле выработки образуется зона разгрузки. Породы этой зоны передают давления на слой, непосредственно примыкающий к кровле, или на крепь. Породы кровли начинают изгибаться и разрушаться. Если обнажение их достаточно велико или выработку постепенно расширяют, процесс разрушения захватывает новые зоны, достигая земной поверхности. Часть массива пород перемещается в сторону выработанного пространства, образуя область сдвижения горных пород.

Характер деформирования подрабатываемой толщи пород существенно зависит от применяемой системы разработки. Деформации пород в окрестностях горной выработки происходят, как правило, по имеющимся естественным поверхностям ослабления.

К другим проявлениям горного давления относятся различные деформации подземных сооружений (выработок, целиков и прочее), пучение литифицированных глинистых пород, отжим породы в зоне опорного давления, стреляние, горные удары, внезапные выбросы пыли и газов.

Пучение горных пород. С увеличением глубины заложения выработок пучению подвергаются породы большей прочности (глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты, иногда песчаники). Развитию пучения способствуют слоистое сложение и большая мощность перекрывающих пород, наличие обводнённых прослоек и линз, тектонических нарушений. В осевой части синклинали пучение возрастает, антиклинали – уменьшается.

Пучение – это явление деформаций пород почвы и стенок подземных горных выработок, протекающее в форме выдавливания, выпирания пород в сторону обнажения. Наиболее часто с этим явлением сталкиваются при разработке угольных, каменно-соляных и рудных месторождений [10].

В результате пучения уменьшаются размеры поперечного сечения выработок, разрушаются крепи, вентиляционные и транспортные магистрали. Известны случаи полного заполнения выработки выдавливаемой породой в течение 4-5 суток.

Пучение свойственно главным образом глинистым породам, обладающим незначительным сцеплением и внутренним трением. Процесс пучения глинистых пород развивается под действием сил горного давления, набухания породы, фильтрационного давления подземных вод, явления гидратации и окисления.

Первопричина пучения – это нарушение естественного напряжённого состояния массива горных пород после проведения выработки.

Наиболее универсальный и эффективный способ борьбы с пучением глинистых пород – предварительное осушение обводнённых месторождений. С его помощью достигается снижение как горного, так и фильтрационного давления [10].

Отжим горных пород. Если в кровле пласта развиты породы, допускающие прогиб без видимого нарушения, или породы опускаются крупными блоками, то происходит явление отжима породы и угля. Отжимаемости способствуют все факторы, повышающие горное давление на забой.

Газоносность горных пород – важный фактор инженерно-геологических условий их массивов. Горные породы могут содержать не только метан, но и углекислый, сернистый газы; тяжёлые углеводородные, инертные газы, азот, водород, окись углерода, сероводород, радон и



т. д. Газоносность месторождений и развитие геодинамических процессов в наибольшей степени определяют метан, углекислый газ и азот.

Метан является основным среди газов угольных месторождений (от 60 до 98%). Он образовался в основной своей массе за счёт разложения растительного вещества при биохимических процессах. Опытами установлено, что из одной тонны растительных остатков, содержащих целлюлозу (клетчатку растений), образуется 230-465 м³ метана CH₄ [12].

Однако метан, образовавшийся в больших количествах при биохимических процессах, не мог полностью сохраниться в угольных пластах и вмещающих их породах из-за отсутствия или слабой уплотнённости покровных отложений и развития интенсивных процессов дегазации.

В следующих стадиях при метаморфических преобразованиях в углях создавалась пористая структура, в которой появлялись силы, связывающие уголь с газом. Это сделало возможным создание и сохранение до настоящего времени природной равновесной системы «газ – уголь».

Метаморфизм углей приводит к выделению огромных количеств углеводородов (метана). Количество метана, образовавшегося при переходе от бурых к длиннопламенным углям, достигает 30-40 м³/т, к жирным углям – 70-80, к тощим – 120-150 и к антрацитам – до 200 м³/т.

Метан в чистом виде не имеет цвета, запаха и вкуса. В смеси с другими газами, по мнению некоторых горняков, он приобретает специфический запах. Для человека сам по себе метан не вреден, но при большом количестве его в воздухе содержание кислорода в последнем становится недостаточным для дыхания. Этот газ почти в два раза легче воздуха. Вследствие этого он легко скапливается в верхних частях горных выработок [12].

Метан обладает способностью гореть. При небольшом содержании в воздухе он горит синеватым пламенем, а при содержании около 5% – серовато-голубым.

Основное и наиболее опасное свойство метана – образование при соответствующих соотношениях с воздухом взрывчатой смеси. Смесь с содержанием метана 0-5% сгорает без взрыва, причём горение происходит лишь при наличии постоянного источника высокой температуры. При содержании метана от 5-6 до 14-16% смесь, соприкасаясь с пламенем, даёт взрыв. Наибольшая сила взрыва наблюдается при содержании метана в рудничном воздухе 9,5%, так как при этом весь кислород воздуха расходуется на сгорание метана. Смесь с содержанием метана выше 16% не взрывается и не поддерживает горение, так как в этих условиях кислорода воздуха недостаточно не только для сгорания данного количества метана, но и для поддержания горения.

Метан воспламеняется при температуре 650-750°C, называемой температурой вспышки.

Углекислый газ, заключённый в угленосных толщах, обязан своим генезисом процессам сорбции атмосферного кислорода с окислением углерода до углекислого газа, а также привносу его циркулирующими водами в растворённом состоянии из верхних горизонтов биосферы. Содержание углекислого газа иногда превышает 25%. Поступление его в угленосную толщу может быть связано с магматизмом, например в Донбассе, Кузбассе, Сургуте и др. Углекислый газ бесцветен, со слабым кислым вкусом и слабым запахом. Он не поддерживает дыхания и горения, легко и в больших количествах растворяется в воде; в полтора раза тяжелее воздуха, а поэтому скапливается у почвы выработок и в забоях уклонов. При слабом проветривании эти скопления могут быть опасными для работы.

Азот в угольных месторождениях образовался в основном за счёт привноса его в растворённом состоянии подземными водами из верхних горизонтов биосферы. Частично азот в угольных месторождениях образовался в результате биохимических процессов (Кузбасс, Донбасс). Азот не имеет цвета, запаха и вкуса, инертен и не поддерживает ни дыхания, ни горения. Он ослабляет взрывчатость метана.

Сероводород (H₂S) своим происхождением обязан главным образом процессам превращения растительного вещества. Он без цвета, с характерным запахом тухлых яиц, со сладковатым вкусом; хорошо горит, при содержании 6% даёт с воздухом взрывчатую смесь, очень ядовит. Содержание сероводорода в рудничном воздухе 0,00066% (объёмных) считается предельным и безопасным.

Водород. Его количество иногда достигает 15-20% общего объёма газов угольных месторождений, происхождение биохимическое, метаморфическое и т. д. Водород – газ без



цвета, запаха и вкуса. Он в 14,5 раза легче воздуха. не ядовит, дыхание не поддерживает, но горит и взрывается. При содержании водорода в воздухе до 4% он горит только при постороннем источнике высокой температуры. Газовая смесь, содержащая 5-74% водорода, является взрывчатой. Газовая смесь, содержащая выше 74% водорода, будучи зажжённой, горит спокойным, почти бесцветным пламенем при доступе воздуха извне.

Распределение газов на месторождениях зависит от состава и коллекторских свойств горных пород, глубины и условий их залегания, тектонической нарушенности и трещиноватости, водоносности, водо- и газопроницаемости, мощности и экранирующих свойств покровных отложений, также от наличия и мощности многолетней мерзлоты и т. д.

Наиболее газоносными являются угольные месторождения, где распределение газов зависит от состава углей и угленасыщенности стратиграфического разреза.

Нередко метан образует крупные скопления в породах-коллекторах и интенсивно выделяется при разрушении угольного массива, в частности, при горных ударах, вскрытии тектонически ослабленных зон, при просадке кровли, взрывании пород и т. д.

Выделение газов может происходить непрерывно из визуально невидимых пор в породах, углях; также в виде концентрированных струй из видимых трещин и пустот. Внезапные прорывы газов нередко сопровождаются выбросами масс горных пород, угля и т. д.

Влияние геологических и гидрогеологических условий на газоносность угольных бассейнов и месторождений. Один из главных факторов при выборе оптимальных параметров угольной шахты – газоносность угольных пластов. На этой основе составляется прогноз газообильности будущей шахты. Количество выделяемого метана позволяет определить поперечное сечение головных выработок шахты, которые должны пропускать необходимое количество воздуха для разбавления метана до безопасной концентрации, а также установить параметры главной вентиляторной установки шахты котельной, калориферной установки и пневматического хозяйства и оборудования для проходки горных выработок, если газообильность велика и буровзрывные работы становятся опасными.

Поэтому проектировщики придают колоссальное значение правильности прогноза газообильности шахт.

Геологи в период разведки обязаны с достаточной полнотой изучать газоносность рабочих пластов и пропластков угля, устанавливать мощность пород между пластами, степень их газопроницаемости и давать оценку газового дренажа.

Основные задачи при изучении геологии газов угольных бассейнов и месторождений – установление закономерностей в изменении состава газов с глубиной, выявление зависимости между развитием тех или иных газовых зон и геологическими и гидрогеологическими условиями, изучение физико-химических свойств газов в той или иной геологической обстановке, влияния геологических и геохимических условий на возникновение газов и их накопление в угленосной толще. Без выяснения геологических закономерностей газоносности невозможно установить прогнозы газообильности шахт.

Степень преобразования каменного угля, как известно, зависит не от его возраста, а от уровня температур, которые воздействуют на органическое вещество в процессе региональных высокотемпературных глубинных прогревов земной коры [13]. Это даёт возможность выполнить для каждого месторождения необходимый комплекс температурных исследований с целью определения наиболее метаноносных уровней при проектировании и проходке горных выработок.

При отсутствии дегазации метаноносность углей зависит от степени их углефикации: угли с большей степенью углефикации обладают и более высокой метаноносностью.

Метаноносность угольных толщ обусловливается степенью угленасыщенности и пористости углей и вмещающих пород [2].

Газ, находящийся в свободной фазе, в основной своей массе заключён в порах угля и вмещающих его пород, а также в трещинах, не имеющих связи с земной поверхностью. Коллекторская способность угленосной толщи в основном определяется пористостью углей и пород.



Основная масса газа (главным образом метана) приурочена к антиклинальным структурам (если они не эродированы) и зонам флексураобразных нарушений. Наиболее газовые участки - гребни антиклиналей, к которым газ мигрирует по пласту или трещинам из нижних горизонтов. Особенно газоносны антиклинальные структуры в тех случаях, когда они перекрыты толщей слабогазопроницаемых глинисто-сланцевых пород (например, в Кузбассе это участки, где балахонская продуктивная свита перекрыта мезозойскими породами).

Тектонические нарушения более газоносны в тех случаях, когда их направление совпадает с простиранием основных складок и угольных пластов. Нарушения, имеющие нормальное направление к простиранию складок, менее газоносны.

Глубина деметанизированной зоны в значительной степени определяется глубиной эрозионного вреза и в большинстве случаев достигает 80-150 м.

Гидрогеологические условия угольных пластов и вмещающих пород определяют степень их дегазации, так как миграция газов в угленосной толще осуществляется в значительной мере с помощью подземных вод. Если вблизи угольного пласта или непосредственно в его кровле залегает водоносный горизонт, то этот пласт, как правило, деметанизирован.

Метанообильность шахт чаще всего зависит от скорости газоотдачи угольных пластов, которая в большинстве случаев обусловливается степенью углефикации и петрографическим составом угля. По метанообильности шахты делят на категории: первая содержит метана до 5 м³/т; вторая – от 5 до 10 м³/т; третья – от 10 до 15 м³/т; сверхкатегорийная – более 15 м³/т [12].

Проведённые исследования позволяют сделать заключение, что горючий газ (главным образом метан), заключённый в угленосной толще, должен рассматриваться не только как вредный фактор, но при колоссальных его запасах и как полезное ископаемое.

Как показало разведочное бурение, метан можно получать в огромных объёмах с помощью скважин из куполообразных структур угольных месторождений и крупных флексураобразных нарушений. При этом могут быть достигнуты две цели: с одной стороны, получение горючего газа; с другой – дегазация угольных пластов, подготавливаемых к разработке.

Использование метана в процессе разработки угля снижает стоимость устройства вентиляции и уменьшает опасность взрыва, а получаемый метан является ценнейшим горючим как для местных нужд, так и для промышленных и бытовых целей.

Горные удары – грозная опасность при горных работах. Это внезапные взрывы, сопровождающиеся сильным гулом, сотрясениями и воздушным ударом.

Накопление потенциальной энергии упругого сжатия горных пород от давления и высвобождение её при быстро протекающем разрушении предельно напряжённых участков углей и пород выражается в «стрелянии», толчках, микроударах и горных ударах.

