

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

В. Е. ОЛЬХОВАТЕНКО

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА**

Томск
Издательство ТГАСУ
2014

УДК 550.8:553.94
ББК 26.325.33

Ольховатенко, В.Е. Инженерная геология угольных месторождений Кузнецкого бассейна [Текст] : монография / В.Е. Ольховатенко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 150 с.
ISBN 978-5-93057-619-1

В работе приводятся результаты многолетних инженерно-геологических исследований угольных месторождений Кузнецкого бассейна, выполненных с целью оценки условий строительства и устойчивости бортов карьеров. Освещаются физико-географические условия территории, геологическое строение, тектоника и гидрогеологические особенности месторождений.

Описаны закономерности формирования физико-механических свойств горных пород при литогенезе и природа их прочности. Приведены инженерно-геологическая классификация горных пород и типизация угольных месторождений по инженерно-геологическим условиям. Рассмотрены вопросы методики инженерно-геологических исследований при разведке угольных месторождений. Приведены результаты расчетов устойчивости бортов карьеров и рекомендации по обеспечению геологической безопасности при эксплуатации углеразрезов.

Книга предназначена для специалистов в области разведки угольных месторождений, проектирования и эксплуатации углеразрезов, а также для научных сотрудников, аспирантов и студентов.

УДК 550.8:553.94
ББК 26.325.33

Рецензенты:

Г.И. Швецов, докт. геол.-мин. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, заведующий кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия», АлтГТУ;

В.К. Попов, докт. геол.-мин. наук, профессор кафедры «Гидрогеология, инженерная геология и гидрогеология», ТПУ.

ISBN 978-5-93057-619-1

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2014
© В.Е. Ольховатенко, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальнейших проблем современной инженерной геологии является изучение инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Особенное значение приобретают вопросы, связанные с исследованием инженерно-геологических условий при разведке угольных месторождений Кузбасса, намечаемых к открытой разработке.

В настоящее время в Кузбассе действует более 20 углеразрезков, ведется проектирование новых мощных угольных карьеров глубиной свыше 500 м. В связи с проектированием и строительством таких мощных карьеров исключительно актуальное значение приобретает проблема устойчивости бортов, успешное решение которой возможно лишь благодаря всестороннему изучению инженерно-геологических условий в период разведки угольных месторождений. Изучение инженерно-геологических условий при разведке угольных месторождений Кузбасса с целью оценки устойчивости бортов проводится кафедрой инженерной геологии и геоэкологии Томского государственного архитектурно-строительного университета на протяжении ряда лет. К настоящему времени инженерно-геологические исследования выполнены на крупнейших угольных месторождениях и карьерах бассейна: Талдинском, Караканском, Моховском, Ерунаковском Южном, Киселевском, Бачатском, Томь-Усинском, Кедровском, Латышевском и др.

Наряду с изучением инженерно-геологических условий в период разведки угольных месторождений Кузбасса проводились исследования на действующих угольных карьерах бассейна, которые позволили наиболее правильно подойти к оценке устойчивости пород в бортах карьеров. Исследования подобного рода выполнены на крупнейшем Бачатском углеразрезе в связи с его реконструкцией, а также Кедровском, Новоколбинском, Хорошеборском, Латышевском, Моховском, Новосергеевском, Киселевском, Томь-Усинском, Сибиргинском и других угольных карьерах.

Таким образом, на большей части Кузнецкого бассейна в пределах угольных месторождений, намечаемых к открытой разработке, и действующих угольных карьеров был выполнен широкий комплекс инженерно-геологических исследований, в том числе проведена инженерно-геологическая съемка на площади около 200 км², изучено около 7000 монолитов горных пород из угленосных отложений балахонской (С₂₋₃ – Р₁), кольчугинской (Р₂), тарбаганской (J₁₋₃) серий и отложений четвертичного возраста (Q₃₋₄); изучен петрографический состав горных пород угленосных отложений Кузбасса по 2000 образцам с применением обычного и электронного микроскопов, термометрического и рентгеноструктурного методов; проведено 300 натуральных испытаний в бортах действующих карьеров Кузбасса.

Проведенные инженерно-геологические исследования и выполненные на их основе обобщения позволили решить следующие задачи:

- 1) выявить условия формирования физико-механических свойств осадочных горных пород угленосных отложений Кузбасса в процессе литогенеза и природу их прочности;
- 2) установить закономерности пространственной изменчивости физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса;
- 3) разработать инженерно-геологическую классификацию горных пород Кузбасса применительно к оценке устойчивости бортов карьеров с учетом особенностей условий их формирования и закономерностей пространственной изменчивости физико-механических свойств;

4) произвести инженерно-геологическое районирование территории Кузнецкого угольного бассейна и типизацию угольных месторождений по инженерно-геологическим условиям строительства крупных карьеров;

5) разработать методику инженерно-геологических исследований при разведке угольных месторождений Кузбасса, подлежащих открытой разработке, с учетом сложности их инженерно-геологического строения и закономерностей изменчивости состава и физико-механических свойств горных пород;

6) выяснить влияние общих инженерно-геологических условий Кузбасса на разработку угольных месторождений открытым способом;

7) дать количественную оценку устойчивости бортов проектируемых и действующих карьеров Кузбасса с учетом особенности инженерно-геологического строения региона.

При освоении угольных месторождений Кузбасса исключительно актуальное значение приобретают экологические проблемы, связанные с влиянием угледобывающих комплексов на состояние окружающей среды. При разработке открытым способом происходят необратимые изменения рельефа и ландшафта местности, загрязнение угольной пылью атмосферы, поверхностных и подземных вод. Одной из центральных геоэкологических проблем является развитие опасных геологических процессов в бортах угольных карьеров. С целью обеспечения геоэкологической безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом необходимо разработать комплекс мероприятий по организации мониторинга и охране окружающей среды, включающий:

- обоснование системы мониторинга за состоянием окружающей среды;
- организацию наблюдений за компонентами окружающей среды;
- выполнение работ по рекультивации нарушенных земель;
- выполнение мероприятий по обеспечению устойчивости пород в отвалах;
- при проектировании и реконструкции карьеров углы наклона необходимо принимать с учетом выполненных расчетов.

1. ОБЩИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРЬЕРОВ В КУЗНЕЦКОМ УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ

1.1. Физико-географические условия разработки открытым способом угольных месторождений Кузбасса

Кузнецкий угольный бассейн представляет собой крупный синклиниорий, имеющий в плане форму неправильного четырехугольника, длинная ось которого ориентирована в направлении северо-запад – юго-восток. Изучению геоморфологических условий и рельефа бассейна посвящены работы ряда исследователей. Среди них большой интерес представляет работа Ю.Б. Файнера [35], который дал схему структурно-геоморфологического районирования и выделил основные морфогенетические типы рельефа на территории Кузнецкого бассейна. Изучение физико-географических особенностей приобретает исключительно большое значение при оценке инженерно-геологических условий строительства крупных карьеров.

Анализ результатов ранее проведенных исследований и собственных наблюдений позволил произвести районирование территории Кузбасса по физико-географическим условиям. Критерием для расчленения территории бассейна на таксономические единицы, отличающиеся по физико-географическим условиям, послужили морфогенетические типы рельефа, ландшафтные и климатические зоны. Именно перечисленные факторы во многом определяют условия разработки угольных месторождений Кузбасса открытым способом.

На основании проведенного районирования выделено 6 морфогенетических типов рельефа*, 3 ландшафтные зоны и 5 климатических. Как установлено рядом исследователей, на формирование рельефа Кузнецкого бассейна существенное влияние оказали скорость и направление тектонических движений в различных его частях особенно в кайнозойскую эру. По мнению Ю.Б. Файнера [38], «эти движения, контролируя эрозионную деятельность, осадконакопление и сохранность мезозойских и кайнозойских осадков, в конечном счете определили характер современного рельефа».

В геоморфологическом отношении исследуемый регион представляет собой котловину, окруженную горными сооружениями: с востока – Кузнецким Алатау, юга – горной Шорией, юго-запада и запада – Колывань-Томской складчатой зоной (рис. 1.1).

Кузнецкий Алатау на общем фоне Алтае-Саянской складчатой области представляет совокупность горных массивов, отчетливо выраженных в рельефе в виде отдельных выступов.

Салаирский кряж в геоморфологическом отношении представляет древнюю пенепленизированную поверхность с абсолютными отметками 380–420 м.

Колывань-Томская складчатая зона в рельефе не выделяется. Для Кузнецкого угольного бассейна в целом характерно пологое погружение с востока и юго-востока на север и северо-запад. Как отмечалось ранее, в его пределах отчетливо выделяются 6 морфогенетических типов рельефа.

Низкогорный рельеф развит преимущественно за пределами угленосных отложений бассейна и обрамляет горные сооружения Кузнецкого Алатау и Горной Шории. Его отличительной особенностью является наличие узких водораздельных увалов, обычно вытянутых по простиранию пород.

Холмисто-увалистый рельеф пользуется широким распространением в юго-западной части бассейна на территории развития угленосных отложений. Граница распространения его на севере проходит по возвышенностям «Мелafirовой подковы» – своеобразным фор-

* Морфогенетические типы рельефа на карте физико-географических условий выделены по Ю.Б. Файнеру.

мам рельефа, представленным Караканским хребтом, Тарадановским увалом, Салтымаковским хребтом, Кайлотскими и Абинскими горами.

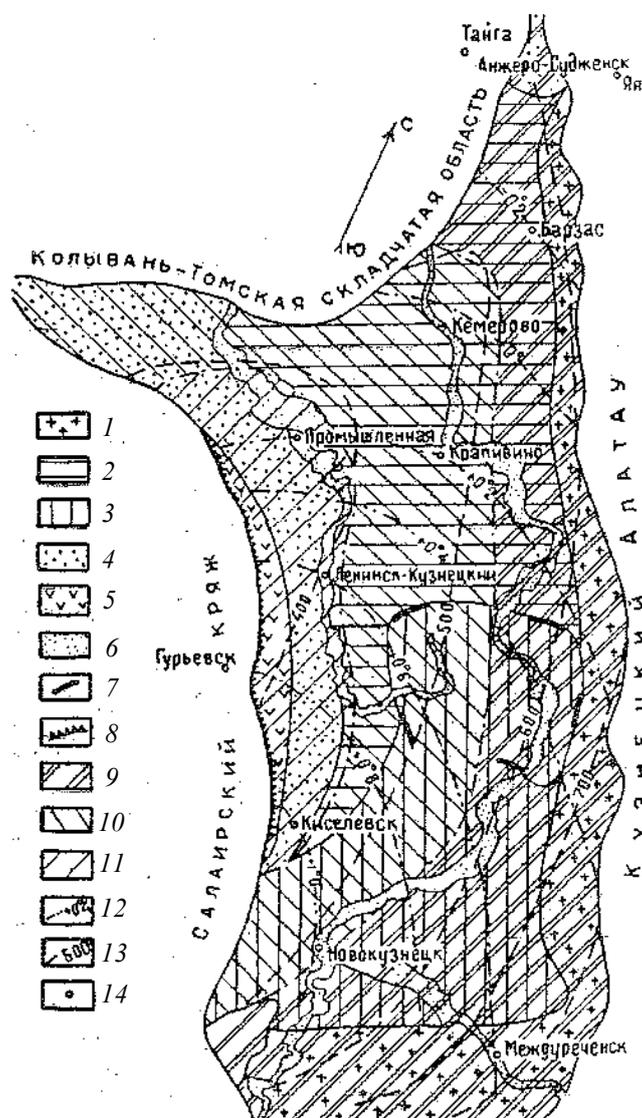


Рис. 1.1. Схематическая карта физико-географических условий Кузбасса:

морфогенетические типы рельефа: 1 – низкогорный рельеф; 2 – слаборасчлененный рельеф аккумулятивно-денудационной равнины; 3 – холмисто-увалистый рельеф; 4 – плосковолнистый рельеф слаборасчлененной аккумулятивной равнины; 5 – холмисто-грядовый рельеф эрозионно-тектонической равнины; 6 – долины крупных рек; 7 – горы «Мелафировой подковы»; 8 – уступ Салаирского края «Тырган»; ландшафтные зоны: 9 – зона тайги; 10 – зона лесостепи; 11 – зона степи; климатические зоны: весьма слабоувлажненная ($S < 400$ мм в год); слабоувлажненная ($S < 400-500$ мм в год); увлажненная ($S = 500-600$ мм в год); сильноувлажненная ($S = 600-700$ мм в год); весьма сильноувлажненная ($S > 700$ мм в год); 12 – среднегодовая температуры воздуха, °C; 13 – среднегодовое количество осадков, мм; 14 – метеостанции

Слаборасчлененный рельеф аккумулятивно-денудационной равнины пользуется широким распространением на территории Кузнецкого угольного бассейна. С ним связано широкое развитие плоских водоразделов, расчлененных логами и оврагами. Речные долины, как правило, заболочены, склоны их выпуклые.

Плосковолистый слаборасчлененный и холмисто-грядовый эрозионно-тектонический типы рельефа развиты в Присалаирской полосе Кузбасса. От Салаирского края они отделе-

ны тектоническим уступом «Тырган». Данный тип рельефа формировался под влиянием эрозионно-тектонической деятельности, что привело к образованию мелких корытообразных впадин, чередующихся с холмами, расположенными в виде гряд или цепочек [35].

В тесной связи с типами рельефа и структурным положением Кузнецкой котловины в системе Саяно-Алтайской складчатой области находятся климатические и ландшафтные зоны бассейна. На его территории, как уже отмечалось выше, выделяются 3 ландшафтные зоны и 5 климатических.

Зона тайги распространяется преимущественно в пределах низкогорного рельефа на границе с Кузнецким Алатау и Горной Шорией, а также частично на территории развития холмисто-увалистого и слаборасчлененного типов рельефа. Для зоны тайги характерна повышенная увлажненность за счет выпадения значительного количества атмосферных осадков (более 500 мм в год). Причем в юго-восточной части этой зоны количество атмосферных осадков увеличивается до 800 мм в год.

Зона лесостепи занимает значительную часть Кузбасса и простирается широкой полосой с северо-запада на юго-восток. Степень увлажненности в пределах лесостепной зоны значительно ниже по сравнению с зоной тайги. Среднегодовое количество осадков здесь колеблется от 400 до 500 мм, а в северо-западной части бассейна не превышает 400 мм в год.

Зона открытой степи развита преимущественно в Присалаирской полосе Кузбасса и тесно связана с плосковолнистым, слаборасчлененным рельефом аккумулятивной равнины. Северная часть зоны слабоувлажненная со среднегодовым количеством атмосферных осадков менее 400 мм, в южной части последнее увеличивается до 450 мм в год.

На формирование климата Кузнецкого угольного бассейна большое влияние оказывает его положение в системе Саяно-Алтайской складчатой области. Защищенность бассейна со стороны Кузнецкого Алатау, Горной Шории и Салаирского кряжа препятствует проникновению влажных воздушных масс, а открытость со стороны Колывань-Томской складчатой зоны способствует вторжению на его территорию арктического воздуха с Ледовитого океана.

Анализ климатических данных по 12 метеостанциям за последние 10 лет показал, что климат Кузбасса резко континентальный с суровой довольно продолжительной зимой и жарким коротким летом. Среднегодовая температура воздуха с севера на юг закономерно возрастает. Если в районе ст. Яя она составляет $-0,7^{\circ}\text{C}$, то в Кемерове и Топках повышается до $-0,1^{\circ}\text{C}$, в Ленинске-Кузнецком увеличивается до $+0,6^{\circ}\text{C}$, а в Киселевске достигает $+1,2^{\circ}\text{C}$.

Первые заморозки в Кузбассе начинаются во второй половине августа, средняя температура которого составляет $+15-16^{\circ}\text{C}$, а минимальная в отдельные годы падает до $-1,7^{\circ}\text{C}$. Характер изменения температуры в течение года для различных районов бассейна существенно меняется. Абсолютный минимум ее ($-43-51^{\circ}\text{C}$) приходится на декабрь-январь, а абсолютный максимум ($+35,7-39,9^{\circ}\text{C}$) – на июль. Продолжительность безморозного периода в различных частях бассейна различная и составляет 95–115 дн. На характер распределения снегового покрова и глубину промерзания грунтов существенное влияние оказывают рельеф и ландшафт местности. Максимальная высота снегового покрова образуется в зоне тайги и составляет, по данным Барзасской метеостанции, 110 см при среднегодовом значении ее 74,0 см. В лесостепной зоне последняя снижается соответственно до 56 и 25 см. Отмеченное распределение снегового покрова обуславливает неравномерное промерзание почв и грунтов, максимальное значение которого наблюдается в лесостепной и степной зонах и составляет 242 см.

Атмосферные осадки крайне неравномерно распределяются на территории бассейна, что послужило основанием для выделения 5 климатических зон в его пределах. Зона весьма слабого увлажнения с количеством атмосферных осадков менее 400 мм в год развита в лесостепной и степной частях бассейна со слаборасчлененным полого-волнистым рельефом.

Максимальное количество атмосферных осадков выпадает в предгорной затаеженной юго-восточной и южной частях Кузбасса. Так, среднее годовое количество атмосферных осадков в районе Междуреченска составляет 870 мм, а максимум достигает в отдельные годы 1517 мм. Исследованиями установлено закономерное уменьшение количества атмосферных осадков в направлении с юго-востока на северо-запад. По сезонам года атмосферные осадки также распределяются неравномерно. Наибольшее количество их (51 %) выпадает летом; на осень, зиму и весну соответственно приходится 21, 8 и 20 %. Максимальное суточное количество осадков в период ливневых дождей достигает 60 мм. Годовой ход абсолютной влажности тесно связан с годовым ходом температуры и атмосферных осадков. Максимум его приходится на летние месяцы, минимум – на зимние.

Заканчивая характеристику климата, следует подчеркнуть, что господствующими направлениями ветров в северной части бассейна являются юго-западное и южное; в Присаляирской полосе Кузбасса преобладают юго-западные ветры. В пределах низкогорного рельефа таежной зоны (Междуреченск) направление ветров сменяется на северо-западное, юго-западное и северо-восточное, что подчеркивает влияние структурного положения бассейна на циркулярный режим и климат.

Гидрографическая сеть Кузбасса представлена несколькими крупными реками (Томь, Иня, Кондома, Мра-Су) и их многочисленными притоками.

Томь берет свое начало в Кузнецком Алатау и имеет общую длину 839 км. На территории Кузнецкого бассейна ее длина составляет 420 км. В пределах западных склонов Кузнецкого Алатау и Салтымаковского хребта *Томь* является типично горной рекой с узкой глубоко врезанной долиной; в северной части бассейна происходит выполаживание русла и образуется широкая разработанная долина. Площадь водосбора р. Томи у Новокузнецка составляет 29 800 км², максимальный многолетний расход – 8760 м³/с, средний – 928 м³/с, а минимальный – 61,6 м³/с. Наивысший уровень воды у Новокузнецка за последние 10 лет составил 732 см, у пос. Крапивино – 918 см, а у Кемерова – 1019 см.

Иня начинается с Тарадановского увала и впадает в р. Обь. Площадь водосбора ее у ст. Промышленной составляет 7910 км², у Ленинска-Кузнецкого – 5460 км². Долина реки широкая, плоская, с крутым правым бортом. Средний многолетний расход р. Ини для поста у ст. Промышленной – 230 м³/с, у Ленинска-Кузнецкого – 318 м³/с. Максимальный расход соответственно составляет 737 и 713 м³/с.

В заключение отметим, что среди рек бассейна наибольшее отрицательное воздействие на освоение месторождений будут оказывать *Томь* и *Иня*, особенно при разработке углей под долинами этих рек.

1.2. Особенности геологического строения Кузнецкого угольного бассейна

1.2.1. Общее геотектоническое положение Кузбасса

Несмотря на многочисленные исследования различных авторов, единых взглядов на геотектоническое положение Кузбасса в системе Саяно-Алтайской складчатой области в настоящее время нет. Отдельные исследователи считают бассейны межгорной впадиной, другие – краевым прогибом. Однако, по мнению большинства исследователей (А.А. Белицкий, И.И. Молчанов, Э.М. Пах, А.В. Тыжнов), Кузнецкий бассейн представляет собой крупный синклиорий, заложенный в среднем и развивающийся преимущественно в позднем палеозое. На первом этапе своего развития он представлял краевой прогиб, который в более позднее время превратился в межгорную впадина [5]. Границей бассейна на юго-западе яв-

ляется крупный тектонический разрыв – Тырганский надвиг, который примыкает непосредственно к Салаирскому кряжу (рис. 1.1). Последний представляет раннегерцинскую структуру, не потерявшую активность в мезокайнозое. Северо-восточной и юго-восточной границами бассейна служат Кузнецкий Алатау и Горная Шория, которые, по мнению А.А. Белицкого, И.И. Молчанова, Э.М. Паха, А.В. Тыжнова и др. [5], в позднем палеозое представляли молодые платформы небольшой подвижности. На северо-западе Кузнецкий бассейн по Томскому надвигу граничит с Колывань-Томской складчатой областью, представляющей позднегерцинскую структуру с длительной историей развития.

Современное структурно-тектоническое положение Кузнецкого бассейна является результатом его длительного развития, сопровождающегося проявлением нескольких фаз тектогенеза. На территории бассейна в основном произошло складкообразование с последующим усложнением его в новокеммирийскую фазу. Это обусловило формирование двух структурных ярусов: нижнего, включающего интенсивно дислоцированные породы верхнего палеозоя, и верхнего, представленного породами мезозоя, претерпевшими меньшие изменения в процессе тектогенеза. На структурный план и тектонику бассейна существенное влияние оказали тангенциальные движения со стороны Салаира и Колывань-Томской складчатой области. Характер и интенсивность этих движений в различных частях бассейна проявились по-разному. На границе с Салаиром и Колывань-Томской складчатой областью шло формирование дугообразных линейных складчатых структур, значительно осложненных дизъюнктивной тектоникой [Там же].

По мере удаления от Салаира и Колывань-Томской складчатой области и приближения к центру бассейна тектоника упрощается, напряженная зона линейной складчатости сменяется брахисинклиналями, а затем в юго-восточной и восточной частях на границе с Горной Шорией и Кузнецким Алатау – моноклиналим спокойным залеганием пород.

Отмеченные особенности геотектонического строения бассейна оказывают исключительно большое влияние на инженерно-геологические условия строительства карьеров в Кузбассе. Именно под воздействием различных геотектонических процессов были существенно изменены первоначальные условия залегания пород, их состояние и физико-механические свойства. Следовательно, современный инженерно-геологический облик Кузбасса также является результатом его длительного геотектонического развития.

1.2.2. Краткая характеристика основных геолого-генетических комплексов горных пород

Кузнецкий угольный бассейн является объектом многочисленных геологических исследований как с момента открытия в нем каменных углей, так и до наших дней. Значительный вклад в изучение геологии Кузбасса внесли Л.И. Латугин, В.И. Яворский, М.А. Усов, В.А. Хахлов, В.Д. Фомичев, И.И. Молчанов, А.А. Белицкий, Э.М. Сендерзон, Г.А. Селятицкий, В.В. Пономарев, Э.М. Пах, Н.М. Белянин, Н.П. Елисафенко, А.И. Боев и др. Обобщение результатов исследований, проведенных на территории Кузнецкого бассейна, нашло свое отражение в монографии «Геология месторождений угля и горючих сланцев», выполненной большим коллективом авторов [Там же].

Благодаря трудам перечисленных исследователей, к настоящему времени довольно подробно изучено геологическое строение Кузнецкого бассейна, выявлены особенности его тектонического и гидрогеологического строения, а также разработана схема стратиграфического расчленения отложений бассейна.

На основании выполненных исследований и в соответствии с разработанной стратиграфической схемой на территории Кузнецкого бассейна выделяются следующие геолого-

генетические комплексы пород: 1) четвертичного возраста (Q_{3-4}); 2) палеогена и неогена (Pg и Ng); 3) континентальных отложений мезозоя (Mz); 4) континентальных угленосных отложений кольчугинской серии (P_2); 5) лагунно-континентальных угленосных отложений балахонской серии ($C_{2-3}-P_1bl$); 6) морских отложений (D_1-C_1t+v); 7) магматических горных пород (базальты, долериты, граниты, диабазы).

Среди выделенных геолого-генетических комплексов пород важную роль при инженерно-геологической оценке условий строительства карьеров будут играть угленосные отложения кольчугинской и балахонской серий, а также породы юры и покровные четвертичные образования. Подробное описание литолого-минералогического состава горных пород перечисленных комплексов будет дано в следующих разделах работы, посвященных выяснению условий формирования физико-механических свойств пород и природы их прочности. В связи с этим здесь ограничимся лишь краткой характеристикой тех геолого-генетических комплексов пород, которые будут оказывать влияние на строительство карьеров в Кузнецком бассейне.

Лагунно-континентальные отложения балахонской серии ($C_{2-3}-P_1bl$) залегают на морских нижнекаменноугольных отложениях мозжухинской серии и узкой полосой протягиваются по периферии Кузнецкой котловины. В разрезе балахонской серии согласно стратиграфической схеме Кузбасса выделяются острогская свита (C_2^3os), нижнебалахонская ($C_{2-3}bl$) и верхнебалахонская (P_1bl) подсерии. Литологический состав пород, слагающих острогскую свиту (C_2^3os), представлен конгломератами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Учитывая, что отложения острогской свиты являются непродуктивными и окажутся за пределами будущих карьеров, описание последних здесь не приводится.

Нижнебалахонская подсерия ($C_{2-3}bl$) согласно залегает на породах острогской свиты и литологически представлена переслаивающейся толщей песчаников, алевролитов, аргиллитов, угольных пластов с включениями линз глинистых и алевролитовых известняков. По данным А.Н. Волковой, песчаники и алевролиты в основном полимиктовые, содержащие в обломочной части 13–35 % кварца, 7–35 % полевых шпатов, 10–63 % эффузивов, 4–31 % кремнистых пород. Состав цемента глинисто-кремнистый, глинисто-слюдистый, глинисто-карбонатный. Среди минералов тяжелой фракции встречаются циркон, гранат, турмалин, рутил.

Глинистые породы нижнебалахонской подсерии представлены аргиллитами преимущественно каолинит-гидрослюдистого, реже бейделлит-гидрослюдистого состава [5]. Наряду с обломочными сцементированными и глинистыми породами в разрезе нижнебалахонской свиты встречаются известняки с примесью глинистого вещества, обломков кварца и листочков слюд. Описанные отложения согласно перекрываются породами верхнебалахонской подсерии, самой угленасыщенной части балахонской серии.

Верхнебалахонская подсерия (P_1bl) делится на четыре свиты: промежуточную, ишановскую, кемеровскую, усятскую. Максимальная мощность ее 850–1200 м. Литологически породы данной подсерии представлены конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами, углями, аргиллитами и их углистыми разностями.

Конгломераты верхнебалахонской подсерии по своему составу делятся на полимиктовые и олигомиктовые. По данным И.М. Белянина, П.В. Васюхичева, В.П. Петроченко, Э.М. Сендерзона [Там же], полимиктовые конгломераты сложены галькой изверженных (12–32 %), эффузивных (18–78 %) и метаморфических (12–22 %) пород. Иногда встречается галька осадочных пород.

Песчаники обычно серого цвета и отличаются высоким содержанием в обломочной части кварца, эффузивов, кремнистых пород и полевых шпатов.

Алевролиты в разрезе верхнебалахонской подсерии пользуются довольно широким распространением и представлены как крупными разностями, близкими к мелкозернистым

песчаникам, так и глинистыми разностями, близкими к аргиллитам. По сравнению с песчаниками в них увеличивается содержание кварцевого и кремнистого материала, а также слюд и акцессорных минералов.