Горные удары возникают при высокой прочности и жёсткости вмещающих пород и способности их накапливать энергию упругой деформации. Они наблюдаются на участках максимальных концентраций напряжений в момент их мгновенного перераспределения при нарушении сплошности высокопрочных пород кровли в наиболее ослабленных зонах.

Горному удару предшествуют усиление горного давления на целики и крепь выработок, выпучивание почвы, выдавливание целиков, «стреляние» пород.

Разрушение горных пород и угля при горном ударе носит характер внезапного взрыва. Исследованиями установлены природа и причины горных ударов, что позволило разработать и внедрить эффективные меры борьбы с ними при различных горно-геологических и горнотехнических условиях: глубине залегания угольных пластов, прочности отдельных слоев покрывающей толщи горных пород, их структуре и мощности: прочности угля и деформационных свойствах угольных пластов, а также пород непосредственной почвы; падении пласта; мощности и строении пластов; характере нарушенности и особенностях тектоники месторождения.

Минимальная глубина разработки, на которой возникает реальная опасность горных ударов, зависит в большей степени от горнотехнических условий разработки пластов: прочности и структурных особенностей покрывающей толщи пород, а также от прочности угля и угла падения пластов. От прочности угля или породы зависит критическая нагрузка, необходимая для их разрушения в форме горных ударов. Так как соотношение между этими величинами в шахтах



неодинаково, то и критическая глубина разработки различна. Например, горные удары на буроугольных пластах с прочностью угля около 6 МПа начинают проявляться с гораздо меньшей глубины, чем при разработке более прочных углей. Данные статистического анализа показывают, что прочность угля или другой разрабатываемой породы – один из факторов, определяющих минимальную глубину возникновения горных ударов: чем ниже прочность, тем меньше при прочих равных условиях эта глубина. На шахтах 21 и 10/16 Партизанского бассейна горные удары на крутых пластах проявились на глубине около 300 м от поверхности. Повышенная прочность горных пород и увеличенная мощность слоёв в покрывающей толще могут способствовать возникновению удароопасной ситуации в шахтах. Так, в кровле опасного по горным ударам угольного пласта 11 Кизеловского бассейна залегают кварцевые песчаники мощностью 20-25 м с прочностью на сжатие 145 и более МПа; в кровле опасного пласта Барсук на шахте 10/16 Партизанского бассейна залегает слой конгломератовидного или среднезернистого песчаника мощностью до 50 м с сопротивлением на сжатие 135-145 МПа. При разработке угольных пластов наблюдаются зависания пород кровли на площади до 10000 м², их обрушение приводит к весьма сильным горным ударам, которые ощущались на поверхности.

На большинстве каменноугольных месторождений к удароопасным породам относятся песчаники, известняки и пластовые жилы изверженных пород с пределами прочности на сжатие не менее 100 МПа при мощности слоя 10 м и более. На буроугольных месторождениях условия возникновения горных ударов иные. Например, на Шурабском буроугольном месторождении шахтой №8 разрабатывается пласт В мощностью до 15-20 м, опасный по горным ударам. В кровле и почве этого пласта залегают рыхлые непрочные породы: конгломераты, глины и слабые песчаники, насыщенные водой. Эта толща перекрывается прочными известняками мощностью до 100 м. Аналогичные условия – на Шкотовском буроугольном месторождении в Приморье; подобные условия встречаются на буроугольных месторождениях Сахалина.

Степень опасности пластов по горным ударам определяется характером деформации краевой части массива угля около подземных выработок. Способность краевой части угольного или породного массива к упругой деформации и хрупкому разрушению – основная природная особенность, определяющая склонность пластов угля и вмещающих пород к горным ударам. Эта особенность может быть характерным признаком удароопасности угольных пластов при прогнозе. В том случае, когда при ведении горных работ в выработках вскрываются отдельные слои мягких пластичных пород в непосредственной почве или кровле, имеющие более низкую прочность, чем сам пласт угля, горные удары не возникают. Статистика показывает, что горные удары возникают более часто и с большей разрушительной силой на пологих пластах. Это имеет место на шахтах Воркутского и Шурабского месторождений и в Кизеловском бассейне.

На удароопасных пластах Барсук и Новичок Партизанского бассейна наибольшее число и наиболее сильные горные удары произошли в пологих крыльях складок (угол падения 0-15°). Таким образом, пологое залегание пластов следует рассматривать как фактор, благоприятствующий возникновению горных ударов при наличии других обязательных условий. Считается, что с увеличением мощности пластов повышается опасность возникновения горных ударов. Однако на шахтах Кизеловского, Партизанского бассейнов горные удары происходили в пластах мощностью от 0,7 до 1,3 м и даже в местах пережима пласта от 0,6-0,2 м. Следовательно, можно говорить только об общей тенденции возрастания удароопасности пластов с увеличением их мощности при прочих равных условиях.

Установлено также большое влияние на возникновение горных ударов разрывных нарушений, разделяющих горный массив на крупные блоки. Проявлению горных ударов способствуют геологические нарушения – вздутия, пережимы, перегибы, локальные разрывы угольного пласта. Частота выбросов возрастает в пределах пласта с увеличением угла падения и мощности. Обводнённость ослабляет эту опасность [1, 2].

Горным ударам подвержены угли всех стадий метаморфизма (бурые, каменные и антрациты) и вмещающие их горные породы.

В настоящее время в Кузбассе разрабатывают более 200 угольных пластов, угрожаемых по горным ударам, и более 15 пластов, опасных по горным ударам, на которых зарегистрированы 145 горных ударов. Горные удары происходят на различной глубине от земной поверхности как



в очистных, так и в подготовительных выработках [14]. В Кузбассе горные удары проявляются как в очистных, так и подготовительных выработках, расположенных в зоне и вне зоны влияния очистных работ. Около 47% возникли на участках пластов, находящихся под целиками, оставленными на вышележащих пластах, 30% – в целиках при наличии выработанного пространства с двух-трёх сторон и порядка 23% в районах разрывных нарушений [5]. В подготовительных выработках произошло менее 1/3 горных ударов, причём 65% из них – в зоне влияния очистных работ, а 35% – вне зоны. Последние произошли в забоях выработок, проходимых в районах разрывных нарушений. Интенсивность горных ударов по объёму разрушенной массы изменялась от 2 до 100 т и более.

Все горные удары произошли на газоносных пластах, 16 из которых отнесены к опасным или угрожающим по внезапным выбросам. Как правило, возникновение внезапных выбросов на шахтах Кузбасса связано с районами тектонических нарушений.

Для проявления горных ударов характерны сильный звуковой эффект, который чётко фиксируется в радиусе нескольких сотен метров; сотрясение массива, толчки, разрушение и выброс горной массы, в которой кроме мелочи имеются отдельные крупные глыбы; возникновение ударной волны, распространяющейся от эпицентра удара и вызывающей разрушение и деформирование прилегающих горных выработок; выделение значительного количества метана и пыли.

Горные удары возникают на участках пластов с крепким углем при высокой концентрации опорного давления, в результате чего возможно интенсивное разрушение крепких пачек угля.

Если типичные внезапные выбросы возникают при наличии в пласте слабых перемятых пачек угля, то горные удары в этих условиях возникнуть не могут. Следовательно, с точки зрения механических свойств угольных пластов условия возникновения внезапных выбросов и горных ударов резко различны.

Типичные внезапные выбросы угля и газа происходят в результате совокупного действия трёх факторов: горного давления, газа и физикомеханических свойств угля. Вызванное горным давлением разрушение угля резко усиливает его газоотдачу, развязывая энергию газа, который завершает внезапный выброс [5].

Принципиальное различие горных ударов и внезапных выбросов угля и газа состоит в количестве активных факторов, действующих в развязывании динамических явлений, в характере и роли высвобождающейся при этом энергии. При типичном внезапном выбросе происходит развязывание и освобождение в основном энергии заключённого в угле газа, а при горном ударе – упругой энергии, накопленной в угле и породах.

Внезапные выбросы угля и газа в забоях подготовительных выработок происходят в зонах пласта с низкими прочностными свойствами и отсутствуют при движении выработки по прочному угольному массиву, способному аккумулировать в зоне влияния существенные запасы упругой потенциальной энергии.

Внезапные выбросы угля и газа (метана, углекислого газа) приурочены к призабойным частям угольного пласта. Начинаются они обычно с глубины 250 м, иногда с меньшей.

Геологические условия внезапных выбросов угля и газа. Внезапным выбросом угля и газа считается явление лавинно нарастающего смещения угля с обнажённой поверхности угольного пласта в выработках под действием горного давления и заключённого в угле газа, сопровождающееся отбросом угля и тонким его измельчением, необычно большим выделением газа в короткое время и образованием характерной полости в пласте.

По основным геологическим факторам, обусловившим газоносность угольных пластов и вмещающих пород, и химизму подземных вод определяют зону, где угольные пласты подвержены опасным выбросам угля и газа. До зоны сульфатно-натриевых вод включительно угольные пласты, как правило, не должны иметь склонности к внезапным выбросам угля и газа [12].

Метанообильность шахт и внезапные выбросы угля и газа чаще всего обусловливаются скоростью газоотдачи угольных пластов, а газоотдача в большинстве случаев зависит от степени метаморфизма и петрографического состава угля. Она увеличивается с уменьшением метаморфизма и от матовых углей к блестящим. Длиннопламенные и газовые угли обладают



более высокой газоотдачей, чем жирные угли. Жирные угли, в свою очередь, легче отдают метан, чем угли тощие или антрациты. Наиболее высокой газоотдачей обладают угли, состоящие в значительной степени из блестящих (витрен-клареновых) петрографических разностей. Такие пласти и являются наиболее опасными по внезапным выбросам угля и газа. Поэтому требуется проводить детальные исследования по выявлению районов, участков и отдельных угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа, а затем уже, исходя из конкретной геологической обстановки, намечать те или иные профилактические мероприятия, устраняющие внезапные выбросы. Главнейшие их факторы – геологические и гидрогеологические условия, определяющие характер газонасыщенности, а именно: давление газа, напряженное состояние угольного массива и физико-механические свойства угля.

В газоносных пластах основными факторами внезапных выделений метана с выбросами угля можно считать: степень тектонической нарушенности, изменение физических свойств угля – всего пласта по мощности или же отдельных его пачек; изменение характера залегания и свойств боковых пород; петрографический состав и степень метаморфизма углей.

Обычно в плотном угле с ровной поверхностью (зеркальной поверхностью в изломе) редко можно встретить такое скопление метана, которое способно к выбросу большого количества угля. Наличие же струйчатости в угле с резко выраженнымами трещинами кливажа и соответствующим петрографическим составом угля (блестящие разности) указывает на склонность этого участка, зоны или целого поля к выбросу угля и газа, ибо в этом случае имеются наиболее благоприятные условия, способствующие накоплению в угольном массиве метана. Изменение мощности пласта как по простианию, так и по падению способствует выбросу того или иного количества угля при бурном выделении метана.

Зоны максимального сосредоточения выброса угля, как правило, соответствуют: 1) зонам пликативных нарушений углей и боковых пород (флексуры) с характерной трещиноватостью; 2) уменьшению или увеличению мощности пластов; 3) изменению физических свойств угля; 4) гидрогеологическим условиям; 5) петрографическому составу углей. Известно, что в Донбассе в зонах выброса угля обычно преобладают угли витреновые. Обломки витрена преобладают и в «бешеной муке» из очагов выброса. На малых глубинах (≈ 150 м) первые выбросы угля и газа более типичны для высокогазоносных тощих углей, а на глубине 230-320 м – для углей марок ОС и К. Угли марок Ж и Г становятся выбросоопасными лишь на глубине свыше 380-400 м.

Статистически установлено, что угольные пласти сложного строения, представленные чередованием углей разных типов, обычно характеризуются повышенной восстановленностью и сернистостью, потенциально более выбросоопасны по сравнению с простыми по строению пластами невосстановленного угля. Выбросы происходят чаще и более внезапно в местах распространения наиболее восстановленных углей по сравнению с маловосстановленными [15]. Установлено также, что зольность выбросоопасных углей заметно снижена. Наряду с признаками обогащения водородом и битуминизации выбросоопасных углей в них отмечается потеря воды и углекислоты.

Гидродинамические, гидрохимические, геотермические явления, возникающие при разработке месторождений

Причиной их возникновения являются нарушения гидрогеологического режима. Примерами гидродинамических явлений выступают: фильтрационный эффект, прорывы подземных вод и плытунов, супфозионный размыв пород (выщелачивание растворимых солей из пород, нарушение их структуры, вымывание в глубину нисходящими потоками воды частиц грунта, в т. ч. лёссов, лёссовидных суглинков и др.), депрессионные деформации пород в поле водопонижения [3].

Фильтрационные деформации, вызываемые подземными водами, разделяют на оплыивание, выпор, механическую супфозию и фильтрационный вынос вдоль трещин [16]. Оплыивание связано с переносом и переотложением грунтовых частиц подземными водами, вытекающими на откос в пределах участка их высачивания. Наибольшее развитие этот процесс получает в песчаных грунтах.