Цемент алевролитов преимущественно глинистый, иногда глинисто-карбонатный, тип цемента пленочный или выполнения пор. По текстурным признакам отчетливо выделяются тонкогоризонтальнослоистые и массивные углистые алевролиты. Широким распространением в верхнебалахонской подсерии пользуются аргиллиты и их углистые разности. Для них характерно высокое содержание тонкодисперсных глинистых минералов преимущественно гидрослюдистого и каолинит-гидрослюдистого состава. Карбонатные породы в разрезе верхнебалахонской подсерии имеют подчиненное значение.

Континентальные отложения кольчугинской серии (P_2) отличаются от вышеописанных как по условиям образования, так и по литологическому составу горных пород и делятся на три подсерии: кузнецкую безугольную (P_2 kz), ильинскую (P_2 il) и ерунаковскую (P_2 er) угленосные. На дневную поверхность отложения кольчугинской серии выходят по периферийной части бассейна, а в центральной, юго-восточной и западной частях Кузбасса они перекрываются породами мезозойского возраста.

По литологическому составу наиболее разнообразной представляется ильинская подсерия, которая отчетливо делится на две пачки: красноярские песчаники и переслаивающуюся толщу песчаников, алевролитов, углистых аргиллитов и углей. Для красноярских песчаников характерны темные и темно-серые тона окраски, монолитная или слоистая текстура. По данным В.Я. Яворского, Ли [5], красноярские песчаники относятся к липтолимитовому и плейстомитовому типам и содержат в своем составе 76–85 % обломков горных пород, 10–25 % кварца, 3–8 % полевых шпатов. Тяжелая фракция представлена рудными минералами (до 10 %), гранатом, апатитом, турмалином (около 5 %). Самой угленасыщенной частью кольчугинской серии является ерунаковская подсерия, которая в свою очередь делится на три свиты: ленинскую, грамотеинскую, тайлуганскую.

Отложения ерунаковской подсерии представляют наибольший интерес в инженерно-геологическом отношении в связи с большой их угленосностью и наиболее благоприятными условиями для разработки угольных пластов открытым способом.

Ленинская свита в разрезе представлена песчаниками (56–38 %), алевролитами и аргиллитами (60–42 %) и характеризуется невысокой угленосностью. Самая высокая угленосность приурочена к отложениям грамотеинской свиты, где мощность угольных пластов достигает 10–12 м. Широким распространением в свите пользуются песчаники, алевролиты, реже встречаются аргиллиты и их углистые разновидности. В составе обломочной части песчаников преобладают зерна кварца, кремнистых и осадочных пород, полевых шпатов.

Алевролиты в составе свиты представлены различными типами – от крупных до мелкозернистых и даже тонкоглинистых. Венчает разрез палеозойских отложений Кузбасса тайлуганская свита, которая содержит те же литологические разности пород, что и грамотеинская.

Континентальные отложения мезозоя представлены породами триаса, юры, мела. Среди них наибольший интерес представляют отложения юры, которые занимают значительную часть Кузнецкого бассейна и в той или иной степени будут представлены в бортах будущих карьеров. Отложения тарбаганской серии (J_{1-3}) являются верхним структурным этажом продуктивной толщи Кузбасса. Отличительной особенностью средне-мезозойских отложений является значительное возрастание в них грубозернистых пород. Широким распространением здесь пользуются конгломераты и гравелиты. Для пород отчетливо наблюдается закономерное уменьшение грубозернистых разностей в разрезе серии снизу вверх, в также в юго-западном направлении. Последнее обусловлено положением областей питания в период среднепалеозойского осадконакопления.

Конгломераты пользуются широким распространением среди отложений тарбаганской серии и состоят преимущественно из гальки хорошей окатанности, сцементированной песчано-глинистым, иногда песчано-глинисто-карбонатным материалом. По составу обломки представлены изверженными, метаморфическими и осадочными породами с различным соотношением их в разрезе, что обусловлено составом горных пород областей питания. Для верхних горизонтов, по данным Н.М. Белянина и др., характерно преобладание в составе конгломератов гальки осадочных горных пород: песчаников, аргиллитов, каменных углей.

Песчаники пользуются широким распространением в тарбаганской серии и часто в нижних частях разреза переслаиваются с конгломератами, а в верхних – с алевролитами и аргиллитами. В их составе содержится до 75 % обломков метаморфических, кремнистых и эффузивных пород. Присутствуют также обломки кварца и полевых шпатов. Цемент породовый и планочный, иногда контактовый или коррозионный, а по составу глинисто-кремнистый, кремнисто-хлоритовый, хлорит-слюдистый, железистый и известковистый [5].

Алевролиты играют важную роль в составе отложений тарбаганской свиты и, как правило, приурочены к верхним частям свит. Внешне они представляют серые, темно-серые с зеленоватым оттенком породы, в составе которых преобладают обломки кварца, полевых шпатов, чешуек слюд и хлорита, а также глинистое и углистое вещество. Среди других литологических разностей пород в разрезе тарбаганской серии развиты аргиллиты, углистые породы и бурые угли. Для аргиллитов характерно преобладание глинистых частиц хлоритгидрослюдистого состава, а в углистых их разностях в значительных количествах присутствуют примеси углистого вещества. В целом отложения тарбаганской серии, слагающие верхний структурный состав, существенно отличаются от пород кольчугинской и балахонской серий нижнего структурного этажа. Эти различия обусловлены как условиями осадконакопления, так и последующими постдиагенетическими преобразованиями, проявившимися в различной степени в породах нижнего и верхнего структурных этажей. Последнее привело к существенным различиям в физико-механических свойствах пород среднепалеозойских и мезозойских отложений.

Четвертичные отложения пользуются повсеместным распространением в Кузбассе и представлены покровными суглинками, глинами, супесями и отложениями комплекса речных террас. Отложения речных и особенно низких и высоких пойм будут оказывать большое влияние на разработку месторождений открытым способом. Учитывая высокую обводненность данных отложений, следует ожидать значительные притоки в карьеры при разработке угля под долинами крупных рек. Кроме этого, четвертичные отложения вследствие существенно глинистого состава и невысокой прочности структурных связей будут характеризоваться самой низкой устойчивостью в бортах карьеров.

1.2.3. Тектоника и трещиноватость пород Кузнецкого бассейна

Изучению тектоники Кузнецкого угольного бассейна посвящена работа [5]. Как упоминалось выше, в настоящее время его принято считать синклинорием, заложившимся в среднем и развивавшимся преимущественно в позднем палеозое. При этом на первом этапе своего развития он представлял краевой прогиб, превратившийся затем в межгорную впадину. Для бассейна характерна горизонтальная и вертикальная зональность тектонического строения. Отчетливо наблюдается уменьшение тектонической напряженности и ослабление интенсивности складчатости от северо-западной и юго-западной окраин к центру и далее к северо-восточной и юго-восточной частям бассейна. Различие в тектоническом строении и тектонической напряженности отчетливо выражено и в вертикальном направлении. Так,

более древние верхние палеозойские породы подвергнуты более интенсивным складкообразным движениям по сравнению с мезозойскими.

Вопросам тектонического районирования Кузбасса посвящены многочисленные работы М.А. Усова, А.В. Тыжнова, Э.М. Сендерзона, А.А. Белицкого, И.И. Молчанова, Э.М. Паха и др.

В 1969 г. опубликована схема тектонического районирования А.А. Белицкого, И.И. Молчанова, Э.М. Паха, А.В. Тыжнова, согласно которой на площади развития палеозойских отложений Кузбасса выделяются четыре геотектонические зоны (рис. 1.2):

- 1) Присалаирская зона линейной складчатости и разрывов;
- 2) Приколывань-Томская зона линейной складчатости и разрывов;
- 3) Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий;
- 4) Приалатаусская и Пригорношорская зоны моноклиналей.

В.Я. Коудельным и Ю.Н. Поповым в 1971 г. предложена несколько иная тектоническая схема Кузбасса, разработанная, главным образом, применительно к решению вопросов методики опробования при разведке угольных месторождений. Этими же авторами разработана классификация площадей палеозойского угленакпления Кузбасса по структурно-тектоническим признакам. При дальнейших инженерно-геологических построениях нами принимается за основу схема А.А. Белицкого, И.И. Молчанова, Э.М. Паха, А.В. Тыжнова.

Согласно данной схеме, наиболее сложными в тектоническом отношении представляются Присалаирская и Приколывань-Томская зоны линейной складчатости и разрывов.

Присалаирская зона линейной складчатости расположена в юго-западной части бассейна в виде дуги выпуклостью к центру. Описываемая зона отчетливо делится на две подзоны: интенсивной линейной складчатости и пологой линейной складчатости. К первой относится Бачатская структура, представляющая собой брахосинклинальную складку, сложенную сильно нарушенными отложениями балахонской серии, месторождения Прокопьевско-Киселевского района и северная часть Чертинского блока. Для месторождения Прокопьевско-Киселевского района характерно наличие узких кулисообразных брахискладок, углы падения крыльев которых составляют 60–90°. Породы данного района интенсивно разбиты системой тектонических нарушений.

Подзона пологой линейной складчатости отделяется от вышеописанной системами взбросов (Журинский, Виноградовский, Кимчигизский, Кутоновский). Сюда входят Беловский, Ленинский, Грамотеинский, Уропский тектонические блоки, сложенные преимущественно угленосными отложениями кольчугинской серии. Характерным для брахиструктур этой подзоны является асимметричное строение с крутыми (45–70°) западными и пологими восточными крыльями.

Приколывань-Томская зона линейной складчатости, по данным А.А. Белицкого и др. [5], образовалась в результате тангенциальных движений со стороны Колывань-Томской складчатой дуги. Описываемая геотектоническая зона представляет собой дугообразную полосу, обращенную выпуклой стороной к центру бассейна и интенсивно разбитую крупными тектоническими нарушениями, расположенными также дугообразно (рис. 1.2). Наиболее крупными структурами этой зоны являются Анжерская синклиналь, Андреевская, Козлинская, Глушинская и Кедровско-Крокалевская брахисинклинали.

Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий является переходной от зоны линейных складок к зоне моноклиналей. Для нее характерны значительно меньшая дислоцированность осадков и разнообразная ориентировка осей складов.

Приалатаусская и Пригорношорская зоны моноклиналей развиты в юго-восточной и северо-восточной частях бассейна.

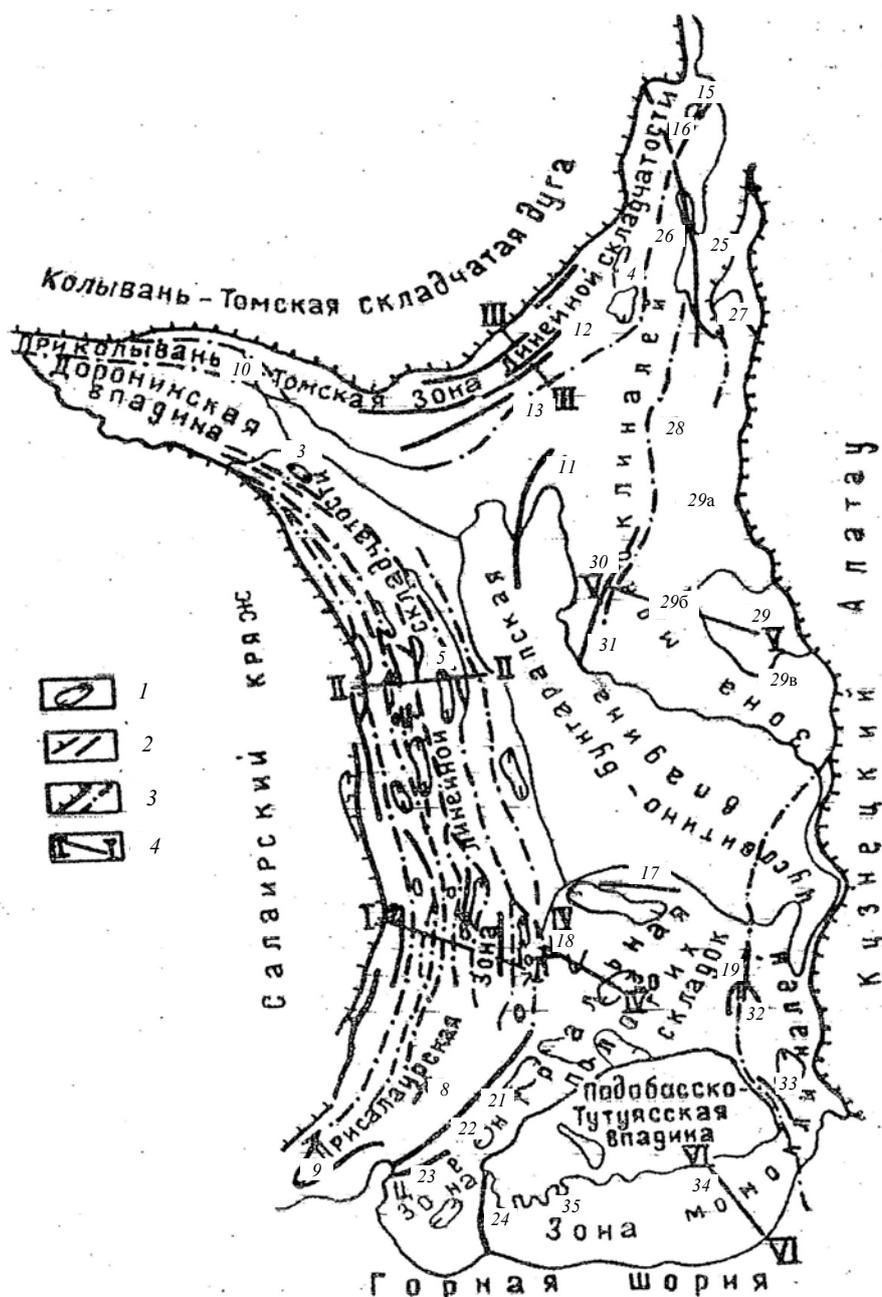


Рис. 1.2. Тектоническая схема Кузнецкого бассейна (по А.А. Белицкому, И.И. Молчанову, Э.М. Паху, А.В. Тыжнову, 1969):

1 – наиболее крупные брахисинклинали; 2 – обособленные крупные антиклинали; 3 – краевые разломы и крупные взбросы; 4 – линии разрезов. Наиболее крупные складки и структуры (цифры на карте): 1 – Бачатская сложная брахисинклираль; 2 – Прокопьевско-киселевский складчатый комплекс; 3 – Тарсьминская брахисинклираль; 4 – Беловские брахисинклинали; 5 – Ленинские брахисинклинали; 6 – Ускатские брахискладки; 7 – Каргайско-Тагарышские брахискладки; 8 – Аралическая сложная брахиантиклираль; 9 – Чумышская синклираль; 10 – Завьялово-Абашевский купол; 11 – Сыромолотненская антиклираль; 12 – Кемеровские мелкие линейные складки; 13 – Красноярский моноклираль; 14 – Кедровско-Глушинские брахискладки; 15 – Невская антиклираль; 16 – Анжеро-Судженские брахисинклинали; 17 – Нарьская антиклираль; 18 – Тагарышская антиклираль; 19 – Терсинские складки; 20 – Ерунаковские брахискладки; 21 – Байдаевско-Кушеяковские брахискладки; 22 – Осиновская брахисинклираль; 23 – Кинеркинская антиклираль; 24 – Шуштулепская антиклираль; 25 – Яйский «горст»; 26 – Крохалевско-Бирюлинский моноклираль; 27 – Тугонаковский грабен; 28 – Заломненская депрессия; 29 – Крапивинский купол (29а – Заломненское крыло, 29в – Тайдонское крыло); 30 – Северо-Борисовская антиклираль; 31 – Южно-Борисовская антиклираль; 32 – Терсинская антиклираль; 33 – Чексинская антиклираль; 34 – Томь-Усинская моноклираль; 35 – Мрасско-Кондомская моноклираль

Наряду с описанными геотектоническими зонами, распространенными в пределах развития палеозойских отложений, необходимо обратить внимание на широкое развитие мезозойских отложений верхнего структурного этажа, которые приурочены повсеместно к отрицательным структурам, наиболее крупными из которых являются Доронинская, Чусовитино-Бунгарапская и Тутуясская впадины. В пределах отмеченных структур мезозойские отложения залегают обычно полого, а углы падения составляют 3–10°. Заканчивая рассмотрение тектоники Кузбасса, необходимо отметить широкое развитие в его пределах складчатых и разрывных нарушений, особенно в Присалаирской и Приколывань-Томской складчатых зонах, где развиты линейно-напряженные брахисинклинальные структуры с падением крыльев складок 60–70°, иногда 90° и даже опрокинутые, имеющие острые, пикообразные формы.

На участках развития отложений кольчугинской серии в подзоне линейной складчатости часто встречаются одиночные брахосинклинали с широкими придонными частями.

Разрывные нарушения довольно широко распространены в Кузбассе. Исследования М.А. Усова, И.И. Молчанова, А.А. Белицкого, Э.М. Паха, А.В. Тыжнова и др. позволили выделить следующие генетические типы крупных разрывов: надвиги, развитые на границе с Салаиром и Колывань-Томской складчатой дугой, крупные разломы на границе с Кузнецким Алатау, продольные разрывы Присалаирской полосы Кузбасса. Мелкие разрывы широко развиты и возникают чаще всего в зоне влияния крупных продольных разрывов по трещиноватости пород, а также при складкообразовании и межслойных движениях.

Трещиноватость горных пород Кузбасса изучалась рядом исследователей (А.А. Белицкий, И.И. Молчанов, М.В. Мельников, В.Я. Коудельный). Она тесным образом связана с тектоническим строением региона. В настоящее время в Кузбассе выделяются в основном две генетические группы трещиноватости:

а) трещиноватость, образованная в процессе уплотнения осадков и колебательных движений под воздействием растягивающих напряжений доскладкообразования;

б) трещиноватость, возникшая под воздействием скалывающих напряжений при пластическом деформировании пород во время складкообразования. Завершение формирования данного типа трещин происходит в последующие фазы складкообразования.

К первой группе относятся, как правило, нормальносекущие трещины, ко второй – косесекущие. Нормальносекущая трещиноватость отчетливо выражена в породах Кузбасса независимо от их литологического состава во всех геотектонических зонах. В отличие от вышеописанной косесекущая трещиноватость развита преимущественно вблизи Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. Нередко данный тип трещин проявляется в виде скольжения и штриховки, являющихся признаками интенсивных движений [5]. Косесекущая трещиноватость отчетливо выражена в углях, которые подвергались наибольшему деформированию при складкообразовательных движениях. Наряду с отмеченными типами трещин в верхних частях разреза широко развиты различным образом ориентированные трещины, образовавшиеся в процессе выветривания горных пород. Последние также оказывают большое влияние на устойчивость бортов карьеров.

1.3. Гидрогеологические условия вскрытия угольных месторождений

В изучение гидрогеологических условий Кузнецкого бассейна большой вклад внесли Г.М. Рогов, Л.А. Соломко, В.К. Попов, Г.А. Плевако и др. Особенный интерес представляют обобщения по гидрогеологии Кузбасса, выполненные Г.М. Роговым, который впервые дал подробное описание гидрогеологических условий бассейна, произвел районирование его

территории и классифицирование шахтных полей и угольных месторождений по гидрогеологическим условиям разработки.

По фациально-геохимическим и гидрогеологическим особенностям Г.М. Рогов и Л.А. Соломко [5] в пределах Кузбасса выделяют шесть водоносных комплексов: 1) морских отложений; 2) лагунно-континентальных отложений балахонской серии ($C_{1os}-P_{1bl}$); 3) континентальных отложений кольчугинской серии (P_2); 4) мезозойских отложений; 5) магматических пород; 6) пород кайнозоя (Pg, Ng, Q).

Среди выделенных водоносных комплексов первый и пятый не представляют существенного интереса при решении вопросов устойчивости бортов карьеров и здесь не рассматриваются.

Водоносный комплекс лагунно-континентальных отложений балахонской серии ($C_{1os}-P_{1bl}$) пользуется довольно широким распространением в Кузбассе и характеризуется слабой водообильностью пород. Дебиты скважин, по данным Г.М. Рогова, не превышают 7,0 л/с, средние – 0,2–0,4 л/с. Притоки воды в шахты составляют 300–400 м³/ч, в карьеры – 30–50 м³/ч.

Водоносный комплекс континентальных отложений кольчугинской серии, особенно песчаников, характеризуется более высокой обводненностью пород по сравнению с вышеописанным. Наблюдается и уменьшение обводненности пород с глубиной, причем максимальная водообильность отмечается в верхних горизонтах до глубины 50–100 м, т. е. в зоне выветривания пород. Средние удельные дебиты скважин на водоразделах составляют: для глинистых пород – 0,01–0,1 л/с, песчаников – 0,2–0,4 л/с, в долинах рек достигают 1,0–3,0 л/с. На глубине свыше 150 м удельные дебиты не превышают 0,1 л/с, в то время как максимальные их значения (до 5–6 л/с) отмечаются по скважинам в зоне выветривания. Повышенная водообильность также связана с зонами тектонических нарушений.

Отложения четвертого водоносного комплекса представлены песчано-глинистой толщей триаса, юры и мела. Наибольшее распространение среди них получили породы юрского возраста, выполняющие ряд крупных депрессий (Доронинскую, Чусовитино-Бунгарапскую, Подобасско-Тутуясскую), представляющих, по Г.М. Рогову, артезианские бассейны второго порядка [Там же]. Наибольшей водообильностью среди пород комплекса отличаются конгломераты и песчаники. Удельный дебит скважин нередко превышает 2,0–2,5 л/с, а при самоизливе достигает 45 л/с, эксплуатационные дебиты воды из скважин – 250–300 л/с.

Шестой водоносный комплекс (Pg, Ng, Q) характеризуется крайне разнообразной водообильностью пород. При этом максимальной водообильностью обладают аллювиальные песчано-галечниковые отложения долин рек Томи, Кондомы, Ини и др. Так, по скважинам, пройденным в долине р. Томи, удельные дебиты превышают 8–15 л/с, в то же время расходы источников на водоразделах и их склонах оказались значительно ниже. На обводненность пород Кузбасса наряду с геологическим строением и составом пород существенное влияние оказывают физико-географические условия. Так, на участках развития балахонской серии в Присалаирской, степной, слабоувлаженной зоне Кузбасса породы характеризуются низкой обводненностью. Эти же породы в Пригорношорской, таежной, сильноувлаженной зоне имеют очень высокую обводненность, а максимальные притоки в шахты составляют 1000 м³/ч.

В целом гидрогеологические условия будут оказывать большое влияние на разработку месторождений открытым способом. Особенно неблагоприятными в этом отношении окажутся участки развития подземных вод аллювиальных отложений долин крупных рек, а также месторождения, непосредственно примыкающие к центральному юрскому артезианскому бассейну. Значительные притоки подземных и поверхностных вод следует ожидать также при разработке угольных месторождений, расположенных в таежной сильноувлаженной Пригорношорской полосе Кузнецкого бассейна.

Оценивая значение общих инженерно-геологических условий при строительстве угольных карьеров в Кузбассе, необходимо отметить следующее:

1. Физико-географические условия Кузнецкого бассейна характеризуются большим разнообразием и значительной изменчивостью по площади, что послужило основанием для выделения на его территории 6 морфогенетических типов рельефа, 3 ландшафтных зоны и 5 климатических, в пределах которых условия вскрытия угольных месторождений карьерами окажутся существенно различными. Среди выделенных морфогенетических типов рельефа и ландшафтных зон наиболее благоприятными следует считать районы развития тайги и низкогорного рельефа, особенно в Пригорношорской полосе Кузбасса.

При строительстве карьеров здесь могут возникнуть серьезные затруднения в случае сооружения подъездных путей, а также при разработке и выполнении мероприятий по отводу поверхностных вод за пределы действующих карьеров. В наилучших климатических условиях окажутся месторождения, расположенные в северо-западной, весьма слабоувлаженной и слабоувлаженной зонах Кузбасса, где годовое количество атмосферных осадков не превышает 500 мм в год. По мере удаления от этих зон в юго-восточном направлении климат существенно меняется, и в крайней юго-восточной части Кузбасса количество атмосферных осадков достигает 800 и более мм в год. Последнее будет способствовать увеличению поверхностного стока, обеспечению за его счет значительных притоков воды в карьеры, переувлажнению пород в бортах карьеров, снижению их прочности и устойчивости.

2. Кузнецкий угольный бассейн характеризуется довольно сложным геологическим и тектоническим строением, являющимся результатом длительного геотектонического развития региона и оказывающим большое влияние на строительство карьеров. Сложность освоения угольных месторождений Кузбасса обусловлена прежде всего сложностью тектонического строения, которая выражается в развитии нескольких геотектонических зон, отличающихся как по степени тектонической напряженности в целом, так и степени нарушенности горных пород, условиями их залегания, трещиноватостью, а следовательно, прочностью и устойчивостью последних в бортах карьеров. Наиболее сложными в данном отношении представляются Присалаирская и Приколывань-Томская зоны интенсивной линейной складчатости и разрывов, характеризующиеся высокой степенью дислоцированности угленосных отложений, широким развитием крупных разрывных нарушений типа надвигов, крупных разломов, продольных разрывов большой протяженности и амплитуды, а также мелких разрывных нарушений, возникших при складкообразовании и результате межслойных движений и под влиянием крупных разрывов. В пределах рассматриваемых зон горные породы, как правило, смяты в кулисообразные брахискладки, углы падения крыльев которых составляют 60–90° и интенсивно нарушены трещиноватостью, образовавшейся как в процессе уплотнения осадков и колебательных движений до складкообразования, так и под воздействием напряжений во время складкообразования. Наличие зон интенсивной тектонической нарушенности и трещиноватости, которые могут служить поверхностями ослабления и способствовать снижению устойчивости бортов, будет осложнять работу карьеров в Присалаирской и Приколывань-Томской зонах интенсивной линейной складчатости.

По мере удаления к центру бассейна степень тектонической напряженности и дислоцированности осадков уменьшается. Поэтому в Центральной зоне пологих складов и куполовидных поднятий, характеризующейся широким развитием крупных складок с довольно крутым (50–60°) падением крыльев на север и пологим (10–30°) на юг, степень тектонической нарушенности значительно уменьшается по сравнению с вышеописанными зонами, а условия разработки угольных месторождений окажутся более простыми. Однако следует отметить, что самые простые и наиболее благоприятные условия в тектоническом отношении для разработки угольных месторождений карьерами окажутся в Пригорношорской и Приалата-

усской зонах моноклиналей ($5-20^\circ$) залеганием пород, низкой степенью их нарушенности и самой высокой прочностью.

3. По степени распространения различных геолого-генетических комплексов пород в бортах карьеров территория Кузнецкого бассейна отчетливо делится на районы с преобладающим распространением отложений балахонской, кольчугинской, тарбаганской серий и четвертичных образований, а также различных сочетаний перечисленных комплексов. Наиболее неблагоприятные условия будут наблюдаться на тех месторождениях, где в бортах карьеров окажутся слаболитифицированные, сильнообводненные и слабопрочные породы тарбаганской серии. К ним относятся месторождения, непосредственно примыкающие к центральной части бассейна, где развиты породы юрского возраста. Весьма сложными представляются условия отработки угольных месторождений под долинами крупных рек, содержащими в своем разрезе сильнообводненные и аллювиальные отложения.