Фильтрационный выпор – это нарушение устойчивости частично подтопленных песчаных откосов, при котором приходит в движение некоторый его объём. Выпор происходит под влиянием сил тяжести и гидродинамического давления.

Механическая суффозия – вынос мелких частиц из массива горных пород под влиянием гидродинамических сил.

Фильтрационный вынос вдоль трещин носит эрозионный характер и развивается в слабосцементированных породах с характерной естественной трещиноватостью.

Депрессионные деформации массива пород в поле водопонижения имеют следующий характер. Предварительное водопонижение при разработке месторождений полезных ископаемых, интенсивные откачки подземных вод для водоснабжения изменяют природную гидрогеологическую обстановку массивов горных пород, их физико-механические свойства. Например, при освоении Южно-Белозёрского железорудного месторождения (Кольский полуостров) оседание земной поверхности в результате глубокого водопонижения достигло 3 м. Вертикальные смещения массива, связанные с понижением напоров вод на 200-300 м, вызвали крупные нарушения крепи шахтных стволов. Деформации породных массивов под влиянием водопонижения наблюдались также во многих угольных бассейнах (Челябинском и др.), месторождениях марганца (Никопольское на Украине).

Причина возникновения *гидрохимических явлений* – нарушения влажностного режима, химического состава поровой влаги пород и минерального состава. Гидрохимические горно-геологические явления выражаются в выщелачивании легкорастворимых пород, пучении глинистых пород при их набухании, проявлении тиксотропных свойств [3]. *Тиксотропность* – способность связанных пород к разжижению и потере прочности при динамических воздействиях – землетрясениях, обвалах, взрывах, работе выемочного и транспортного оборудования и т. д. Тиксотропное разжижение приводит к активизации оползней природных склонов и карьерных откосов, увеличению налипаемости пород при их выемке и транспортировке и поэтому затрудняет проведение различных инженерных работ. В наибольшей степени тиксотропные свойства проявляются у глинистых пород (суглинков, глин), лёссов и мело-мергельных пород.

Причиной *геотермических горно-геологических явлений*, возникающих при разработке месторождений, является нарушение температурного режима горных пород. В качестве примера геотермических горно-геологических явлений можно назвать деформации мёрзлых пород при их замораживании или оттаивании.

Выветривание, окисление углей, их самовозгорание. Подземные пожары

Угольные пласты при выходе на земную поверхность подвергаются воздействию атмосферы, воды и смены температуры. При этом изменяются физические (механические) свойства и химический состав, то есть происходит выветривание углей. Под выветриванием понимается совокупность всех изменений, происходящих в ископаемых углях под влиянием атмосферных агентов, а также содержащих воздух нисходящих водных потоков. Особенно эффективно при этом происходят окислительные процессы.

Глубина выветривания для отдельных угольных бассейнов и месторождений различна в зависимости от рельефа местности, климатических условий, угла наклона пластов, их строения, петрографического состава углей, глубины залегания подземных вод и других факторов. Нередко глубина выветривания, особенно химического, достигает многих десятков метров.

Выветривание прежде всего изменяет физические свойства углей (ослабляет прочность и связность как в самом угле, так и между отдельными частицами пласта).

Воздух и вода, проникая по поверхностям напластования и плоскостям кливажа, способствуют раскалыванию угля на куски. Чем ближе к дневной поверхности, тем сильнее проявляются эти изменения. Вначале уголь, сохраняя свой цвет, теряет блеск и распадается на довольно мелкие куски. При более интенсивном выветривании он переходит в совершенно рыхлое состояние. При этом вследствие образования гуминовых соединений принимает даже буроватый цвет. В самой же верхней зоне уголь становится почти порошкообразным. Мощность пласта к выходу на дневную поверхность сильно уменьшается, иногда в 8-10 раз, и пласт выклинивается к поверхности. Это объясняется прежде всего выщелачиванием при выветривании значительной части органического вещества угля [12].



Выветрелые угольные пласти от разложения некоторых минеральных соединений приобретают новую окраску: буро-железистую (от гидратов окиси железа), беловатую (от железистых квасцов). Квасцы – это природные химические соединения (сульфаты алюминия и щелочей – натриевые квасцы $\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, калиевые квасцы $\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и другие). Большой частью квасцы встречаются в коре выветривания горных пород в виде беловатых налётов или прожилков асбестовидного строения в сланцеватых глинах и горючих сланцах или в буроугольных пластиах, проникнутых сульфидами железа (пиритом, марказитом и др.) [7, 17].

Иногда выветрелые угольные пласти на значительную глубину покрываются белым налётом, образовавшимся от разложения находящихся в их кровле известняков. При этом известняки переходят в сильно известковистые глины.

Выветривание и окисление углей нередко вызывает их самонагрев и самовозгорание. Самовозгорание происходит при температуре 85-100°C, называемой критической температурой самовозгорания углей.

Разогревание угля в штабелях происходит всегда внутри штабеля и зависит от его высоты. Это обусловлено тем, что теплота, выделяемая вследствие окисления угля, не успевает рассеиваться и вызывает повышение температуры. Температура, в свою очередь, ускоряет окисление угля.

На самовозгорание штабеля кроме свойств самого угля (его состава, содержания серы, количества щелочи и прочее) оказывают влияние и внешние факторы: климатические условия, время года, состояние погоды, внешние источники теплоты и т. д. Наиболее опасный период – весна (время таяния снега). На весну падает наибольшее число случаев самовозгорания. Осадки в виде дождя или снега также содействуют самовозгоранию углей.

Одновременно с подъёмом температуры идёт и потеря теплоты сгорания, коксующейся способности углей. Образование мелочи в углях при хранении ухудшает их качество, увеличивает общие потери и усиливает опасность самовозгорания в малоустойчивых углях.

Уголь способен адсорбировать кислород, и процессы самоокисления объясняются именно этим. Свежедобытый уголь по выдаче его из шахты на поверхность сейчас же начинает адсорбировать из воздуха кислород. Кислород вступает в химическое воздействие с органическим веществом угля, образуя нестойкие соединения. Эти соединения окисляют уголь, превращая его в богатые кислородом стойкие соединения. Как адсорбция кислорода, так и химическое воздействие на вещество угля сопровождаются выделением теплоты.

На пожароопасность углей в недрах Земли влияют: угол падения, мощность и сближенность пластов, характер обрушения вмещающих пород, тектоническая нарушенность, глубина разрабатываемого пласта и горнотехнические факторы. Пласти угля с углом падения менее 25° и мощностью менее 2 м считают малоопасными, с углами падения 25-50° и мощностью от 2 до 5 м – умеренно опасными, с углом падения более 50° и мощностью более 5 м – опасными. В большинстве случаев угли самовозгораются при температуре 80-90°. На самовозгорание углей также оказывает большое воздействие и степень их метаморфизма. В общем случае, чем ниже стадия метаморфизма угля, тем большую склонность он имеет к самовозгоранию. Исследование петрографического состава углей, различных по стадии метаморфизма и самовозгораемости, показало, что с увеличением содержания в них микрокомпонентов группы инертинита и уменьшением содержания витринита склонность угля к самовозгоранию повышается [18, 19]. Микрокомпоненты группы инертинита как бы дают импульс развитию процесса самовозгорания угля.

Имеются данные о тормозящем действии метана на процесс окисления угля. В складчатых нарушениях повышенной газоносностью отличаются призамковые части антиклинальных складок, а пониженной газоносностью обладают призамковые части синклинальных складок. Метан хорошо сохраняется в углях пластов полого падения. Для предохранения угля, находящегося на складах, от выветривания надёжными способами являются хранение в виде брикетов, в инертной атмосфере и под водой. Для предотвращения возгорания угля, в первую очередь бурого, предложено хранить его не в штабелях, а в траншеях, где невелика циркуляция газов и процессы окисления и разогрева угля замедлены [20].



Подземные пожары – большое препятствие при разработке угольных пластов. Особенно это касается районов коксующихся, легко возгорающихся углей. Потушить уже начавшееся горение угольного пласта очень трудно и иногда невозможно. Самоокисление и разогревание угля при достаточном доступе воздуха происходят не только в штабелях, но и в горных выработках (эндогенные пожары). Пласти угля могут выгорать до уровня грунтовых или пластовых вод. Иногда борьба с пожарами на угольных шахтах длится не только месяцы, но и годы; приходится исключать из эксплуатации не только отдельные участки, но и целые шахтные поля. В особых случаях отдельные участки приходится совсем оставлять. Наличие горных выработок, по которым пропускается через систему подземных ходов большое количество воздуха, разработка пластов с обрушением кровли создают благоприятные условия для возникновения пожаров.

Опасность эндогенных пожаров обуславливается многими факторами: геологическими особенностями месторождения, способом подготовки и системами разработки, интенсивностью ведения горных работ, режимом и схемами вентиляции, способом управления кровлей, надёжностью изоляции выработанного пространства и рядом других. Факторы опасности самовозгорания угля в горных выработках разделяются на природные и горнотехнические. К природным факторам относятся геологические особенности месторождений и химическая активность угля, к горнотехническим – факторы, которые непосредственно связаны с методами ведения горных работ. Выделение природных факторов в самостоятельную группу производится потому, что они могут быть использованы для прогноза опасности самовозгорания угля ещё не разрабатываемых месторождений и их частей при геологоразведочных работах, строительстве новых шахт и подготовке новых горизонтов и блоков действующих шахт.

По самовозгораемости все угли разделяются на три группы: высокоактивные – бурые угли; умеренно активные – каменные угли и малоактивные – антрациты. При разработке бурых углей наблюдается большая частота пожаров, чем при разработке каменного угля. Бурые угли часто самовозгораются даже в разрезах. Самовозгорание антрацитов известно только в исключительных случаях. Таким образом, в склонности углей к самовозгоранию первостепенное значение имеет степень углефикации, от которой зависит величина сорбции кислорода углем. С увеличением степени углефикации повышается температурный интервал, в котором протекает интенсивное окисление.

Большое значение для самовозгорания имеет петрографический состав углей. Склонность угля к самовозгоранию обуславливается процессами, протекавшими в торфянную стадию углеобразования, и связана с фациальными условиями, при которых происходило накопление и разложение материнского вещества. Чем больше в угле содержится фузенизированного вещества и меньше гелифицированного, тем он более склонен к самовозгоранию. С увеличением содержания в угле микрокомпонентов с отчётливо выраженной клеточной структурой и уменьшением гомогенных микрокомпонентов увеличивается склонность его к самовозгоранию. При изменении вещественного состава угля по простирианию пласта изменяется и степень его склонности к самовозгоранию.

Незначительные изменения степени углефикации или метаморфизма угля по площади распространения пласта не сказываются на склонности угля к самовозгоранию. Однаковая самовозгораемость угля может прослеживаться на больших расстояниях по простирианию и падению пласта. При большой площади распространения пласта на нём могут выделяться зоны одинаковой самовозгораемости угля с плавными переходами между зонами. Сохранение одинаковой степени самовозгораемости угля на большой площади позволяет: 1) определять склонность угля к самовозгоранию на вновь вскрываемых горизонтах и подготавливаемых выемочных участках по данным анализа угля в действующих выработках; 2) производить паспортизацию пластов по степени их самовозгораемости; 3) составлять по ним каталоги, которые могут быть использованы при отработке двух, трёх и более горизонтов.

Зоны одинаковой самовозгораемости угля на различных пластах в разрезе угленосной толщи на площадях полей шахт, как правило, не совпадают. Таким образом, стратиграфическое положение угольных пластов не определяет их самовозгораемости. В разрезе угленосной толщи самовозгорающийся угольный пласт может залегать стратиграфически ниже или выше несамовозгорающегося. Вблизи дневной поверхности земли, иногда на глубине до 50 м и более,



горные породы и пласти угля имеют повышенную трещиноватость, способствующую проникновению воздуха к углю, что увеличивает возможность его самовозгорания. Пропластки угля и пласти углистых пород могут иметь такую же химическую активность, как и пласти. Их подработка может способствовать возникновению пожаров даже в таких месторождениях, в которых сами разрабатываемые угольные пласти имеют небольшую склонность к самовозгоранию. Дегазация и осушение углей увеличивают возможности проникновения воздуха в уголь и, следовательно, способствуют процессу самовозгорания.

Необходимо обращать внимание на предотвращение самых различных существенных факторов самовозгорания угля, например дальнейшего раздробления пластов угля и пород кровли, регулировать продолжительность омывания угля воздухом. Эти факторы зависят от системы разработки месторождений.

При мощных пластиах угля следует принимать во внимание способность углей к самовозгоранию. Это один из существенных критериев выбора системы разработки. Выемка угля с обрушением, тем более камерной системой, не должна применяться. Наибольшие гарантии по предупреждению подземных пожаров может дать лишь мокрая закладка. Безусловно, в условиях сухого климата применение этого метода встречает большие трудности, но и они должны быть преодолены. Тем самым будут предотвращены причины возможного возникновения пожаров при разработке мощных угольных пластов.