4. В гидрогеологическом отношении наиболее сложными и менее благоприятными для разработки открытым способом окажутся участки с широким развитием подземных вод аллювиальных отложений долин рек и мезозойских отложений. Достаточно сказать, что удельные дебиты по скважинам, пробуренным на I и II террасах р. Томи, составят 1–3,0 л/с, а эксплуатационные дебиты водозаборных сооружений превышают 30–50 м³/ч, как станет очевидной вся сложность разработки угольных месторождений в долине р. Томи. Не менее сложным окажется строительство карьеров в долине р. Ини, где притоки воды в горные выработки достигают 2500–3000 м³/ч, а удельные дебиты по отдельным скважинам составляют более 10 л/с. Большое влияние на освоение и разработку месторождений будут оказывать подземные воды, развитие в пределах гидрогеологических структур второго структурного этажа, особенно Чусовитино-Бунгаранской депрессии. Наибольшей обводненностью здесь характеризуются конгломераты и песчаники тарбаганской серии (I₁₋₃). Удельные дебиты составляют 2,0–4,0 л/с, а при самоизливе – до 15–20 л/с, эксплуатационные дебиты – свыше 250–300 м³/ч. Обводненность пород нижнего структурного этажа в пределах бассейна в Присалаирской полосе, расположенной в степной зоне, характеризуется крайне низкой водообильностью, и в этом отношении такие участки являются наиболее благоприятными для строительства карьеров.

Для Центральной зоны пологих складов и куполовидных поднятий характерна более высокая обводненность пород в северо-восточной части, где дебиты отдельных скважин достигают 6,0 л/с. Такой же высокой водообильностью характеризуются породы в зоне моноклиналов Пригорношорской и Прикузнецко-Алатаусской полосы Кузбасса, где удельные дебиты скважин составляют 5,0–6,0 л/с. Таким образом, подземные воды будут оказывать различное влияние на разработку месторождений Кузбасса открытым способом. Причем наибольшая их отрицательная роль будет сказываться при отработке угольных пластов под долинами рек, вблизи или на территории развития сильнообводненных пород мезозоя, а также в таежных интенсивно увлажненных районах Пригорношорской, Прикузнецко-Алатаусской и Приколывань-Томской зон. Наилучшие условия в этом отношении окажутся в степной слабоувлажненной зоне Присалаирской полосы Кузбасса.

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

2.1. Условия формирования физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса

Одной из актуальнейших проблем современной инженерной геологии является выяснение условий формирования физико-механических свойств осадочных горных пород и природы их прочности.

Решению данной проблемы посвящены работы [14, 20, 22, 24, 19]. Успехам в этой области в значительной мере способствовали исследования по вопросам теории литогенеза, а также работы в области механики грунтов, физической и коллоидной химии. Особенный интерес в связи с изучением природы прочности осадочных горных пород угленосных формаций представляют исследования С.И. Малинина [15], посвященные выяснению влияния вторичных процессов в стадию эпигенеза на состав и физико-механических свойства горных пород.

Наряду с разработкой общих теоретических вопросов, объясняющих природу прочности горных пород и условия их формирования, в последние годы выполнены многочисленные исследования в данном направлении регионального характера. Значение такого рода исследований трудно переоценить, ибо они позволяют, как отмечал В.Д. Ломтадзе, «более правильно производить оценку прочности и устойчивости пород, давать прогноз развития неблагоприятных инженерно-геологических явлений, прогнозировать изменение свойств и состояния горных пород и выбирать расчетные параметры» [14]. Выяснение условий формирования физико-механических свойств и природы прочности горных пород угольных месторождений Кузбасса имеет первостепенное значение при инженерно-геологической оценке условий строительства и решении вопроса устойчивости бортов крупных карьеров.

Формирование физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса тесным образом связано с историей его геотектонического развития и существенно зависит:

- 1) от физико-географических условий, характера и интенсивности тектонических движений в период осадконакопления, обеспечивающих различную интенсивность выветривания материнских пород областей сноса, перенос и отложение материала в конечных водоемах стока;
- 2) особенностей диагенетического преобразования осадков;
- 3) вторичных (катагенетических) изменений, протекающих в горных породах;
- 4) направленности и интенсивности тектонических движений в горных породах;
- 5) интенсивности проявления процессов выветривания горных пород в зоне гипергенеза;
- 6) инженерной деятельности человека.

В результате выполнения инженерно-геологических исследований были выяснены условия формирования физико-механических свойств горных пород угленосных отложений балахонской, кольчугинской и тарбаганской серий Кузбасса. Более древние и более молодые отложения, развитые на территории бассейна, здесь не рассматриваются в связи с тем, что они пользуются значительно меньшим распространением и не будут оказывать существенного влияния при инженерно-геологической оценке строительства карьеров. Кроме этого, условия формирования свойств горных пород неугленосных отложений значительно отличаются от таковых для угленосных отложений, и их выяснение должно послужить предметом специальных исследований.

2.1.1. Физико-географические и фациальные условия осадконакопления 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, являясь одновременно исходным, отправным моментом в формировании их физико-механических свойств. Исследованиями [5] установлено, что к моменту накопления отложений балахонской серии морские условия на территории Кузбасса сменились на полуморские и нижнебалахонское время, а затем и пресноводные лагунно-континентальные условия. Физико-географические условия балахонского времени характеризовались увлажненным, теплым климатом, а тектонические – развитием неравномерных тектонических движений как на территории бассейна, так и в пределах окружающих горных сооружений. Последнее обусловило значительные различия фациальной обстановки осадконакопления как по площади бассейна, так и во времени.

В раннебалахонское время в северной и центральной частях бассейна господствующими были фации: мелководья опресненного залива и отмелей, песчаных отмелей и баров, подводных дельт и застойных озер [Там же]. Следует отметить, что вблизи областей сноса, которыми являлись Кузнецкий Алатау и Горная Шория, шло накопление преимущественно осадков фации подводных дельт.

В верхнебалахонское время, по мнению ряда исследователей, 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, смене фациальной обстановки осадконакопления. Теплый и влажный климат этого времени наряду с ослаблением тектонических движений в отдельные периоды приводит к широкому развитию озерных, озерно-болотных, болотных фаций и торфяников, послуживших исходным материалом для образования углей. Наиболее благоприятные условия для этого наблюдались в кемеровское время, характеризующееся широким развитием озерно-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 застойных озер, болот, получивших большое распространение в Томь-Усинском, Кондомском, Бургуро-Чумышском районах, а на территории Прокопьевско-Киселевского, Бачатского и Кемеровского районов были развиты, кроме этого, 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 застойных озерных и болотных фациях шло угленакопление, а также образование глинистых и углисто-глинистых осадков, явившихся исходным продуктом для формирования углей, аргиллитов, углистых аргиллитов. Исследования минералогического состава обломочных сцементированных пород балахонской серии показали, что в составе их обломочной части преобладают кварц (от 10–15 до 30–40 %), полевые шпаты (10–20 %), эффузивы (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 зерен различная. Отмеченное убедительно доказывает, что областью сноса исходного материала на протяжении всего балахонского времени служили Кузнецкий Алатау, Горная Шория и, возможно, Са-

лаир. О роли последнего в истории формирования Кузбасса существуют в настоящее время противоречивые мнения.

Таким образом, формирование отложений балахонской серии протекало в условиях увлажненного теплого 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 континентальные условия. Неравномерные тектонические колебательные движения обуславливают различную интенсивность разрушения горных пород областей сноса и способствуют неоднократной смене фациальной обстановки осадконакопления. Преимущественным развитием в раннебалахонское время пользовались фации мелководья опресненного залива и отмелей, песчаных отмелей и барров, подводных дельт и застойных озер. В верхнебалахонское время в связи с опреснением бассейна происходит смена фациальной обстановки и превращение впадины в аккумулятивную равнину с широким развитием фаций открытых и застойных озер, болот и весьма благоприятными условиями для угленакопления. Накопление осадков балахонской серии сопровождалось тектоническими движениями с постепенным погружением Кузнецкой котловины (области осадконакопления) и подъемом Кузнецкого Алатау и Горной Шории (областей сноса).

Отмеченные выше 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: конгломератов, песчаников, алевролитов, аргиллитов, углей и углистых пород, отличающихся по текстурно-структурным особенностям, минералогическому составу и физико-механическим свойствам.

Условия осадконакопления вложений кольчугинской серии были типично континентальными. Как отмечалось выше, образование осадков балахонской серии происходило в морской, полуморской или пресноводной обстановке, но чаще всего условия были бассейновые, и лишь в кемеровское время устанавливаются континентальные условия, а в верхнебалахонское время происходит превращение впадины в аккумулятивную равнину с широким развитием фаций открытых и застойных озер. В кольчугинской же серии преобладают отложения прибрежно-бассейновые, озерные или аллювиальные, которые формировались в пределах обширных аккумулятивных равнин. Решающее влияние на формирование отложений кольчугинской серии и их физико-механических свойств оказали физико-географические условия и характер эйперогенных движений, которые способствовали накоплению безугольных отложений кузнецкой и угленосных отложений ильинской и ерунаковской подсерий. В кузнецкое время, по данным И.П. Звонарева, Э.М. Сендерзона, А.В. Тыжнова [5], происходит регрессия бассейна, что приводит к накоплению преимущественно неугленосных отложений, за исключением крайнего юга Кузбасса, где накопление углей имело место. В ильинское время бассейн представлял межгорную равнину. Накопление осадков в центральной части бассейна происходило в прибрежно-бассейновых, озерных, озерно-болотных и болотных условиях, что привело к образованию преимущественно темно-серых пород алевролитистого состава наряду с почти черными глинистыми породами. В периферических частях бассейна вблизи областей сноса в это время в подчиненном количестве шло образование глинистых пород. В ерунаковское время происходит дальнейшее расширение и перемещение в центральную часть областей угленакопления. На территории Кузбасса тогда была развита густая сеть рек, озер, стариц и болот. Такая обстановка способствовала интенсивному торфообразованию, приведшему к накоплению мощных угольных пластов. Одновременно в областях осадконакопления шло формирование обломочных и глинистых осадков, причем исходный

материал поступал из областей сноса, которыми служили Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Салаир. Наряду с этим разрушению и переотложению подвергались осадочные породы карбона и частично перми. Отмеченные особенности осадконакопления нашли свое отражение в составе обломочной части горных пород ерунаковской свиты, который представлен преимущественно кварцем (10–45 %), эффузивами (10–15 %), микрокристаллическими породами (10–15 %), карбонатами (10–25 %), обломками осадочных пород (до 30 %).

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 более древних отложений карбона и перми в пределах бассейна. Интенсивная предъюрская эрозийная деятельность способствовала размыву многокилометровой толщи триаса и палеозоя. Накопление осадков в юрское время по периферии бассейна чаще всего происходило в профеллюальных фациях подножий конусов выноса, реже – аллювиальных. Для центральной части бассейна были характерны озерные и озерно-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 на восходящие, что приводит к образованию коры выветривания и интенсивному размыву толщи горных пород. Условия этого времени были типично континентальными. На протяжении неогена, палеогена нижнечетвертичного периода климат в Кузбассе сменился и стал холодным и сухим. Однако рассмотрение вопросов осадконакопления в четвертичный период выходит за рамки настоящей работы и может служить предметом специальных исследований. Отметим лишь, что в конце четвертичного периода на территории Кузбасса шло формирование лессовых и других генетических типов пород, окончательно оформляются гидрографическая сеть и морфологические особенности бассейна.

Все вышеизложенное наглядно показывает, что физико-географические условия, тектонический режим, характер и интенсивность эпейрогенных движений, фациальная обстановка периода накопления отложений балахонской, кольчугинской и тарбаганской серий на территории Кузбасса существенно отличались. Последнее обусловило различия в составе, текстурно-структурных особенностях и физико-механических свойствах горных пород. Преимущественно морские условия острогского и нижнебалахонского времени сменяются в связи с уходом солоновато-водного бассейна за пределы Кузбасса в кемеровское время на лагунно-континентальные, а затем и континентальные условия.

На протяжении кольчугинского времени условия оставались континентальными, и Кузнецкий бассейн представлял аккумулятивную равнину с широким развитием речной сети, озер и болот. В конце кольчугинского времени были достаточно благоприятные условия для угленакопления. Отложения кольчугинской серии представлены преимущественно озерными, озерно-болотными и болотными фациями.

Накопление отложений тарбаганской серии происходило также в континентальных условиях. Однако в отдельные периоды на территории Кузбасса в это время наблюдались интенсивные восходящие движения, что приводило к размыву и переотложению осадочных пород бассейна. Меловое время характеризовалось сменой нисходящих движений на восходящие, интенсивным размывом толщ карбона и перми и образованием мощной коры выветривания. Областями сноса на протяжении всего времени осадконакопления угленосных отложений Кузбасса служили Кузнецкий Алатау и Горная Шория.

Начало формирования физико-механических свойств горных пород Кузбасса было положено в стадию седиментогенеза, несмотря на то что свежесформированные осадки, пред-

ставлявшие рыхлые или текучие тела, характеризовались отсутствием прочных структурных связей между частицами. Формирование и развитие этих связей происходит в дальнейшем при диагенезе осадков и совершенствуется под влиянием процессов катагенеза.

2.1.2. Особенности диагенетического преобразования осадков

Диагенетические преобразования осадков занимают важное место в длительном процессе формирования осадочных горных пород и их физико-механических свойств. Теоретические аспекты явлений и процессов, протекающих в осадках в постседиментационный период, подробно освещены в работах [13, 29, 33].

Применительно к угленосным отложениям стадии превращения в ряду торф-антрацит и эпигенеза вмещающих горных пород рассмотрены в работе [7]. По В.В. Гречухину, на угольных месторождениях процессы диагенеза начинаются с момента образования бурых землистых углей и заканчиваются в стадию формирования углей, переходных от бурых к каменным. По мнению Г.А. Иванова, диагенез пород заканчивается в момент превращения бурых углей в каменные. С рекомендациями этих авторов в отношении границ и наименований стадий превращения осадков трудно согласиться хотя бы потому, что в большинстве случаев уже на стадии бурых углей мы часто имеем дело со сцементированными обломочными и достаточно уплотненными полускальными глинистыми породами типа песчаников, алевролитов и аргиллитов, которые образовались под воздействием процессов диагенеза и начального катагенеза. Это подтверждается многочисленными исследованиями состава и физико-механических свойств горных пород, выполненных на месторождениях Канско-Ачинского и Кузнецкого угольных бассейнов с широким развитием бурых углей. Горные породы в данном случае находятся на стадии преобразования, соответствующей начальному катагенезу. Об этом свидетельствуют многочисленные исследования состава и физико-механических свойств горных пород, освещенные в работах [20, 22–24].

Очевидно, более правильной следует считать точку зрения И.И. Аммосова, который завершение процессов диагенеза относит к моменту окончания формирования бурых землистых углей. При рассмотрении процессов диагенетических и катагенетических изменений в осадках и горных породах Кузбасса и выяснении влияния последних на физико-механические свойства мы будем пользоваться терминологией, рекомендованной Н.Б. Воссоевичем, Н.М. Страховым, Н.В. Логвиненко, с учетом существующих в настоящее время понятий и наименований в стадиях преобразования углей в ряду торф-антрацит. В ряде работ показано, что процессы диагенеза обусловлены, главным образом, физико-химической обстановкой, в которой оказываются свежеформированные осадки. Характер и скорость процессов диагенеза в Кузнецком бассейне имеют свои особенности, обусловленные, прежде всего, исходным составом свежеформированных осадков. После завершения процессов седиментогенеза свежеформированные осадки представляли рыхлые или текучие тела, состоящие из тонкодисперсного, сильнообводненного материала, представляющего собой неуравновешенную и неустойчивую систему. Процессы уравнивания этих осадков, по мнению Н.М. Страхова, «протекают за счет энергии, заключенной в самом осадке, в то время как термодинамические условия на этой стадии существенно не проявляются».

Основные ведущие процессы при этом способствуют превращению среды из окислительной в восстановительную. Наряду с этим идет распад органического вещества с выделением таких продуктов, как CO_2 , H_2S , C_2H_4 , H_2 и NO_3 . Свободная углекислота, взаимодействуя с твердыми фазами CaCO_3 , переводит их в раствор в виде бикарбонатов. Кроме того, в раствор могут переходить SiO_2 , MgCO_3 , CrCO_3 , постепенно насыщая его.

В дальнейшем процессы физико-химического уравнивания приводят к обмену между катионами, находящимися на мицеллах глинистых минералов, и катионами иловой воды, а также к повышению величины рН и понижению окислительно-восстановительного потенциала. Проведенные нами исследования показывают, что ниже зоны выветривания породы угленосных отложений балахонской серии имеют значения рН 8,71–9,54.

Таким образом, высокие значения рН и низкие e_h свидетельствуют о том, что окислительная обстановка в диагенетическую стадию преобразования осадков угленосных отложений Кузбасса сменилась на восстановительную. В этой обстановке происходит насыщение растворов различными веществами, которые, выпадая, чаще всего встречаются в виде сферолитов в аргиллитах кольчугинской серии, реже в алевролитах этого же возраста (рис. 2.1).

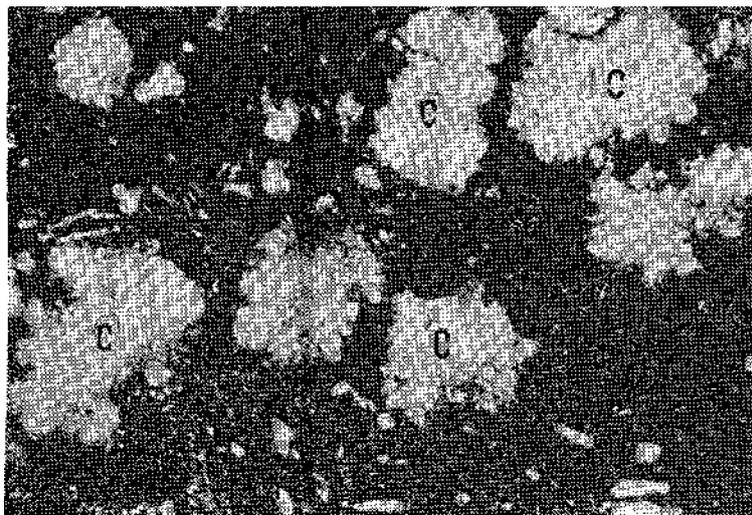


Рис. 2.1. Сидеритовые стяжения в аргиллитах кольчугинской серии (Таллинское месторождение), николь один. $\times 75$

Развиваясь в глинистых породах, сферолитовые стяжения существенно изменяют структуру пород, а следовательно, и их физико-механические свойства, превращая типично глинистые породы как бы в обломочные, цементированные глинистым материалом. При этом сферолиты разрастаются иногда до таких размеров, что почти полностью вытесняют из поля зрения в шлифе глинистый материал.

В процессе диагенеза наряду с накоплением аутигенных минералов наблюдается перераспределение их в осадках, а также происходит уплотнение последних под воздействием вновь образованных осадков и потеря свободной поровой воды. При этом процесс уплотнения на первых стадиях диагенеза интенсивнее протекает в глинистых осадках, медленнее – в обломочных. Одновременно происходит заполнение и частичная цементация порового пространства глинистым, глинисто-карбонатным или карбонатным цементом. Причем в последнем случае эти явления протекали быстрее и способствовали более быстрому уплотнению и упрочению пород. Следует отметить, что состав цемента обломочных цементированных пород Кузбасса обусловлен не только процессами седиментогенеза и диагенеза, но и существенно зависит от интенсивности и направленности катагенетических преобразований. Закономерности изменения состава горных пород в постдиагенетический период и их значение при формировании физико-механических свойств горных пород будут подробно рассмотрены ниже на основании проведенного стадийно-литогенетического анализа. Таким образом, завершение процессов диагенеза осадков угленосных отложений Кузбасса сопровождалось рождением

горных пород: песков с глинистым и карбонатным заполнителем, глин, слабоцементированных песчаников и алевролитов. Физико-механические свойства этих пород могут быть сопоставимы со свойствами слаболитифицированных глин, аргиллитов, алевролитов и песчаников буроугольных месторождений Канско-Ачинского бассейна. Важно подчеркнуть, что одновременно с диагенезом осадков в Кузнецком бассейне протекали процессы углеобразования, которые завершились формированием бурых землистых углей.

2.1.3. Вторичные процессы в горных породах угленосных отложений Кузбасса и их роль в формировании физико-механических свойств

Вторичные изменения, протекающие в горных породах в стадию катагенеза, т. е. с момента завершения диагенетических преобразований и до начального метаморфизма, играют исключительно важную роль в деле формирования физико-механических свойств осадочных горных пород Кузбасса. Вопросы вторичных изменений в осадочных горных породах на рассматриваемой стадии литогенеза нашли отражение в работах [4, 14, 20]. С.И. Малининым для Донбасса проведены исследования, позволившие установить влияние вторичных изменений в породах на физико-механические свойства, что имеет большое теоретическое и практическое значение.

А.Г. Коссовской и В.Д. Шутовым разработана схема зональности регионального эпигенеза и метагенеза в терригенных отложениях Западного Верховья и Вилюйской впадины. Большой интерес представляет работа В.А. Гречухина [7], который на основании многочисленных исследований физико-механических свойств горных пород различных угольных бассейнов с использованием геофизических данных устанавливает закономерности изменения последних по стадиям метаморфизма.

С целью выяснения влияния катагенетических преобразований в горных породах Кузбасса на формирование их физико-механических свойств нами проведен широкий комплекс исследований, включающий подробное изучение минералогического состава с применением электронного микроскопа, термического и рентгеноконструкторского методов. Исследования выполнены для горных пород верхнебалахонской, кольчугинской и тарбаганской серий, находящихся на различных стадиях катагенеза и вмещающих угли от серых до полуантрацитов и антрацитов.

Выполненные исследования и проведенный на их основе стадийно-литогенетический анализ позволили выяснить закономерности вторичных изменений горных пород Кузнецкого бассейна с момента проявления начального катагенеза и вплоть до начального метаморфизма, а также оценить их роль при формировании физико-механических свойств.

Вторичные изменения в горных породах тарбаганской серии (J₁₋₃). Отложения тарбаганской серии, вмещающие бурые угли, пользуются широким распространением в Кузбассе и заполняют крупные депрессии: Доронинскую, Чусовитино-Бунгарапскую, Тутуяско-Подобасскую, а также встречаются в виде отдельных островков среди отложений кольчугинской серии. По сравнению с отложениями кольчугинской и балахонской серий породы тарбаганской серии претерпели в ходе литогенеза наименьшие изменения, которые обусловлены, главным образом, изменениями термодинамических условий, в которых оказываются горные породы благодаря воздействию факторов прогрессивного литогенеза, а именно в результате погружения пород на значительные глубины, увеличения в связи с этим давления и температуры. Минералогические исследования глинистых и обломочных сцементированных пород тарбаганской серии показали, что на стадии преобразования, соответствующей бурым углям в составе вмещающих пород, не произошло существенных изменений. Поэтому в глинистых породах и глинистом цементе обломочных сцементированных пород преобла-

дают гидрослюды и каолинит, которые являются, по-видимому, первичными. Кроме этого, часто присутствуют углистые включения в виде мелких унифицированных обрывков. Минеральный состав обломочной части песчаников и алевролитов характеризуется высоким содержанием серицитовых и хлорито-серицитовых сланцев (до 50 %), кварца (25–30 %) и полевых шпатов (рис. 2.2). Цемент гидрослюдисто-каолинитовый. В составе пород присутствуют оранжево-бурые, кутинизированные включения бурого угля в форме шнурочков (на фото черные).

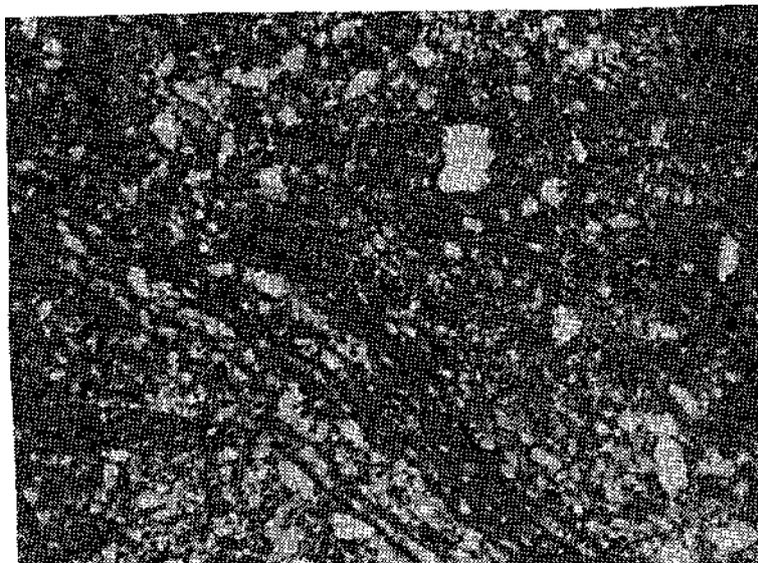


Рис. 2.2. Алевролит тарбаганской серии ($J_{1,3}$) под микроскопом, николь один. $\times 70$

Причем следует подчеркнуть, что обломки полевых шпатов и кварца, как правило, свежие, в них почти не обнаружено следов замещения последних веществом цемента, растворения или регенерационных проявлений, хотя наряду с преобладающим глинистым цементом в составе цементирующей массы пород присутствуют карбонаты. Следовательно, при формировании физико-механических свойств горных пород тарбаганской серии в начальную стадию катагенеза наибольшее значение имели процессы уплотнения и дегидратации при второстепенных изменениях минералогического состава. Это находится в полном соответствии с выводами в работах [5, 6]. По данным С.И. Малинина, на стадии, переходной от длиннопламенных к газовым углям, вмещающие породы находятся в состоянии «минералогической паузы». К такому же мнению пришли В.В. Воронцов, С.А. Топорец, изучавшие вторичные изменения в горных породах Кузбасса, вмещающих угли от длиннопламенных до антрацитов. Н.Н. Страхов считает, что в стадию катагенеза вплоть до начального метаморфизма «основной реакцией пород на изменение термодинамических условий является уплотнение пород».

Согласно В.Д. Ломтадзе, «уплотнения, сопровождающиеся дегидратацией, в постседиментационном преобразовании глинистых осадков и пород являются ведущими, регулирующими процессами. Именно они являются главными и наиболее существенными процессами, а не образование новых минералов, перераспределение вещества, образование цемента, конкреций и т. д., как принято считать многими исследователями (Страхов, 1963; Ларсен, Чилленгер, 1971)» [14].

Не отрицая роли процессов уплотнения и дегидратации при формировании физико-механических свойств горных пород, нельзя не учитывать и влияние вторичных измене-

ний, которые, как будет показано на примере Кузнецкого бассейна, являются весьма существенными.

Вторичные изменения пород кольчугинской серии (P_2). Вторичные изменения в породах кольчугинской серии Кузбасса проявляются в большей степени по сравнению с породами тарбаганской серии. Последнее объясняется тем, что горные породы кольчугинской серии находятся на более высокой стадии катагенетических преобразований. Доказательством этому служит более высокая степень метаморфизма каменных углей рассматриваемой серии, марочный состав которых изменяется от длиннопламенных до жирных. С целью оценки возможного влияния вторичных изменений на физико-механические свойства нами детально изучен состав горных пород кольчугинской серии в пределах Кемеровского, Бачатского, Прокопьевско-Киселевского, Ленинского, Ерунаковского и Томь-Усинского районов Кузбасса, находящихся в различных геотектонических зонах. Это позволило при решении рассматриваемого вопроса учесть влияние процессов не только прогрессивного, но и регрессивного литогенеза, обусловленного тектоническими движениями, способствовавшими перемещению пород в зоны с последовательно понижающимися давлением и температурой. На стадии преобразования, соответствующей длиннопламенным углям, в составе обломочных сцементированных пород с глинистым цементом существенных изменений не обнаружено. Изучение глинистой фракции пород с помощью электронного микроскопа показало, что последняя представлена, главным образом, каолинитом, гидрослюдами и монтмориллонитом (рис. 2.3).