Для глубоких шахт необходимо знать геотермические условия. Как известно, температура с глубиной возрастает на 1-4°C на каждые 100 м. В некоторых глубоких шахтах Донбасса температура превышает 50°C, что вызывает необходимость усиленной вентиляции и охлаждения забоев.

Сейсмические зоны, в которых имеется потенциальная опасность сильных землетрясений, на территории бывшего СССР располагаются преимущественно вдоль южных и восточных границ. Они занимают около 13% площади страны. Ряд угольных бассейнов и месторождений находится в зонах повышенной сейсмической активности, построенные или строящиеся здесь угольные предприятия могут оказаться под воздействием землетрясений. К ним относятся: южная часть Кузнецкого бассейна, южная часть Канско-Ачинского бассейна, Иркутский, Минусинский, Улугхемский, Южно-Якутский бассейны, месторождения Забайкалья, Дальнего Востока, Северо-Востока РФ, Приморского края и о. Сахалин. В Прибайкалье выделены локальные участки с интенсивностью сотрясений до 10 баллов.

До последнего времени сейсмичность учитывалась только при проектировании и сооружении зданий и других инженерных объектов на поверхности. Воздействие землетрясений на горные выработки не фиксировалось и недостаточно изучено.

Горно-геологические явления, возникающие при разработке месторождений открытым способом. Факторы, влияющие на устойчивость откосных сооружений

К горно-геологическим явлениям, возникающим при открытой разработке месторождений, относятся оползни, обрушения и обвалы, осьпи и оплывины, просадки и др. Наиболее опасны оползни, разрушающие карьерные откосы.

Обрушения и обвалы характеризуются быстрым смещением и падением крупных блоков и пачек пород, которые при падении опрокидываются и дробятся на более мелкие куски. Обрушения нередко связаны с подрезкой откосами карьера kontaktов пород, являющихся поверхностями ослабления прочности массива. На буроугольных разработках обрушения и оползни добывчных уступов могут также приводить к возникновению пожаров в трещинах, образованных при деформациях сближенных уступов [3].

Осыпи – это смещение и падение мелких обломков и зёрен пород, отделившихся от поверхности откоса в результате выветривания.

Оплывина – смещение маломощного слоя пород (до глубины не более 1 м) по склону вследствие перехода их в текучее состояние при насыщении талыми дождевыми или подземными водами. Синоним термина «оплывина» – оползень поверхностный.

Просадки – вертикальные опускания (уплотнение) в прибрежных участках карьеров, разрезов высокопористых рыхлых породных масс без образования сплошной поверхности



скольжения. Уплотнение пород происходит за счёт устранения воздействия фильтрационного давления при осушении обводнённых месторождений.

Изменения напряжённого состояния массива пород и закономерности проявления горного давления при открытой разработке месторождений необходимо оценивать для выбора важнейших параметров карьера – крутизны откосов уступов и в целом бортов [2]. В таблице 5 дана классификация деформаций бортов карьеров, составленная ВНИМИ на основе длительных наблюдений за развитием деформаций на угольных, рудных и нерудных карьерах. В этой классификации все деформации откосов уступов и бортов карьеров разделены на пять видов, отличающихся геологическим строением массива, характером проявления и причинами возникновения: осыпи, обрушения, оползни, просадки и оплывины [16, 21].

Между отдельными видами деформаций не существует чёткой границы. Осыпи и обрушения различаются по относительным размерам деформирующихся массивов, а обрушения и оползни – по скорости деформации, зависящей от наклона поверхности скольжения и характера напряжённого состояния пород по поверхности скольжения.

Существует непрерывный переход от быстро происходящих «чистых обрушений», когда по всей поверхности скольжения породы находятся в твёрдом состоянии, а сама поверхность скольжения располагается круче угла естественного откоса к «чистым оползням», длящимся месяцы и годы при небольших скоростях смещения. В этом случае в зоне поверхности скольжения породы находятся в пластическом состоянии, а сама поверхность скольжения располагается под углом значительно более пологим, чем угол внутреннего трения пород в их упругом состоянии (следует отметить, что и быстро происходящим обрушениям предшествует медленное развитие в течение длительного времени микродеформаций, устанавливаемых инструментальными наблюдениями с помощью трещиномера, нивелира и других простейших приборов).

Нет чёткой границы также между просадками и оползнями, так как все виды просадок при некоторых условиях с течением времени переходят в оползни; однако довольно часто просадки откосов наблюдаются в «чистом виде» (просадки в «чистом виде» не являются видом деформации горных пород, свойственным только откосам, так как они наблюдаются и на ровных участках вдали от откосов).

В зависимости от степени насыщения водой рыхлых горных пород наблюдается непрерывный переход от оползней к оплывиам: при увеличении влажности пород скорость перемещения возрастает.

Оползни являются наиболее распространённым, наиболее многообразным и наиболее сложным видом деформаций бортов карьеров.

Таблица 5 – Классификация деформаций бортов карьеров и отвалов [16, 21]

Table 5 – Classification of deformations of quarry sides and spoil heaps [16, 21]

Вид деформаций	Характер деформации	Условия и причины возникновения
Осыпи – скатывание отдельных кусков и глыб к основанию откоса	Осыпи откосов мягких связных пород	Под влиянием выветривания крутых откосов; осыпание становится более интенсивным при отсутствии заоткоски уступов
	Осыпи откосов несвязных пород	
	Осыпи откосов трещиноватых твёрдых пород	Под влиянием массовых взрывов, выветривания, отсутствие заоткоски наклонными скважинами
Обрушения – быстрое смещение породных масс по крутой поверхности скольжения	Обрушения по подрезанным контактам слоев, дизъюнктивам и сланцеватости	При падении слоев и тектонических нарушений в сторону выемки круче 25–30°
	Обрушения по поверхностям, ослабленным трещинами	При падении трещин в сторону выемки круче 35–40°



Вид деформаций	Характер деформации	Условия и причины возникновения
	Обрушения по криволинейным поверхностям	При завышенных углах или высоте откоса
	Обрушения по сложным поверхностям ослабления	Наличие поверхностей ослабления
Оползни – медленное смещение породных масс по пологой поверхности скольжения	Оползни изотропных массивов	Подток грунтовых вод к откосу или скопление дождевых и талых вод
	Фильтрационные оползни	Подкачивание откоса вследствие выноса фильтрующимся потоком слабосвязных частиц
	Покровные оползни	Наличие рыхлых отложений на склоне твёрдых пород и отсутствие регулирования стока дождевых вод
	Контактные оползни	Подрезка обводнённых контактов пологозалегающих слоёв глинистых пород и тектонических нарушений, заполненных глиной трещинами
	Глубинные оползни слоистых пород лежачего бока	Наличие слоев пластичных глин и напорных вод
	Оползни-надвиги	Наличие слабых контактов или вскрытых слоев пластичных глин
	Оползни выпирания	Наличие невскрытых слоев пластичных глин; обводнение площадок уступов и прибрежной полосы
	Оползни отвалов:	
	надподошвенные	Прочное основание и слабые породы отвала, дополнительное увлажнение отвальных пород (особенно в основании отвала)
	подошвенные (контактные)	Наклонное слоистое основание
	подошвенные (выпирания)	Прочные породы отвала, слабое основание, напорные воды в основании отвала
Оплывины – течение насыщенных водой рыхлых пород нарушенной структуры	Консистентные оплывины	Насыщение водой рыхлых пород и высокопористых отложений, обладающих сцеплением упрочнения (лессов, лессовидных суглинков и др.) до консистенции текучести
	Фильтрационные оплывины	Оплывание, связанное с выносом песчаных частиц фильтрующимся потоком
Просадки – вертикальное опускание прибрежных участков рыхлых породных масс без образования сплошной	Просадки пород естественной структуры	Увлажнение (замачивание) высокопористых отложений (лессов, лессовидных суглинков, выщелоченных пород)
	Просадки пород нарушенной структуры (отвалов)	Уплотнение отвалов рыхлых пород (усиливается при увлажнении)
	Просадки с выпиранием оснований	Наличие слабых пластичных слоев в основании откоса



Вид деформаций	Характер деформации	Условия и причины возникновения
поверхности скольжения		

Причинами деформаций могут являться: несоответствия углов наклона бортов геологическим условиям, отсутствие дренажа или его неэффективность, неправильное ведение горных работ (например, буровзрывных), неверное представление о характере явления вследствие его недостаточной изученности вообще или недооценки его влияния. Применение неправильного метода расчёта, дающего завышенные углы откосов, тоже следует рассматривать как причину развития деформации бортов.

Осыпи откосов на угольных карьерах. Они являются наиболее распространённым на карьерах и наиболее простым видом деформации откосов. Осыпи образуются в результате выветривания пород на поверхности откосов. Они проявляются в виде отрыва отдельных частиц, кусков и глыб от массива и скатывания их к подошве откосов. Осыпи образуются при углах откосов, превышающих углы естественного откоса раздробленных пород, когда частица, потерявшая связь с массивом, не может удерживаться на поверхности откоса силами трения. Более мелкие частицы сносятся потоками вод атмосферных осадков и при углах меньше угла естественного откоса ($23\text{--}37^\circ$); угол откоса осыпи зависит от петрографического и гранулометрического состава материала, слагающего осыпь, и имеет средние значения от $28\text{--}32^\circ$ в мелкообломочных выветрелых и осадочных породах до $34\text{--}37^\circ$ в крупно- и среднеобломочных прочных породах.

Осыпанию подвергаются все разновидности горных пород – от наиболее крепких, когда они под влиянием выветривания в крутых откосах теряют связность, до самых слабых глинистых, которые теряют связность при высыхании и растрескивании.

Со временем этот процесс разрушения и осыпания откоса приводит к накоплению осыпей на площадках уступов, выполнению откосов уступов и образованию сплошного откоса недопустимо большой высоты, работа под которым становится опасной. Осыпание пород в откосах уступов приводит также к нарушениям транспортных берм. Процесс разрушения и осыпания крутой части откоса завершается после того, как породы осыпи под углом естественного откоса достигнут верхней бровки уступа.

Интенсивность этого процесса зависит от многих факторов, из которых наиболее существенными являются выветриваемость пород (литологический состав, интенсивность и характер трещиноватости), значение угла откоса уступов и их экспозиция, способ заоткоски уступов и способ ведения буровзрывных работ при постановке уступов на предельный контур (в породах, разрабатываемых с применением буровзрывных работ), климатические условия района.

Наиболее интенсивно выветриваются песчано-глинистые и глинистые породы: аргиллиты, алевролиты, мергельные глины, мергели.

Иногда осыпи являются источником образования более крупных деформаций (оплывин, оползней).

Обрушения уступов и бортов. Обрушениям, как и осыпям, подвергаются породы почти всех литологических разностей. Обрушения возникают в тех случаях, когда по наиболее слабой поверхности наступает предельное равновесие пород, т.е. когда напряжения по этим поверхностям достигают предельных значений (в отличие от обрушений, оползни характеризуются тем, что напряжения по наиболее слабой поверхности превышают предел ползучести, но не достигают предельных).

На карьерах обрушения большей частью происходят по поверхностям ослабления массива: разрывным нарушениям, крупным тектоническим трещинам, контактам слоёв и сланцеватости с направлением падения в сторону выемки под углом более $25\text{--}35^\circ$, превышающим угол трения по этим поверхностям ослабления. Так как обрушениям предшествуют часто лишь небольшие смещения, незаметные визуально, их возникновение оказывается неожиданным и проявляется катастрофически. Поэтому возникает необходимость изучать элементы залегания всех



поверхностей ослабления и характеристики сопротивления сдвигу по ним – коэффициент трения и сцепление.

Необходимы детальное изучение залегания пород лежачего бока в области призмы возможного обрушения и определение углов трения по контактам слоёв и другим поверхностям ослабления.

Оползни, связанные с наличием поверхностей ослабления. Оползни – наиболее распространённый вид нарушений устойчивости откосов, связанный с наличием в толще пород пластичных прослойков, слоёв и слабых контактов; они происходят при углах наклона бортов и откосов уступов положе 25-35°.

Наибольший процент оползней, возникающих на карьерах, приходится на оползни, в той или иной степени связанные с наличием поверхностей ослабления в массиве горных пород, чаще всего представленных контактами между слоями или тектоническими нарушениями, заполненными глиной трения, а также поверхностями древних оползней. К этой группе оползней относятся контактные оползни, глубинные оползни слоистых пород лежачего бока, оползни-надвиги и подошвенные оползни отвалов.