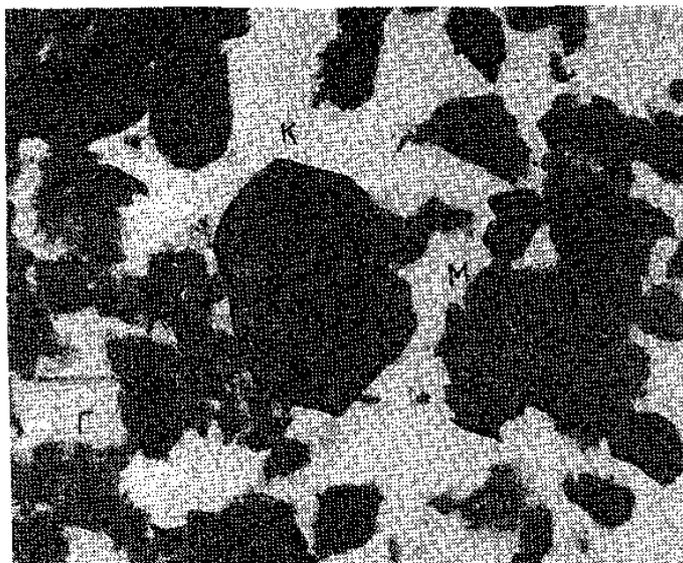


Рис. 2.3. Глинистая фракция алевролитов кольчугинской серии, находящихся на стадии преобразования, соответствующей длиннопламенным углям, под электронным микроскопом. $\times 16\ 600$:
К – каолинит; Г – гидрослюда; М – монтмориллонит

Этими же исследованиями установлено, что глинистые минералы на данной стадии не претерпели существенных изменений и являются, как правило, первичными. Сделанный вывод подтверждается результатами термических анализов (рис. 2.4), которые свидетельствуют о гидрослюдисто-каолинитовом составе глинистого цемента алевролитов и песчаников, в то время как монтмориллонит присутствует лишь в отдельных пробах. Характерным для всех изученных проб является высокое содержание органических ве-

ществ, что на кривых нагревания выражается в экзоэффекте при температуре 434, 440, 450, 460 °С (рис. 2.4).

Следовательно, на рассматриваемой стадии преобразований глинистый материал претерпел, главным образом, уплотнение без существенной минералогической переработки.

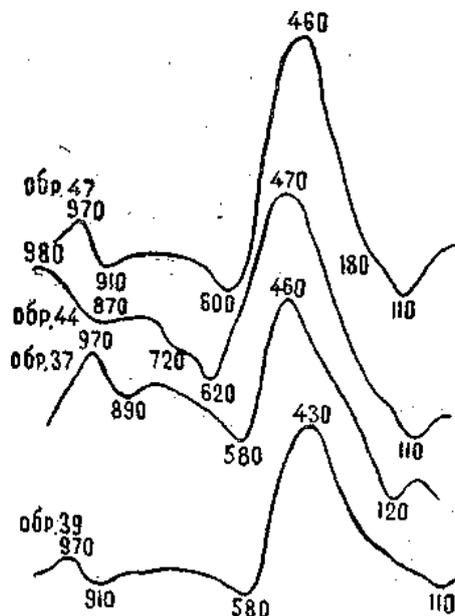


Рис. 2.4. Кривые нагревания глинистого цемента алевролитов кольчугинской серии, соответствующих углям марки Д

В обломочных же сцементированных породах, вмещающих длиннопламенные угли, уже на этой стадии начинают проявляться вторичные изменения, которые выражаются в частичном замещении полевых шпатов, обломков осадочных и эффузивных пород карбонатами (рис. 2.5).

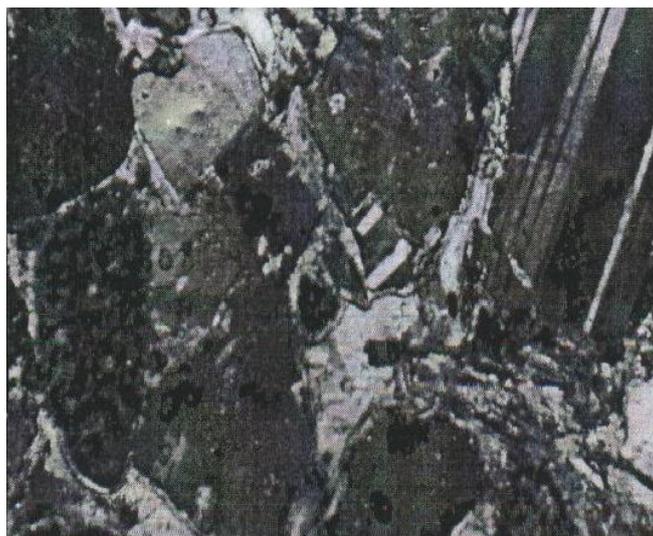


Рис. 2.5. Песчаник кольчугинской серии, находящийся на стадии преобразования, соответствующей длиннопламенным углям, николи скрещены. $\times 75$. В составе обломков преобладают полевые шпаты (60–65 %), которые по контурам замещены карбонатами

Однако эти изменения являются пока не настолько значительными, чтобы оказать существенное влияние на физико-механические свойства пород. Следует подчеркнуть одну особенность состава описываемых пород, которая выражается в высоком содержании обломков средних и основных плагиоклазов (до 60–65 %), не претерпевших существенных изменений. Преобладающим в породах является глинистый цемент, реже встречается карбонатный или глинисто-карбонатный. Таким образом, на стадии преобразований, соответствующей длиннопламенным углям, вторичные изменения проявляются слабо, хотя имеются все основания утверждать, что в обломочных породах они начинаются именно с этой стадии.

Вторичные изменения в породах, вмещающих угли, переходные от длиннопламенных к газовым. Они характеризуются дальнейшим развитием процессов в обломочных сцементированных породах, которые выражаются в замещении полевых шпатов, реже кварца, карбонатами. Встречаются обломки, нацело замещенные карбонатом, одновременно наблюдаются серицитизация и пелитизация плагиоклаза, а на обломках кварца обнаруживаются регенерационные оторочки. Глинистый цемент пород имеет гидрослюдисто-каолинитовый состав, который мало чем отличается от состава глинистого материала пород, вмещающих длиннопламенные угли. Одновременно, как отмечалось ранее, установлены повсеместные проявления процессов разъедания плагиоклазовых и кварцевых зерен карбонатным, реже глинистым цементом, в результате чего в породах часто встречаются обломки, корродированные цементом. В данном случае граница сочленения кварцевых обломков с веществом цемента имеет вид шва, который возник в результате проявления процессов катагенеза, сопровождавшихся раскристаллизацией вещества, нарастающего на обломки кварца с захватом карбонатного вещества. Это в значительной степени способствует упрочению горных пород. В породах повсеместно отмечаются регенерационные каемки на обломках кварца. В составе обломков присутствуют в большом количестве карбонаты, представляющие, как правило, псевдоморфные замещения эффузивов и полевых шпатов. Причем для пород с карбонатным цементом характерно и повышенное содержание карбонатов в обломках. Как отмечалось ранее, характерной особенностью состава глинистых пород и глинистого цемента обломочных сцементированных пород является присутствие в большом количестве каолинита, который под электронным микроскопом представлен чешуйками в виде хорошо сохранившихся правильных изометрических форм.

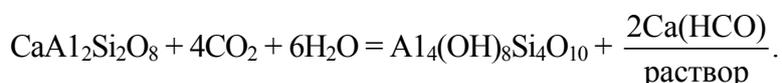
Вторичные изменения в горных породах, вмещающих газовые и газожирные угли. Такие изменения являются весьма существенными. На данной стадии преобразования, как показали проведенные исследования, в породах начинают развиваться вторичные гидрослюды, которые представлены, как правило, гидромусковитом. По мнению И.С. Малинина [15], для пород Донбасса этот процесс начинается со стадии коксово-жирных углей (КЖ). Однако уже в стадию, переходную от газовых углей к жирным, вследствие значительного возрастания давления, которое, по данным В.В. Гречухина [7], достигает 900–1000 кгс/см, а также повышения температуры до 100 °С происходят значительные изменения не только в углях, но и во вмещающих породах. Под воздействием отмеченных факторов на рассматриваемой стадии преобразования в горных породах Кузбасса происходит дальнейшее уплотнение и сближение частиц между собой. При этом в обломочных породах с малым содержанием цемента огромное давление, передаваемое на обломки пород, приводит к их растворению и переотложению в других близлежащих местах. Цементирующий глинистый материал испытывает значительное воздействие давления, подвергаясь изменению в большей степени, чем материал глинистых пород. Одновременно под воздействием давления он начинает как бы приспосабливаться к новым условиям, нередко изгибаясь и обвивая обломки пород. Наряду с этим протекают и физико-химические процессы с участием подземных вод, способствующих растворению одних веществ, переносу и переотложению других. Все эти про-

цессы приводят к тому, что уже на стадии, переходной от газовых к жирным углям, в обломках пород происходит интенсивное замещение полевых шпатов карбонатным веществом. Одновременно наблюдается растворение кварцевых зерен, что сопровождается образованием причудливых кружевных форм обломков, а также накопление аутигенных минералов, которые нарастают на обломках в породах. Отмечается интенсивная серицитизация полевых шпатов, которые, как правило, корродированы. Довольно часто аутигенный кварц образует регенерационные наросты на обломках кварца, а бесцветное опаловое вещество в виде пленочки обволакивает обломки. Существенному изменению подвергаются также и глинистые минералы. В ходе этих изменений наблюдается интенсивное развитие вторичной гидрослюд (гидромусковита). По данным электронно-микроскопических исследований, термических и рентгеноструктурных анализов в составе глинистой фракции пород, вмещающих газожирные угли, резко уменьшается содержание каолинита при одновременном возрастании гидромусковита. В некоторых образцах пород чешуйки каолинита, имевшего ранее правильную изометрическую форму, переходят в гидрослуду, а затем серицит и гидромусковит.

Изменения в составе пород, вмещающих жирные угли. Они имеют ту же направленность, что и вышеописанные, но проявляются еще в большей степени. На данной стадии в глинистом веществе пород почти полностью отсутствует каолинит, в большом количестве в породах присутствуют карбонаты как в составе цемента, так и в составе обломков. Значительная их часть является катагенетической и представляет продукт замещения основных и средних плагиоклазов, а также обломков эффузивов. Замещение альбита происходит при активном участии CO_2 , H_2O , что приводит к его разложению с образованием вторичных глинистых минералов: серицита, гидрослуд, каолинита. Последний под влиянием процессов катагенеза также превращается к гидрослуду и серицит. Одновременно образуется Na_2CO_3 и переходит в раствор SiO_2 по схеме:



Аналогично идет процесс разложения анортита:



В дальнейшем происходит выпадение в осадок карбонатов и переход в раствор NaHCO_3 с образованием гидрокарбонатно-натриевого типа подземных вод. Интенсивное выделение CO_2 создает дополнительные предпосылки для возрастания доли карбонатов в породах.

Таким образом, в породах кольчугинской серии, начиная с марки углей, переходной от Д к Г, наблюдаются вторичные изменения в составе пород, обусловленные проявлением основных факторов катагенеза, а именно постепенным увеличением давления и повышением температуры. К моменту перехода углей от газовых к жирным эти изменения являются уже весьма существенными и, несомненно, наряду с процессами уплотнения и дегидратации оказывают большое влияние на физико-механические свойства пород. Установленные закономерности катагенетических преобразований горных пород кольчугинской серии имеют большое значение при оценке их роли в формировании физико-механических свойств и выяснении природы прочности пород.

Вторичные изменения в горных породах балахонской серии. Среди отложений данной серии, широко развитых по периферии Кузнецкого бассейна, наибольшим распространением, наряду с углями, пользуются обломочные сцементированные породы (алевролиты, песчаники, конгломераты), реже глинистые (аргиллиты) и углисто-глинистые породы (углистые аргиллиты и алевролиты). Подчиненную роль играют глинисто-карбонатные породы, и почти полностью отсутствуют карбонатные.

На стадии преобразования, соответствующей жирным и коксово-жирным углям, в обломочных горных породах балахонской серии наблюдается проявление процессов замещения полевых шпатов и эффузивов карбонатами, которые приводят к развитию псевдоморфоз. Причем в отдельных образцах песчаников установлено почти полное замещение эффузивов и полевых шпатов. Отмечается также повсеместное разъедание обломков пород веществом цемента. На кварцевых зернах часто наблюдаются коррозионные явления, а на отдельных зернах развиты регенерационные наросты. Широко распространен в породах катагенетический доломит, который чаще развит по обломкам эффузивов. Полевые шпаты замещаются карбонатным веществом. Одновременно по ним развивается серицит и мусковит. На рассматриваемой стадии происходит перекристаллизация карбонатов под большим давлением. Наряду с этим наблюдается замещение глинистого вещества цемента пород карбонатным. В глинистом цементе происходит дальнейший процесс гидрослюдизации, который приводит к широкому развитию гидрослюды (гидромусковита) и одновременному уменьшению содержания каолинита.

На стадии преобразования, соответствующей коксовым и коксово-жирным углям, горные породы претерпевают еще более существенные вторичные изменения. В алевролитах и песчаниках балахонской серии установлено повсеместное интенсивное замещение полевых шпатов, особенно плагиоклазов, карбонатами. Некоторые обломки полевых шпатов почти полностью замещены карбонатами, другие по краям корродированы цементом, причем как глинистым, так и карбонатным. Но в том и другом случае образуются как бы спайки между цементом и обломками. Полученные швы являются намного прочнее, чем обычные контакты между цементом и обломками, что в конечном счете приводит к значительному упрочению пород.

Глинистое вещество цемента на данной стадии преобразования представлено исключительно гидромусковитом, и совершенно отсутствует каолинит. По мнению С.И. Малинина, в эту фазу идет интенсивное образование вторичной гидрослюды в глинистых породах, а в цементе обломочных пород ее содержание достигает 25–28 %. Следует подчеркнуть, что для горных пород Кузнецкого бассейна также характерным является образование вторичной гидрослюды, но начало этого процесса следует, очевидно, относить к более ранним стадиям преобразования по сравнению с угленосными отложениями Донецкого бассейна.