Причиной возникновения контактных оползней, оползней-надвигов и подошвенных оползней отвалов обычно является набухание глинистых слоёв, находящихся в контакте с водопроводящими слоями (песчаных или гравелистых пород); при залегании слоёв положе 25-35° вследствие обводнения и набухания глинистых пород (глин, аргиллитов или алевролитов) с течением времени по таким контактам происходит сползание пород, даже при углах падения слоёв не более 10-12°. Если увлажнение контактов неизбежно, то набухание должно учитываться при определении углов откосов. И в том и в другом случае при разведке месторождений необходимо изучать набухаемость горных пород в компрессионных приборах. В формировании глубинных оползней слоистых пород лежачего бока на набухание пород большое влияние оказывают напорные воды, заключённые даже в тонких слоях водопроводящих пород: песка, гравия, угля, песчаников, известняков и др. Поэтому если в лежачем боку разрабатываются угольных пластов залегают чередующиеся слои глинистых и водоносных пород, необходимо детально изучать литологию лежачего бока. Определение характеристик сопротивления сдвигу по контактам слоёв во всех этих случаях обязательно; в карьерах эти характеристики определяются путём натурных испытаний на срез по контактам больших призм горных пород; при разведке месторождений эти характеристики можно определять путём лабораторных испытаний на «повторный сдвиг» (так как обычно при бурении скважин керн по наиболее слабым контактам разрушается).

Контактные оползни наблюдаются при разработке всех месторождений, сложенных наклонно- и пологозалегающими слоями глинистых пород: на Коркинском и Батурина – в Челябинском буроугольном бассейне, на Богословском, Веселовском и Волчанском – на Северном Урале, на Экибастузском и др.

Широко развиты контактные оползни в Кузбассе, основной причиной возникновения которых является подрезка слабых контактов на большом протяжении. Наиболее слабыми контактами на карьерах Кузбасса являются контакты слоёв аргиллита и угля при наличии в них зеркал скольжения и контакт горельника, представленный каолиновой глиной. Контактные оползни наиболее часто возникают при проходке въездных и разрезных траншей на выходах угольных пластов под наносы и при отработке угольных пластов по восстанию. И в том и в другом случаях горными работами подрезаются контакты, причём при проходке траншеи на выходах пластов подрезка контактов часто происходит изза неразведанности месторождений на выходах, так как при разведке месторождений все разведочные скважины располагаются в центральной части месторождения.

Оползни, связанные с выпиранием основания. Вторую группу составляют оползни, связанные с выпиранием основания, к которым относятся оползни выпирания и подошвенные оползни отвалов. Причиной возникновения этих оползней являются завышенные углы откосов при наличии в лежачем боку слабых глинистых слоев. К этой же группе могут быть отнесены и оползни слоистых пород лежачего бока, если в лежачем боку имеются слои пород, у которых сопротивление сдвигу мало превышает сопротивление сдвигу по



контактам слоёв. На формирование оползней выпирания и подподошвенных оползней отвалов ослабленные контакты и напорные воды, если они имеются, оказывают существенное влияние. Всё это вызывает необходимость детального изучения литологического состава и прочности пород лежачего бока на глубину, на 15-20% превышающую глубину залегания угольного пласта.

Оползни изотропных массивов и покровные оползни. Оползни изотропных массивов характеризуются тем, что они не связаны с наличием поверхностей ослабления, слабых прослойков и водоносных слоев. Ими охватываются большей частью отдельные уступы однородных слабофильтрующих пород: суглинков, песчаных глин и слабых алевролитов. Благодаря тому, что в массиве поверхности ослабления отсутствуют, поверхность скольжения имеет вид плавной кривой в нижней и средней частях, а вверху она заканчивается вертикальной трещиной отрыва. Причиной возникновения оползней этого вида является наличие вблизи от откосов водосточных канав или впадин, в которых скапливаются дождевые и талые воды, а также грунтовые воды, фильтрующиеся из вышележащих уступов. Вследствие низких фильтрационных свойств пород, подвергающихся оползням этого вида, поглощаемая ими вода не высачивается в откосе, а увеличивает водонасыщенность вплоть до полного насыщения и набухания до текущего состояния. Такого рода оползни наблюдаются на угольных карьерах на тех участках, где происходит скопление дождевых, талых и промышленных вод.

Покровные оползни характеризуются тем, что деформации подвергается покров рыхлых водонасыщенных пород, подстилаемый устойчивыми, более крепкими, имеющими наклонную (пологую) поверхность. Покровные оползни на карьерах подобны оползням делювиальных отложений по поверхности коренных пород на естественных склонах.

При разведке месторождений особое внимание должно быть уделено делювиальным отложениям в пределах поля будущего карьера и в прилегающих к нему участках, ширина которых при естественных склонах в пределах 8-15° определяется расстоянием до водораздела.

Фильтрационные оползни. К группе фильтрационных отнесены оползни, связанные с деформацией поверхности откосов под влиянием высачивания грунтовых вод: спливами насыщенных водой песчаных глин, оплыvанием песков, размыванием песчано-глинистых пород, подстилающих неоплывающие водоносные слои (трещиноватых опок, гравия и др.). Оползни этого вида обычно возникают при горизонтальном залегании чередующихся слоёв водоносных и водоупорных пород, среди которых имеются пески или интенсивно размокающие песчаные глины или глинистые песчаники и слабые алевролиты.

Оплывины и сплыви чаше всего являются начальной стадией фильтрационных оползней, однако часто и оползни переходят в оплывины, если породы склонны набухать до текущего состояния. Исследования пород на оплывание в откосах при разведке месторождений сводятся к определению размокаемости у песчано-глинистых отложений и к определению гранулометрического и минерального состава, а также плотности у песков.

При разведке месторождений, сложенных или покрытых горизонтально залегающими слоистыми слабыми глинистыми породами с прослойками водоносных пород, необходимо детально изучать все литологические разности и их чередуемость в разрезе. При наклоне слоёв более 5° изучение слабых слоистых пород в лежачем боку необходимо проводить более детально.

Оплывины и просадки. На карьерах наблюдаются значительно реже, чем первые три вида деформаций бортов.

Причинами возникновения просадок являются: 1) насыщение водой высокопористых рыхлых пород – лёссов, лёссовидных суглинков и каолиновых элювиальных глин, 2) уплотнение отвалов рыхлых пород при их увлажнении и 3) наличие слабых пластичных слоёв в основании откоса (последний вид просадки связан с выпиранием или выдавливанием слоёв весьма слабых пород, залегающих в основании откосов, и только по форме проявления на поверхности относится к просадке; природа же этой деформации ближе к оползням, хотя и не всегда такая деформация приводит к оползанию откосов). При разведке месторождений высокопористые слабые породы должны испытываться на просадочность.

На устойчивость бортов и уступов карьеров наибольшее влияние оказывают: подземные и поверхностные воды (50% общего количества нарушений); недостаточная геологическая



изученность и, как следствие, неверно выбранные параметры откосов (15%), воздействие процессов выветривания и климатических условий (8%) [3].

Для карьеров агрохимического сырья доля оползней составляет 85%, на остальные деформации приходится 15%. Примерно такое же соотношение характерно и для угольной промышленности. Это связано с преимущественным распространением на карьерах этих отраслей слабых и полускальных комплексов пород. На рудных же карьерах преобладает скальная горная масса (80%). Поведение пород, слагающих уступы, борта и отвалы на карьерах, определяется физико-географическими, геологическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими и горно-технологическими факторами. Рельеф района месторождения влияет на начальное напряжённое состояние массива, определяет выбор решений по вскрытию карьерных полей и технологии формирования бортов карьеров и отвалов. Естественные поверхностные водоёмы могут участвовать в обводнении открытых горных выработок.

Водоносные горизонты дренируются горными выработками, то есть вода из водоносных горизонтов поступает в выработки. При этом возникают оползневые деформации бортов карьеров. С атмосферными осадками связано более 25% деформаций откосов.

Температурный режим района, глубина сезонного промерзания и оттаивания пород сказываются на интенсификации процессов выветривания слабостойких пород, образовании осыпей, разрушении транспортных площадок.

Гидрогеологические факторы обуславливают развитие следующих процессов: набухание, снижение прочности, местные деформации откосов песчано-глинистых пород под влиянием подземных, дождевых и талых вод; внезапные прорывы подземных вод при вскрытии карстовых полостей и т. д.

На устойчивость откосов сооружений в частности карьеров угольных месторождений влияют также характер контактов почвы и кровли угольных пластов с вмещающими породами и прочностные свойства контактов; прослои углисто-глинистых и глинистых пород во вмещающей толще, слагающей борта карьеров, пространственное распространение и свойства этих прослоев; трещиноватость глинистых отложений — элювиальных и делювиальных глин, а также пластичных глин морской и лагунной фаций; диапировые складки и другие осложнённые формы залегания слоёв; криогенные особенности контактов и слабых прослоев в породах, слагающих борта карьеров (льдистость, мощность ледяных прослоев и включений и их распространение по площади) [21].

К числу горнотехнических факторов, влияющих на устойчивость откосных сооружений, относятся способ вскрытия, система разработки и отдельные производственные процессы; способ производства буровзрывных работ.

Классификация горных пород и группировка угольных месторождений по условиям устойчивости бортов карьеров. Обводнённость месторождений, многолетняя мерзлота

Основными показателями физико-механических свойств горных пород, определяющими их устойчивость в бортах карьеров, являются прочность пород в образце, интенсивность и характер трещиноватости, выветрелость, растворимость, склонность к разуплотнению и набуханию, склонность к пластическим деформациям (ползучести). В зависимости от этих свойств все горные породы разделяются на пять групп, общая характеристика которых дана в табл. 6.

При изучении устойчивости бортов карьеров границей между породами прочными и породами средней прочности принято временное сопротивление сжатию в образце R_c , равное 80 МПа. Эта граница выбрана из тех соображений, что при сопротивлении сжатию более 80 МПа углы наклона бортов открытых горных выработок при наиболее распространённой средней глубине (в пределах 200-300 м) зависят только от элементов залегания поверхностей ослабления, от характера и степени трещиноватости, от технологических факторов и не зависят от прочности пород в образце [21].



Таблица 6 – Классификация горных пород по их устойчивости в бортах карьеров
Table 6 – Classification of rocks by their stability in the sides of open pits

Группа пород	Общая характеристика группы	Основные представители	Основные показатели устойчивости откосов
I. Прочные (сколькие)	$R_c > 80$ МПа, слаботрещиноватые, слабовыветриваемые, не набухают, в бортах карьеров не подвергаются пластическим деформациям	Невыветрелые и слабовыветрелые изверженные и метаморфические породы, кварцевые песчаники, известняки и кремнистые конгломераты	Характеристики сопротивления сдвигу по поверхностям ослабления ϕ' и C' и элементы залегания этих поверхностей
II. Средней прочности (сколькие)	$R_c = 8-80$ МПа, трещиноватые, интенсивно выветриваются, не набухают, не размокают, не пластичны	Выветрелые разности изверженных и метаморфических пород, глинистые и песчано-глинистые сланцы, глинистые и известковистые песчаники, аргиллиты, алевролиты, мергели, известковистые конгломераты и брекчии, угли, известняк-ракушечник	Характеристики прочности пород в образце ϕ и C и по поверхностям ослабления ϕ' и C' , элементы залегания поверхностей ослабления, характер и интенсивность трещиноватости
III. Слабые (глинистые)	$R_c < 8$ МПа, набухают, размокают, пластичны, интенсивно выветриваются и осыпаются, оползают	Сильновыветрелые или полностью дезинтегрированные изверженные и метаморфические, а также выветрелые разности осадочных пород второй группы, все разновидности глин, супесей и суглинков, глинистые пески и галечники, мел, лёсс, делювиальные и моренные отложения	Характеристики ϕ , C , ϕ' и C' ; интенсивность трещиноватости, залегание поверхностей ослабления; водонасыщенность и напорные воды
IV. Несвязные (сыпучие)	Сцепление отсутствует; углы внутреннего трения и естественного откоса изменяются в пределах 28-38°; пластически не деформируются; не размокают и не оползают	Каменистые и щебёночные накопления у основания откосов пород первой и второй групп, чистые галечники и пески	Угол внутреннего трения (или угол естественного откоса), зависящий от коэффициента трения поверхности частиц (обломков) и от их формы
V. Илы и плытуны	Сцепление менее 0,02 МПа, в водонасыщенном состоянии внутреннее трение отсутствует	Современные илисто-глинистые озёрные, болотные и лагунные осадки, рыхлые водонасыщенные пылеватые пески и глины, водонасыщенные почвы, заторфованные осадки, водонасыщенные лёгкие и пылеватые суглинки	В откосах высотой более 3-5 м неустойчивы; не могут служить устойчивым основанием отвалов, оборудования и дорог



Границей между породами средней прочности и связными глинистыми (слабыми) принято временное сопротивление сжатию 8 МПа из тех соображений, что породы меньшей прочности, во-первых, имеют заметную склонность к набуханию (разуплотнению) при снижении в них напряжений и наличии подтока воды и, во-вторых, в бортах карьеров глубиной более 200 м они подвергаются пластическим деформациям (ползучести).

При изучении инженерно-геологических условий месторождений твёрдых полезных ископаемых, подлежащих разработке открытым способом, с целью определения состава, объёма и методики инженерно-геологического изучения, а также при определении углов наклона бортов карьеров и при разработке мероприятий, предотвращающих развитие деформаций, возникает необходимость классифицировать месторождения по условиям устойчивости бортов карьеров (табл. 7).

Инженерно-геологические условия угольных месторождений разнообразны, что определяется многообразием структурных форм и степенью тектонической нарушенности, петрографических типов изучаемых пород, степенью выдержанности и их состава и свойств в разрезе вскрываемой толщи, а также гидрогеологических условий угольных месторождений.

Таблица 7 – Группировка угольных месторождений по основным факторам, влияющим на устойчивость бортов карьеров

Table 7 – Classification of coal deposits by the main factors affecting the stability of open pit sides

Группа месторождений	Прочность в образце и литологический тип пород месторождения	Подгруппы угольных месторождений по сложности геологического строения		
		простое	средней сложности	сложное
I	Скальные породы – $R_c > 80$ МПа; $C > 20$ МПа. Песчаники, алевролиты, гравелиты и конгломераты с прочным кварцевым и кремнистым цементом, известняки плотные	Ненарушенное или слабо тектонически нарушенное горизонтальное, пологое залегание пород, выдержанность слоев по мощности и простиранию, отсутствие или незначительное проявление дополнительной складчатости и разрывных нарушений; преимущественно нормальносекущая трещиноватость (три основные системы трещин), простые гидрогеологические условия. Пример: Тугнуйская угленосная площадь	Тектонически нарушенное наклонное и крутое залегание пород, простые складчатые структуры, наличие отдельных зон дробления, разрывных нарушений, иногда со значительным перемещением пород, повышенная трещиноватость (преобладают 4-5 систем трещин). Пример: Нерюнгринское каменноугольное месторождение	Интенсивно тектонически нарушенное наклонное и крутое залегание пород, интенсивная складчатость, широкое развитие разрывных нарушений, значительное число тектонических трещин большого протяжения, крутое и пологое падение, высокая трещиноватость (имеют развитие трещины более чем пяти систем), Возможны средней сложности и сложные гидрогеологические условия: при наличии водонепроницаемых тектонических зон, за которыми могут сохраняться запасы воды с большими напорами
II		Слабая фациальная изменчивость пород, спокойное горизонтальное или пологое залегание и малая нарушенность	Горизонтальное, наклонное и крутое залегание, осложненное разрывными нарушениями;	Наклонное и крутое залегание, частое чередование пород, невыдержаных по мощности, наличие серии надвигов и сбросов,



Группа месторождений	Прочность в образце и литологический тип пород месторождения	Подгруппы угольных месторождений по сложности геологического строения		
		простое	средней сложности	сложное
		пород, преобладает нормальносекущая трещиноватость; простые гидрогеологические условия. Пример: Азейское буроугольное месторождение	нормально- и кососекущая трещиноватость пород. Более сложные гидрогеологические условия, особенно со стороны лежачего бока. Примеры: Экибастузское каменноугольное и Коркинское буроугольное месторождения	сплошных трещин, высокая трещиноватость пород. Гидрогеологические условия средней сложности: наличие водонепроницаемых тектонических зон, за которыми могут сохраняться запасы воды с большими напорами; наличие водоносных горизонтов в лежачем боку. Пример: Бачатское каменноугольное месторождение
III	Связные глинистые и несвязные рыхлые породы – $R_c < 8$ МПа; $C < 2$ МПа. Слабо-уплотненные песчано-глинистые породы (алевролиты, аргиллиты, песчаники); мягкие связные (глины, суглинки, супеси); рыхлые несвязные (пески, гравий, галечники) различной степени уплотнения	Слабая фациальная изменчивость пород; горизонтально залегающие слои пород; простые гидрогеологические условия. Примеры: Днепровский буроугольный бассейн, Райчихинское буроугольное месторождение	Пологозалегающие слои пород, значительная фациальная изменчивость пород; сложные гидрогеологические условия. Примеры: Подмосковный буроугольный бассейн, Кушмурунское и Ирша-Бородинское буроугольные месторождения	Горизонтально, полого- и крутозалегающие слои, сильная фациальная изменчивость, развитие дизьюнктивных нарушений, сложные гидрогеологические условия (перемежаемость слоев различных водоносных пород и слоев глинистых водоупорных пород); наличие водоносных горизонтов в лежачем боку. Примеры: североуральские буроугольные месторождения, Южно-Уральский буроугольный бассейн, Вахрушевское буроугольное месторождение (о. Сахалин)

В основу группировки месторождений положены физико-механические свойства углевмещающих пород, структурно-тектонические, литолого-фациальные особенности и гидрогеологические условия месторождений. Угленосные толщи сложены в основном песчано-глинистыми породами разной степени литификации, различных гранулометрического и вещественного составов; подчинённое развитие имеют грубообломочные породы (галечники, конгломераты и брекчии); в небольшом объёме в них иногда содержатся карбонатные и вулканогенные породы. По прочности пород в основном слагающих угленосную толщу, угольные месторождения разделены на три группы.



По условиям геологического строения угленосной толщи (структурно-тектонической обстановке, фациально-литологической изменчивости пород, гидрогеологических условий), определяющим сложность изучения факторов, оказывающих влияние на устойчивость бортов карьеров, и объём инженерно-геологического изучения, каждая группа угольных месторождений разделена на три подгруппы: 1) простого строения; 2) средней сложности строения; 3) сложного строения.

Структурно-тектоническое строение угленосных толщ связано с историей развития тех областей земной коры, в которых происходило углеобразование. Лишь на немногих месторождениях первичные формы залегания углесодержащих толщ в последующем были изменены незначительно: преобладающее влияние тектонических процессов на угленосные формации отразилось в проявлении разнообразных форм складчатых и разрывных нарушений.

Разнообразие структурных форм залегания горных пород и их нарушенности проявляется не только на месторождениях различных генетических групп (геосинклинальная, платформенная и др.), но и на одном и том же месторождении.

В пределах всего месторождения или локальных участков крупных месторождений разных генетических групп наблюдается сходная тектоническая обстановка, что даёт основание объединять такие участки (или месторождения) по структурно-тектоническим условиям для определения устойчивости бортов карьеров.

Основными структурными формами угольных месторождений (или участков крупных месторождений) являются следующие:

- моноклинали – крылья пологих структур платформ, крупных синклинальных и антиклинальных структур в складчатых бассейнах и месторождениях (с падением от нескольких до 90°);
- брахиформы, ограниченные по размерам и простые по строению;
- складчатые формы.

Наложение на складчатые формы разрывных нарушений (зоны разлома, дробления) в значительной степени усложняет строение угольных месторождений. Интенсивность проявления разрывной тектоники различна. Некоторые месторождения характеризуются отсутствием разрывных нарушений или крайне слабым их проявлением.

По наиболее существенным особенностям структурно-тектонического строения угольные месторождения (или их участки) для определения устойчивости бортов карьеров разделены на следующие подгруппы:

- угленосные площади (участки) с горизонтальным или пологим залеганием пород угленосной толщи, осложнённым волнистостью и редкими разрывными нарушениями;
- угленосные площади (участки) с пологим, наклонным и крутым, часто мульдообразным залеганием угленосной толщи, осложнённым рядом складчатых и разрывных нарушений, обусловивших создание крупноблоковых структур залегания угленосных отложений;
- угленосные площади (участки) с наклонным и крутым залеганием угленосных отложений с интенсивной складчатостью и широким проявлением разрывов, создающих мелкоблоковые структуры.

Существенное влияние на устойчивость откосов оказывают состав пород и их литолого-фацевальная выдержанность пород по площади, мощность отдельных слоёв и их чередование в разрезе угленосной толщи. Основное внимание при проведении исследований должно уделяться выявлению слоев наиболее слабых разностей пород геологического разреза прибортового массива и изучению их состава, строения, свойств и степени пространственной выдержанности. Особенно это важно для месторождений, сложенных осадочной толщей слабых глинистых и несвязанных пород.

Большое влияние на устойчивость откосов несвязанных и слабосвязанных осадочных и интенсивно выветрелых скальных и полускальных пород оказывают гидрогеологические факторы. На устойчивость откосов скальных и полускальных трещиноватых пород гидрогеологические факторы оказывают значительно меньшее влияние, однако при наличии в толще трещиноватых пород прибортового массива водонепроницаемых тектонических зон за



ними могут сохраняться запасы воды с большими напорами, что ведёт зачастую к деформациям откосов.

К числу гидрогеологических факторов относятся, во-первых, число водоносных горизонтов или водоносных зон, их распространение в разрезе и в плане, а также комплексов относительно водоупорных пород, во-вторых, литолого-структурная характеристика пород, слагающих выделенные водоносные и водоупорные комплексы, в-третьих, характер питания и разгрузки, связь с поверхностными водоёмами и реками, положение поверхностей естественных уровней (напоров) водоносных горизонтов.

В зависимости от этих факторов угольные месторождения, предназначенные к открытой разработке, в процессе разведки могут быть разделены на месторождения с простыми, средней сложности, сложными гидрогеологическими условиями.

Простые гидрогеологические условия характерны для месторождений, сложенных:

- слабыми глинистыми, песчано-глинистыми и несвязанными породами или осадочными уплотнёнными породами, в которых значительную часть составляют глинистые образования типа сланцев, аргиллитов, плотных глин, а также породами глинистой коры выветривания (при её значительной мощности) при горизонтальном залегании слоёв пород, при слабой фациальной изменчивости слоев, при преобладании в разрезе комплекса толщи пород значительной проницаемости, при залегании комплекса горных пород значительно выше местного базиса эрозии, вследствие чего водоносные горизонты имеют ограниченное распространение и питание, естественную разгрузку и содержат небольшие естественные запасы;

- преимущественно скальными и полускальными горными породами, практически не меняющими прочности под влиянием подземных и поверхностных вод, основная обводнённость связана с трещиноватыми породами при отсутствии крупных тектонических зон дробления или закартированных пород, распространяющихся за пределы месторождений.

Средней сложности гидрогеологические условия характерны для месторождений, сложенных:

- слабыми и полускальными горными породами – слабыми глинистыми, песчано-глинистыми, осадочными уплотнёнными породами, при горизонтальном, пологом залегании и при значительной фациальной изменчивости слоёв; значительной изменчивости залегания слоёв, при наличии нескольких водоносных горизонтов, переслаивании водоносных пород с практически водоупорными;

- скальными и полускальными трещиноватыми породами, в которых слабые глинистые породы могут находиться в виде относительно тонких слоёв в осадочной толще или в виде непроницаемых «завес» в тектонических нарушениях.

Сложные гидрогеологические условия характерны для месторождений, сложенных:

- слабыми песчано-глинистыми, полускальными и скальными породами, имеющими сложную структуру (линзообразная форма залегания отложений, наличие размывов и диапировых складок, вторичная складчатость или тектоническая нарушенность – зоны или системы тектонических нарушений, зоны сбросов, надвигов и т.д.); наклонное и мульдообразное залегание перемежающихся водоносных и водоупорных слоёв пород предопределяет сохранение высоких напоров в водоносных горизонтах лежачего бока пласта (при любой водообильности пород).

Обводнённость месторождений

Главные факторы обводнённости – это пространственное распространение водоносных горизонтов и режим поступления подземных вод в горные выработки. В числе других факторов обводнённости можно назвать следующие: климатические условия, рельеф и гидрография района; геологические строение и тектоническая нарушенность месторождения; характер и степень развития экзогенных изменений зон выветривания, карста и др; условия залегания и морфология тел полезных ископаемых; их пространственное соотношение с водоносными горизонтами; техногенные нарушения гидрогеологического режима.

Зоны тектонических нарушений являются участками сосредоточенного, а иногда катастрофического поступления воды в горные выработки. Имеются примеры затопления шахт



и карьеров подземными водами, поступающими по тектоническим нарушениям, вскрытым горными выработками [2].

Показатели обводнённости месторождений полезных ископаемых определяются статическими, динамическими запасами (ресурсами) подземных вод в водоносных горизонтах.

Статические запасы равны объёмам воды в водоносных горизонтах и старых затопленных выработках. Динамические запасы подземных вод соответствуют расходу воды, протекающей через поперечное сечение водоносного горизонта в единицу времени.

На восьма обводнённых месторождениях суммарный приток воды к месторождению достигает 1500-2500 м³/ч. На шахтах Кузбасса притоки подземных вод более или менее близки по величине, изменяясь в среднем от 100 до 200 м³/ч и в некоторых случаях возрастая до 300-350 м³/ч. Повышенная обводнённость коренных пород наблюдается там, где усиливается местное питание, например под террасами рек Томи, Ини, а также под крупными логами и водотоками, иногда достигая 1000 м³/ч. В общем случае наибольшая водообильность связывается с наиболее трещиноватыми и крупнозернистыми породами: песчаниками и конгломератами, находящимися вблизи поверхности в зоне выветривания. С глубиной по мере уменьшения трещиноватости понижается водоносность пород, и на глубине 100-200 м почти все породы угленосной толщи обводнены восьма слабо [22].

Многолетняя мерзлота

Многолетнемёрзлые породы распространены примерно на половине территории бывшего СССР. На площади многолетнемёрзлых пород мощность (глубина мерзлой толщи) зависит от климатических условий и увеличивается в направлении районов наиболее низких температур в продолжительном периоде времени. От южной границы многолетнемёрзлых пород мощность мерзлоты увеличивается в северном и северо-восточном направлениях и достигает 400-500 м у берегов Северного Ледовитого океана. Однако на всей территории многолетнемёрзлых пород могут быть таликовые площади, и чем ближе к южной границе, тем их больше. Вблизи южной границы развита островная многолетняя мерзлота. В пределах Камчатки, Урала, Алтая, Саян и других хребтов многолетнемёрзлые породы распространяются на высокогорных участках. Чем ниже температуры грунтов в верхних слоях литосферы, тем устойчивее и ниже температура многолетнемёрзлых пород. Наиболее низкая среднегодовая их температура отмечена на севере п-ова Таймыр, на глубине 10-15 м она равна -13...-15°C; в Оймяконе -10...-12°C, Якутске -4°C, Чите -2°C, Салехарде -1°C, Воркуте -0,3...-0,6°C, а вдоль южной границы области многолетнемёрзлых грунтов приближается к 0°C.

В настоящее время имеется большое количество инженерных сооружений на площадях распространения многолетнемёрзлых грунтов. Большой опыт шахтного строительства накоплен при освоении Печорского угольного бассейна. В частности, из опыта строительства шахт на Воркутинском месторождении определилось, что чем ниже температура грунтов в верхних слоях литосферы, тем большей несущей способностью обладают естественные грунтовые основания, тем легче сохранить эти основания в мерзлом состоянии в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений, воздвигнутых на них. Это справедливо и для других районов с устойчивой и низкотемпературной мерзлотой, где строительство по принципу сохранения грунтов оснований в мерзлом состоянии может быть осуществлено проще, так как повышение температуры под подошвой фундаментов на 1-2°C в этих условиях не угрожает разрушению мерзлой структуры грунтов.

Для всех разрабатываемых подземным способом месторождений угля северо-востока бывшего СССР, Якутии и Забайкалья характерна небольшая глубина горных работ: от 15 до 150-200 м. На большинстве месторождений этих районов угли разрабатываются только в зоне многолетнемёрзлых пород. Исследования физико-механических свойств углей на Харанорском месторождении показали, что мерзлые бурые угли значительно прочнее талых. Предел прочности при одноосном сжатии мерзлых углей перпендикулярно слоистости колеблется от 10 до 15 МПа, а параллельно слоистости – от 6,5 до 15 МПа; при испытании талых углей соответственно 5-7 и 4-6 МПа.

Для отбойки мерзлых углей требуется больше энергозатрат, а с учётом осложнений, связанных со смерзанием кусков после отбойки, удорожается стоимость добычи угля. В то же



время мёрзлые угли и породы устойчивы в горных выработках при условии сохранения их температуры. На Аркагалинском месторождении угли разрабатываются в зоне развития многолетней мерзлоты, в которой водоносные горизонты полностью скованы, угли и горные породы вследствие цементации трещин льдом приобретают большую устойчивость, исключая зоны нарушений, где пласты угля и породы сильно перемяты и ослаблены. Ниже зоны многолетней мерзлоты породы сильно обводнены и подмерзлотные воды дают высокий напор, обусловленный синклинальным характером месторождения и наличием мощного водоупора многолетнемерзлых пород.

Наиболее сложной для разработки углей всех месторождений является переходная зона от мёрзлых к талым породам. Переход от мёрзлых к талым породам происходит постепенно, мощность и положение этой зоны невыдержаные. По мере приближения к немёрзлым породам могут возникнуть увеличенное горное давление и пучение пород, а также прорывы подмерзлотных вод в горные выработки. Следует отметить, что на Аркагалинском месторождении и на всех остальных, расположенных в зоне многолетнемёрзлых пород, вопросы гидрогеологических условий разработки в мёрзлой зоне литосферы и в немёрзлых породах в достаточной степени ещё не изучены.

Многолетнемёрзлые породы газонепроницаемы, поэтому они затрудняют природную дегазацию пластов, очевидно, газоносность их в подмерзлотной зоне будет значительно выше, чем в обычных условиях. На примере разработки Анадырского месторождения установлено, что в зоне многолетней мерзлоты метана выделяется меньше, чем в зоне талых пород. Однако на Зырянском месторождении в зоне «волглой» мерзлоты было пройдено несколько мелких шахт, эксплуатация которых вскоре была прекращена вследствие значительного выделения метана, скопления в выработках большого количества угольной пыли и склонности угля к самовозгоранию. В зоне многолетнемёрзлых пород в шахтах осложняется вентиляция, увлажнение угля для борьбы с пылью в связи с опаиванием угля и пород, что вызывает значительные удорожания горных работ.

Классификация сложных горно-геологических условий строительства подземных сооружений

Сложные горно-геологические условия строительства подземных сооружений подразделяются на гидрогеологические, газодинамические и геомеханические [23].

Сложные гидрогеологические условия. Под ними понимаются такие условия, при которых обводнённость породных массивов исключает возможность строительства подземных сооружений обычными способами.

Строительство подземных объектов в сложных гидрогеологических условиях вызывает прорывы напорных вод и плыунов в забой выработки. В этих случаях для борьбы с водой и давлениями, вызываемыми её присутствием в породах, применяются способы воздействия на массив (специальные способы). К основным случаям применения специальных способов относится строительство подземных сооружений:

- в рыхлых водонасыщенных породах (плыунах), представленных слабосвязанными песчано-глинистыми породами различного гранулометрического состава, которые под воздействием гидростатического напора приобретают свойства текучего тела;
- в устойчивых трещиноватых, весьма водообильных породах, представленных песчаниками, известняками, мергелями и т. п.

В практике шахтного и подземного строительства в сложных гидрогеологических условиях используются следующие способы воздействия на массив горных пород (специальные способы):

- **замораживание.** Способ температурного воздействия на массив горных пород с целью создания в нём водонепроницаемого ледопородного ограждения, способного противостоять внешнему давлению пород и подземных вод;

- **водопонижение.** Способ гидравлического воздействия на массив горных пород с целью снижения уровня или напора подземных вод. Сущность способа заключается в том, что до начала горно-строительных работ по периметру или трассе подземного объекта бурят систему водопонизительных скважин;



- **тампонаж.** Способ гидравлического воздействия на массив горных пород с целью создания в нём инъектированной упрочнённой зоны, способной противостоять внешнему давлению пород и поступлению в выработку подземных вод. Сущность способа заключается в искусственном заполнении трещин, пустот, пор в массиве горных пород через систему скважин материалом, способным со временем затвердевать. Тампонажный раствор нагнетают под давлением в 2-3 раза большим, чем гидростатическое давление подземных вод;

- **опускные сооружения.** Способ механического воздействия на массив горных пород с целью создания в нём опережающего грузонесущего ограждения, перекрывающего несвязанные водонасыщенные породы. Сущность способа заключается в том, что на земной поверхности возводятся стены будущего подземного сооружения, снабжённого в нижней части режущим башмаком и имеющего замкнутую форму поперечного сечения.

Имеются также другие способы [16, 23].

Сложные газодинамические условия. Под сложными газодинамическими условиями следует понимать такие условия, при которых проходка горных выработок вызывает самопроизвольное разрушение угольного (породного) массива под действием горного давления, давления газа и собственного веса угля (породы). К числу газодинамических явлений при проходке горных выработок относятся: внезапные выбросы угля и газа, внезапные выбросы песчаника, горные удары, супфляры (интенсивное выделение газа из массива горных пород или угольных пластов по трещинам, к примеру, 1 м³/мин на участке выработки до 20 м).

В сложных газодинамических условиях применяются следующие способы воздействия на массив: дегазация, увлажнение, гидрорыхление, гидровымывание, физико-химическое воздействие.

Сложные геомеханические условия. Под сложными геомеханическими условиями следует понимать такие условия, при которых строительство подземных сооружений вызывает образование областей разрушения и незатухающие пластические деформации массива горных пород.

В сложных геомеханических условиях применяются следующие способы воздействия на массив:

- разгрузка скважинами, щелями, камуфлетным взрывом – способы предупреждения пучения пород почвы выработки за счёт искусственного образования в приконтурном массиве локальной зоны пониженных напряжений;

- активная разгрузка, последующее упрочнение – способ изменения напряжённо-деформированного состояния приконтурного массива выработки за счёт его разгрузки камуфлетным взрывом с последующим упрочнением тампонажными растворами;

- уплотнение пород взрывом – способ упрочнения водонасыщенных глинистых пород за счёт их уплотнения камуфлетным взрывом и снижения фильтрационной способности;

- упрочняющий тампонаж – способ воздействия на массив горных пород с целью создания в нём инъектированной упрочнённой зоны, способной противостоять внешнему давлению;

- анкерование почвы – способ механического упрочнения пучащих пород почвы путём установки анкеров. Анкерная крепь (штанговая крепь) представляет собой металлические, железобетонные, реже деревянные стержни, закреплённые в массиве пород; скрепляют идерживают эти породы от расслоения, сдвижения и обрушения;

- проходка широким забоем. Это способ снижения напряжённо-деформированного состояния массива, прилегающего к выработке, и создание условий, благоприятствующих уменьшению интенсивности и равномерности смещения пород.

Заключение

В данной статье приведены сведения о наиболее важных горно-геологических и инженерно-геологических факторах, определяющих технику и технологию разработки, условия безопасности и комфортность труда горняков. К ним относятся: физико-механические свойства вмещающих пород и углей, их устойчивость в горных выработках, малоамплитудная нарушенность, трещиноватость, элементы залегания угольных пластов, а также такие процессы, осложняющие ведение эксплуатационных работ, как горные удары, выбросы газа, угля и пород,



мерзлотные и сейсмические явления, самовозгорание углей и т.д. Также дано краткое описание Кузнецкого угольного бассейна, его тектоники, метаморфизма и качества углей.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2025 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Скурский Михаил Данилович, доктор геолого-минералогических наук, профессор

e-mail: skurskymd@kuzstu.ru

Забайкальский государственный университет

672039, Российская Федерация, Читинская область, г. Чита, улица Александро-Заводская, 30

Список литературы

1. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. – М., Недра, 1991. – 362 с.
2. Ершов В.В. Основы горнопромышленной геологии. – М., Недра, 1998. – 348 с.
3. Гальперин, А.М. Гидрология и инженерная геология / А.М. Гальперин, В.С. Зайцев // М., Недра, 1989. – 383 с.
4. Сергеев Е.М. Инженерная геология // М., изд-во МГУ. – 1982.
5. Вылегжанин В.Н. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов / В.Н. Вылегжанин, П.В. Егоров, В.И. Мурашов // Новосибирск, Наука, 1990. – 295 с.
6. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов // М., Недра, 1980. – 210 с.
7. Геологический словарь // М., Недра, 1978. – 940 с.
8. Справочник по инженерной геологии / под ред. М.В. Чурикова. М., Недра, 1968. – 350 с.
9. Свирский, М.А. Рудничная геология / М.А. Свирский, М.Н. Чумаченко, Б.И. Афонин // М., Недра, 1987. – 237 с.
10. Панюков П.Н. Инженерная геология // М., Недра, 1978. – 296 с.
11. Советский энциклопедический словарь // М., Советская энциклопедия, 1984. – 1599 с.
12. Кравцов А.И. Основы геологии горючих ископаемых // М., Высшая школа, 1982. – 424 с.
13. Строганов В.А. Как образовались полезные ископаемые // Вестник РАН. – 1998. – Т. 68, №12. – С. 1081-1083.
14. Геомеханика / П.В. Егоров, Г.Г. Штумпф, А.А. Ренев и др. // Кемерово, 2000. – 220 с.
15. Труфанов В.Н. Роль процессов углеводородной флюидизации в формировании метанообильных зон в угленосных бассейнах / В.Н. Труфанов, М.И. Гамов, Ю.Г. Майский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №6. – С. 20-26.
16. Мартынов В.Л. Геомеханика. Управление состоянием массива горных пород при открытой геотехнологии : учебное пособие / В.Л. Мартынов, О.И. Литвин, С.О. Марков // Кемерово, КузГТУ. – 2019. – 259 с.
17. Бетехтин А.Г. Минералогия // М., Госгеолиздат, 1950. – 952 с.
18. Месторождения полезных ископаемых // М., изд-во МГГУ. – 2001. – 570 с.
19. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых // М., Наука, 1987. – 332 с.
20. Голицын М.В. Все об угле / М.В. Голицын, А.М. Голицын // М., Наука, 1989. – 192 с.
21. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом // Л., Недра, 1986. – 113 с.
22. Штумпф Г.Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: Справочник / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов // М., Недра, 1994. – 447 с.
23. Картозия Б.А. Строительная геотехнология / Б.А. Картозия, А.В. Корчак, С.А. Мельникова // М., изд-во МГГУ. – 2003. – 230 с.
24. Юзвицкий А.З. Кузнецкий угольный бассейн // Угольная база России. Т. 2. Угольные бассейны и месторождений Сибири / Под ред. В.Ф. Череповского; ООО "Геоинформцентр". – М., 2003.
25. Геология угольных месторождений СССР. М., изд-во МГУ, 1990. – 352 с.
26. Инженерная геология угольных месторождений Сибири и Дальнего Востока. Т. 1: Закономерности формирования инженерно-геологических условий угольных месторождений. – Томск, изд-во Томского ун-та, 1991. – 288 с.



27. Петрология палеозойских углей СССР. – М., Недра, 1975. – 215 с.
28. Аммосов И.И. Петрографические особенности и свойства углей / И.И. Аммосов, И.В. Еремин, Н.И. Бабинкова // М., изд-во АН СССР, 1963. – 210 с.
29. Голицын М.В. Газоугольные бассейны России и мира / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина. Под ред. В.Ф. Череповского // М., изд-во МГУ, 2002. – 250 с.
30. Арцер А.С. Угли Кузбасса: Происхождение, качество, использование. Кн. 1 / А.С. Арцер, С.И. Протасов // Кемерово : КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 1999. – 177 с.
31. Арцер А.С. Угли Кузбасса: Происхождение, качество, использование. Кн. 2 / А.С. Арцер, С.И. Протасов // Кемерово : КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 1999. – 168 с.
32. Попов В.С. Геотектонический режим образования угленосных формаций. В кн.: Угленосные формации и их генезис // М., Наука, 1973. – С. 24-30.
33. Арбузов С.И. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Пощелуев // Кемерово, 2000. – 248 с.
34. Нифантов Ф.П. Инженерно-геологическая характеристика характеристика Кузнецкого региона / Ф.П. Нифантов, В.Е. Ольховатенко, Е.В. Трепетцев // Инженерная геология СССР. Т.5: Алтай, Урал – М., изд-во МГУ, 1978. – 420 с.
35. Жемчужников Ю.А. Общая геология ископаемых углей // М., Углехиздат, 1948. – 490 с.
36. Еремин И.В. Петрография и физические свойства углей / И.В. Еремин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев // М., Недра, – 1980. – 263 с.
37. Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород / под ред. Г.А. Иванова. – М. Недра, 1975. – 256 с.
38. Юзвицкий А.З. Тектонические структуры и метаморфизм углей Кузбасса / в кн.: Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород. Под ред. Г.А. Иванова // М., Недра, 1975. – С 118-130.
39. Муромцев В.С. Битумопроявления и породы, обогащенные органическим веществом / Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Кузбасса // Л., Госнаучтехиздат, 1959.
40. Красный Л.И. Глобальная система геоблоков // М., Недра, 1984. – 224 с.
41. Погребнов Н.И. Геотектонические условия размещения угленосных формаций / в кн.: Угленосные формации и их генезис // М., Наука, 1973. – С. 81-85.
42. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Общие данные по угольным бассейнам и месторождениям СССР // М., Недра, 1978. – Т. 12. – 530 с.
43. Голицын М.В. Коксующиеся угли России и мира: Справочник / М.В. Голицын, А.М. Голицын // М., Недра, 1996. – 239 с.

GENERAL INFORMATION ABOUT THE KUZNETSKY COAL BASIN. MINING, GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CONDITIONS OF COAL DEPOSITS DEVELOPMENT

Mikhail D. Skursky

Transbaikal State University



Article info

Received:
17 September 2021

Revised:
25 January 2022

Accepted:
22 September 2025

Keywords: Kuzbass, hard coal, Kuznetsk coal basin, coal grades,

Abstract.

Development of coal deposits is one of the most complicated branches of the mining industry due to significant differences in the degree of lithification and metamorphism of both coals and host rocks, diversity of structural forms of rock occurrence and their disturbance, manifested not only in deposits of different genetic types, but also within the same deposit (often within the boundaries of the mine field or surface mine). Mining operations are complicated by the multi-seam nature of the fields, differences in the thickness and structure of coal seams, sharp differentiation in the thickness of interseam intervals, the phenomena of splitting and genetic cleavage of coal seams, manifestations of scour, small-amplitude tectonics, etc. These geological peculiarities determine the necessity to create numerous types of mining equipment, complicate the course of operating works and labor conditions of workers. Specific to the development of coal deposits are such complicating factors as spontaneous



geological structure, tectonics, coal-bearing deposits, coal seam, geotechnical engineering, control of rock mass condition, coal properties, spontaneous combustion, landslides, water saturation, rock mass deformation, coal metamorphism, slope stability, coal properties

combustion of coal, gas emissions, explosiveness of coal dust, manifestations of coal, gas and rock emissions, mining shocks, etc. Further technical and economic progress of the coal industry is impossible without comprehensive and deep knowledge of mining and geological conditions of coal deposits development. In a broad concept mining-geological conditions of development include: the relief of the field, morphology, depth and structural conditions of occurrence of coal seams (tectonics), their thickness, structure, degree of maturity and distribution in the section (coal-bearingness), composition and physical and mechanical properties of coals and rocks, natural gas content of the field, watering and its temperature regime. This article considers mining, geological and geotechnical conditions for the development of coal deposits, including in relation to the Kuznetsk coal basin.

For citation Skursky M.D. General information about the Kuznetsky coal basin. Mining, geological and geotechnical conditions of coal deposits exploitation. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2025;3(30):4-56. DOI: 10.26730/2618-7434-2025-3-4-56. EDN: VVHFZJ

References

1. Mironov K.V. Reference Book for Coal Geologists. – Moscow, Nedra Publishing House, 1991. – 362 p.
2. Ershov V.V. Fundamentals of Mining Geology. – Moscow, Nedra Publishing House, 1998. – 348 p.
3. Galperin, A.M. Hydrology and Engineering Geology / A.M. Galperin, V.S. Zaitsev // Moscow, Nedra Publishing House, 1989. – 383 p.
4. Sergeev E.M. Engineering Geology // Moscow, Moscow State University Press. – 1982.
5. Vylegzhannin, V.N. Structural Models of Mountain Massifs in the Mechanism of Geomechanical Processes / V.N. Vylegzhannin, P.V. Egorov, V.I. Murashov // Novosibirsk, Nauka Publishing House, 1990. – 295 p.
6. Lysenko M.P. Composition and Physical and Mechanical Properties of Soils // Moscow, Nedra Publishing House, 1980. – 210 p.
7. Geological Dictionary // Moscow, Nedra Publishing House, 1978. – 940 p.
8. Reference Book on Engineering Geology / edited by M.V. Churinov. Moscow, Nedra Publishing House, 1968. – 350 p.
9. Svirsky, M.A. Mine Geology / M.A. Svirsky, M.N. Chumachenko, B.I. Afonin // Moscow, Nedra Publishing House, 1987. – 237 p.
10. Panyukov P.N. Engineering Geology // Moscow, Nedra Publishing House, 1978. – 296 p.
11. Soviet Encyclopedic Dictionary // Moscow, Soviet Encyclopedia Publishing House, 1984. – 1599 p.
12. Kravtsov A.I. Fundamentals of the Geology of Combustible Minerals // Moscow, Higher School Publishing House, 1982. – 424 p.
13. Stroganov V.A. How Minerals Were Formed // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – 1998. – Vol. 68, No. 12. – pp. 1081-1083.
14. Geomechanics / P.V. Egorov, G.G. Shtumpf, A.A. Renev et al. // Kemerovo, 2000. – 220 pp.
15. Trufanov V.N. The role of hydrocarbon fluidization processes in the formation of methane-rich zones in coal-bearing basins / V.N. Trufanov, M.I. Gamov, Yu.G. Maisky // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2002. – No. 6. – Pp. 20-26.
16. Martyanov V.L. Geomechanics. Management of rock mass condition in open-pit mining: textbook / V.L. Martyanov, O.I. Litvin, S.O. Markov // Kemerovo, KuzSTU. – 2019. – 259 p.
17. Betechtin A.G. Mineralogy // Moscow, Gosgeolizdat Publishing House, 1950. – 952 p.
18. Mineral deposits // Moscow, Moscow State Geological University Publishing House. – 2001. – 570 p.
19. Petrology of Organic Substances in the Geology of Combustible Minerals // Moscow, Nauka Publishing House, 1987. – 332 p.
20. Golitsyn M.V. All About Coal / M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn // Moscow, Nauka Publishing House, 1989. – 192 p.
21. Methodological guide for studying the engineering-geological conditions of coal deposits to be developed by open-pit mining // L., Nedra Publishing House, 1986. – 113 p.
22. Shtumpf G.G. Physical and technical properties of rocks and coal in the Kuznetsk Basin: Reference book / G.G. Shtumpf, Yu.A. Ryzhkov, V.A. Shalamanov // Moscow, Nedra Publishing House, 1994. – 447 p.
23. Kartozia B.A. Construction Geotechnology / B.A. Kartozia, A.V. Korchak, S.A. Melnikova // Moscow, Moscow State Geological University Publishing House. – 2003. – 230 p.



24. Yuzvitsky, A.Z. Kuznetsk Coal Basin // Coal Base of Russia. Vol. 2. Coal Basins and Deposits of Siberia / Edited by V.F. Cherepovsky; Geoinformcenter LLC. – Moscow, 2003.
25. Geology of Coal Deposits in the USSR. Moscow, Moscow State University Press, 1990. – 352 p.
26. Engineering Geology of Coal Deposits in Siberia and the Far East. Vol. 1: Patterns in the Formation of Engineering-Geological Conditions of Coal Deposits. – Tomsk, Tomsk University Press, 1991. – 288 p.
27. Petrology of Paleozoic Coals of the USSR. – Moscow, Nedra Publishing House, 1975. – 215 p.
28. Ammosov I.I. Petrographic features and properties of coals / I.I. Ammosov, I.V. Eremin, N.I. Babinkova // Moscow, USSR Academy of Sciences Publishing House, 1963. – 210 p.
29. Golitsyn, M.V. Gas Coal Basins of Russia and the World / M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn, N.V. Pronina. Edited by V.F. Cherepovsky // Moscow, Moscow State University Press, 2002. – 250 p.
30. Artser, A.S. Coal of Kuzbass: Origin, Quality, Use. Book 1 / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 1999. – 177 p.
31. Artser, A.S. Coal of Kuzbass: Origin, Quality, Use. Book 2 / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 1999. – 168 p.
32. Popov V.S. Geotectonic regime of coal-bearing formations. In: Coal-bearing formations and their genesis // Moscow, Nauka Publishing House, 1973. – P. 24-30.
33. Arbuzov S.I. Rare elements in the coals of the Kuznetsk Basin / S.I. Arbuzov, V.V. Ershov, A.A. Potseuluev // Kemerovo, 2000. – 248 p.
34. Nifantov F.P. Engineering-geological characteristics of the Kuznetsk region / F.P. Nifantov, V.E. Olkhovattenko, E.V. Trepets // Engineering Geology of the USSR. Vol. 5: Altai, Ural – Moscow, Moscow State University Press, 1978. – 420 p.
35. Zhemchuzhnikov Yu.A. General geology of fossil coals // Moscow, Ugletekhizdat Publishing House, 1948. – 490 p.
36. Eremin I.V. Petrography and physical properties of coals / I.V. Eremin, V.V. Lebedev, D.A. Tsikarev // Moscow, Nedra Publishing House. – 1980. – 263 p.
37. Metamorphism of coals and epigenesis of host rocks / ed. by G.A. Ivanov. – Moscow, Nedra Publishing House, 1975. – 256 p.
38. Yu. Z. Yuzvitsky. Tectonic structures and coal metamorphism in Kuzbass / in: Coal metamorphism and epigenesis of host rocks. Edited by G. A. Ivanov // Moscow, Nedra Publishing House, 1975. – pp. 118-130.
39. Muromtsev V.S. Bitumen occurrences and rocks enriched with organic matter / Geological structure and prospects for oil and gas in Kuzbass // L., Gosnauchtekhnizdat Publishing House, 1959.
40. Krasny L.I. Global system of geoblocks // Moscow, Nedra Publishing House, 1984. – 224 p.
41. Pogrebnov N.I. Geotectonic conditions for the location of coal-bearing formations / in: Coal-bearing formations and their genesis // Moscow, Nauka Publishing House, 1973. – pp. 81-85.
42. Geology of coal and oil shale deposits in the USSR. General data on coal basins and deposits in the USSR // Moscow, Nedra Publishing House, 1978. – Vol. 12. – 530 p.
43. Golitsyn M.V. Coking Coals of Russia and the World: Reference Book / M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn // Moscow, Nedra Publishing House, 1996. – 239 pp.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2025 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Mikhail D. Skursky, Dr.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Surveying and Geology Department
e-mail: skurskymd@kuzstu.ru

Transbaikal State University
30 Alexandro-Zavodskaya str., Russian Federation, Chita, 672039