По данным В.В. Воронцова и С.А. Топорца [4], в породах Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса на рассматриваемой стадии преобразования пелитизация калиевых полевых шпатов сменяется гидрослюдизацией. Интенсивно протекает и серицитизация кислых плагиоклазов. Биотит превращен в тонкочешуйчатый агрегат гидрослюды.

Вторичные изменения пород, распространенных в Пригорношорской полосе Кузбасса, имеют свои особенности, обусловленные их составом и строением. В данной зоне шло образование преимущественно обломочных сцементированных пород, обломочные частицы которых, принимая на себя давление, деформировались, растворялись и частично переходили в цементирующую массу. Это характерно для слабопрочных обломков, представленных сланцами и эффузивами, которые изогнуты вокруг более прочных обломков, таких как кварц и кварциты. С этими процессами связано и развитие реликтового цемента вдавливания, а также частичная перекристаллизация и последующая карбонатизация. Наблюдается также частичная или полная серицитизация плагиоклазов; некоторые обломки полевых шпатов, сланцев, эффузивов корродированы карбонатным цементом, благодаря чему развит псевдоморфный карбонат. Наблюдаются изменения в составе глинистых минералов, что выражается в интенсивной гидрослюдизации обломочного материала и развитии вторичной гидрослюды.

На стадии катагенеза, соответствующей полуантрацитам и антрацитам, в цементе обломочных пород широкое распространение получили серицит и гидромусковит, являющиеся результатом замещения большинства обломочных компонентов. Наибольшему замещению серицитом подвергаются эффузивы и полевые шпаты. Отмечается широкое развитие катагенетического доломита, возникшего, главным образом, по обломкам эффузивов (рис. 2.6).

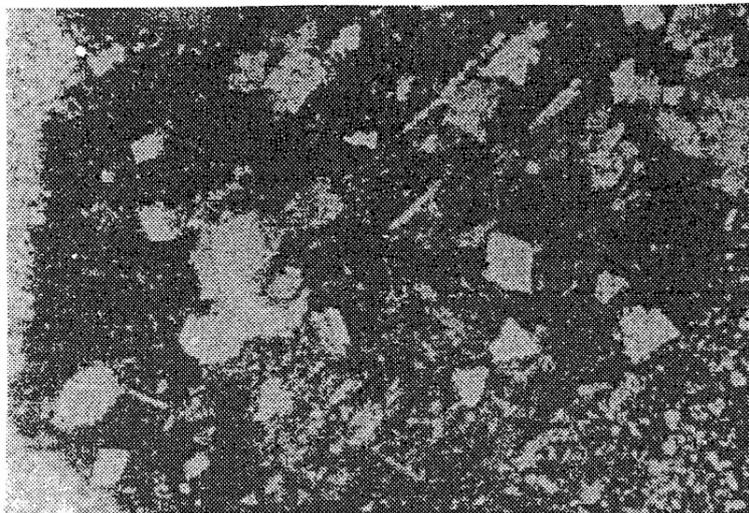


Рис. 2.6. Песчаник балахонской серии, мелкозернистый с серицитовым цементом и ромбовидными кристаллами доломита в обломке эффузивов. Николи скрещены. $\times 400$

Детальные исследования минералогического состава позволили установить все возможные стадии замещения эффузивных обломков доломитом. На конечной стадии такого замещения возникают псевдоморфозы микрокристаллического доломита. О катагенетическом происхождении доломитов свидетельствуют случаи, когда концы доломитовых кристаллов выходят за пределы замещенного обломка в цемент. Довольно часто замещению кальцитом в данной стадии подвергаются плагиоклазы (рис. 2.7).

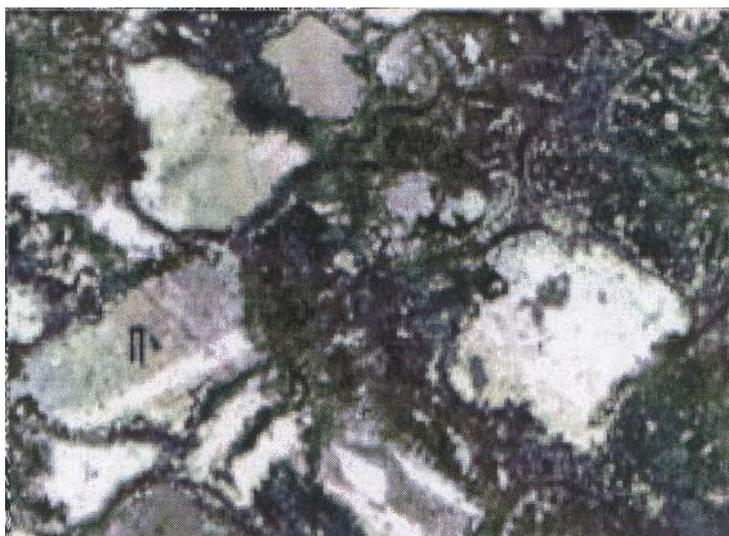


Рис. 2.7. Песчаник балахонской серии с серицитовым цементом. Стадия преобразования пород соответствует углям ПА-А:
П – плагиоклаз; К – кальцит, замещающий плагиоклаз, николи скрещены. $\times 80$

Таким образом, из вышеизложенного следует, что вторичные изменения в горных породах, вмещающих угли от длиннопламенных до полуантрацитов и антрацитов, являются весьма существенными и играют немаловажную роль при формировании свойств пород, особенно их прочности. Исключительное значение при этом отводится карбонатам, которые в различных количествах развиты в цементе обломочных горных пород кольчугинской и балахонской серий. В зависимости от содержания последних горные породы угленосных отложений Кузбасса отчетливо делятся на породы с карбонатным, глинисто-карбонатным и глинистым цементом. Карбонаты цемента представлены, как правило, доломитом или сидеритом, значительно реже кальцитом. Очевидно, формирование карбонатного цемента происходило в стадию катагенеза вследствие замещения глинистого вещества карбонатным.

Образование вторичных карбонатов сопровождалось различными геохимическими процессами с широким участием подземных вод. Однако необходимо отметить, что природа этих явлений еще до конца не изучена и требуется дальнейшая проработка затронутых вопросов.

Следует подчеркнуть, что в процессе уплотнения глинисто-карбонатных пород, сформировавшихся в стадию диагенеза, происходило отжатие большого количества подземных вод, в значительной мере насыщенных карбонатами. При поступлении таких растворов в породы с более высокой пористостью (песчаники, алевролиты) происходило осаждение карбонатов в цементе, а в дальнейшем и замещение обломков полевых шпатов, эффузивов, осадочных пород карбонатами поровых растворов. В конечном счете все эти процессы приводят к образованию более прочных структурных связей типа «швов» между обломочными частями и цементирующейся массой.

2.1.4. Изменение физико-механических свойств горных пород на различных стадиях катагенетических преобразований

Вторичные изменения в горных породах, протекающие на стадии между диагенезом и начальным метаморфизмом, оказывают большое влияние на их физико-механические свойства. Выяснению закономерностей изменения физико-механических свойств пород, вмещающих угли различной степени метаморфизма, посвящены исследования [4, 32]. Они позволили выяснить особенности формирования физико-механических свойств горных пород на различных стадиях катагенеза. По данным В.В. Гречухина [7], при увеличении степени метаморфизма углей наблюдается возрастание плотности и уменьшение пористости пород. Основываясь на результатах своих исследований, В.В. Гречухин выводит правило (или принцип) универсальности физических свойств угленосных отложений: «При одинаковых степенях регионального метаморфизма углей и эпигенеза пород наблюдаются одинаковые изменения физических свойств (пористости, плотности, скорости распространения упругих колебаний, удельного электрического сопротивления) углей и вмещающих пород (аргиллитов, алевролитов, песчаников) различных угольных месторождений независимо от их геологического строения». В.В. Гречухин, пользуясь выведенным правилом, предлагает типовой петрофизический разрез отложений угольных бассейнов геосинклинального типа. Однако следует отметить, что от «правила В.В. Гречухина» могут быть отклонения, которые наглядно проявляются на примере Кузнецкого угольного бассейна. Эти отклонения обусловлены тем, что физико-механические свойства пород угленосных отложений формируются не только под влиянием процессов прогрессивного литогенеза, но и являются результатом воздействия процессов регрессивного литогенеза. Под влиянием последних происходит перемещение пород в области с понижающимися давлением и температурой, существенно изменяются первоначальные условия залегания и состояние горных пород, что отражается на физико-механических свойствах и особенно прочностных показателях.

По данным С.И. Малинина, на стадиях преобразования углей, соответствующих технологическим маркам от длиннопламенных до антрацитов, происходит возрастание прочности горных пород Донецкого бассейна, причем последняя существенно зависит от содержания карбонатов. На стадии, переходной от коксующихся углей к тощим, наблюдается снижение прочностных свойств, что автор объясняет интенсивным развитием процессов превращения глинистого материала во вторичную гидрослюду, а затем на последующих стадиях происходит образование в большом количестве вторичных карбонатов, что приводит к упрочению горных пород.

Для пород Донецкого бассейна Г.Г. Скворцовым и В.В. Фроммом [32] установлено снижение влажности, пористости и увеличение плотности и прочности по мере возрастания степени метаморфизма углей.

Выяснение закономерностей изменения физико-механических свойств горных пород Кузбасса в зависимости от стадий катагенетических преобразований и соответствующих им стадий углефикации осуществлялось с учетом разнообразия геолого-генетических комплексов и литологических типов пород угленосных отложений бассейна, вторичных изменений в составе и структуре пород на различных стадиях катагенеза, особенностей геотектонического развития и строения Кузнецкого бассейна.

Исследованиями установлено, что наименьшие изменения в ходе литогенеза претерпели породы тарбаганской серии. Последние обладают самой низкой плотностью и прочностью и самой высокой пористостью и влажностью по сравнению с аналогичными типами пород кольчугинской и балахонской серий (табл. 2.1).

Изменения физико-механических свойств пород кольчугинской серии в зависимости от стадий катагенетических преобразований являются весьма существенными (рис. 2.8, табл. 2.2). Причем плотность (удельный вес) алевролитов и песчаников, находящихся на различных стадиях катагенетических преобразований, не подчиняется какой-либо закономерности.

Таблица 2.1

Физико-механические свойства горных пород тарбаганской серии

Физико-механические свойства	Типы пород, развитые в различных геоструктурных зонах					
	Дунаевская синклиналь			Чусовитино-Бунгарапская впадина		
	Песчаники	Алевролиты	Аргиллиты	Песчаники	Алевролиты	Аргиллиты
Плотность, г/см ³	2,67	2,60	2,58	2,66	2,69	2,65
Объемная масса, г/см ³	2,27	2,24	2,25	2,33	2,30	2,32
Влажность, %	7,41	8,87	8,86	5,45	8,17	6,59
Пористость, %	20,12	19,79	18,87	17,19	19,70	17,74
Временное сопротивление сжатию, МПа	0,050	0,038	0,064	0,164	1,130	0,155
Временное сопротивление растяжению, МПа	0,089	0,056	0,0071	0,1828	0,164	0,017

Физико-механические свойства	Типы пород, развитые в различных геоструктурных зонах					
	Дунаевская синклиналь			Чусовитино-Бунгарапская впадина		
	Песчаники	Алевролиты	Аргиллиты	Песчаники	Алевролиты	Аргиллиты
Угол внутреннего трения, град	38	37	36	43	–	–
Сцепление, МПа	0,137	0,008	0,0013	0,030	0,034	0,0030

Примечание. Количество определений для различных типов пород колеблется от 8 до 15.

Совершенно иная картина наблюдается с объемными массами пород, для которых установлено закономерное возрастание по мере изменения стадий катагенетических преобразований. Причем на стадиях преобразования, соответствующих углям марок Д, Д-Г и даже Г, расхождения в средних значениях объемных масс одноименных типов пород незначимы.

Начиная со стадии преобразования, соответствующей углям ГЖ, наблюдается резкое возрастание объемной массы пород, которое приводит к появлению значимых различий по сравнению с объемными массами пород, вмещающих длиннопламенные и переходные к газовым угли. Самое высокое значение этого показателя получено для пород, вмещающих угли марок Ж и КЖ. После проявления процессов прогрессивного литогенеза последующие тектонические движения не повлияли существенно на изменение объемной массы пород кольчугинской серии. Значения этого показателя изменяются лишь в зоне гипергенеза, что обусловлено процессами выветривания. Отмеченное позволяет утверждать, что главным фактором, способствующим изменению объемной массы пород на различных стадиях катагенеза, является давление. Изменения же минералогического состава, которые, как было показано ранее, уже наблюдаются в породах, находящихся на ранних стадиях преобразования и включающих угли, переходные от длинно-пламенных к газовым, не способствуют существенному изменению физических свойств пород. Они приводят, главным образом, к изменению характера структурных связей между обломочными частицами и цементирующим веществом, что отражается на прочностных показателях. Для пористости пород, вмещающих угли марок от Д до Ж, отчетливо выражено закономерное убывание последней в указанном направлении. Причем различия в значениях этих показателей оказываются значимыми уже при переходе от длиннопламенных к газовым углям, а в дальнейшем они становятся еще более значимыми. Естественная влажность пород кольчугинской серии в общем уменьшается по мере возрастания стадий катагенетических преобразований и соответствующих им технологических марок углей, меняющихся от длиннопламенных к жирным. Общее снижение влажности пород обусловлено, очевидно, уменьшением их пористости и воздействием высоких температур и давлений в процессе катагенеза.

В отличие от физических свойств пород их прочностные показатели подчиняются другим закономерностям при изменении стадий катагенетических преобразований. Временное сопротивление сжатию пород в пределах подзоны пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса увеличивается при переходе от стадии преобразования, соответствующей длиннопламенным углям, к стадии, соответствующей газовым углям. Затем

в Центральной зоне пологих складок и куполовидных поднятий оно резко падает, хотя стадия катагенеза становится более высокой. Вместе с тем в этой же зоне с увеличением стадии катагенеза прочность пород возрастает, но не достигает тех величин, которые имеют породы в подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса (рис. 2.8).

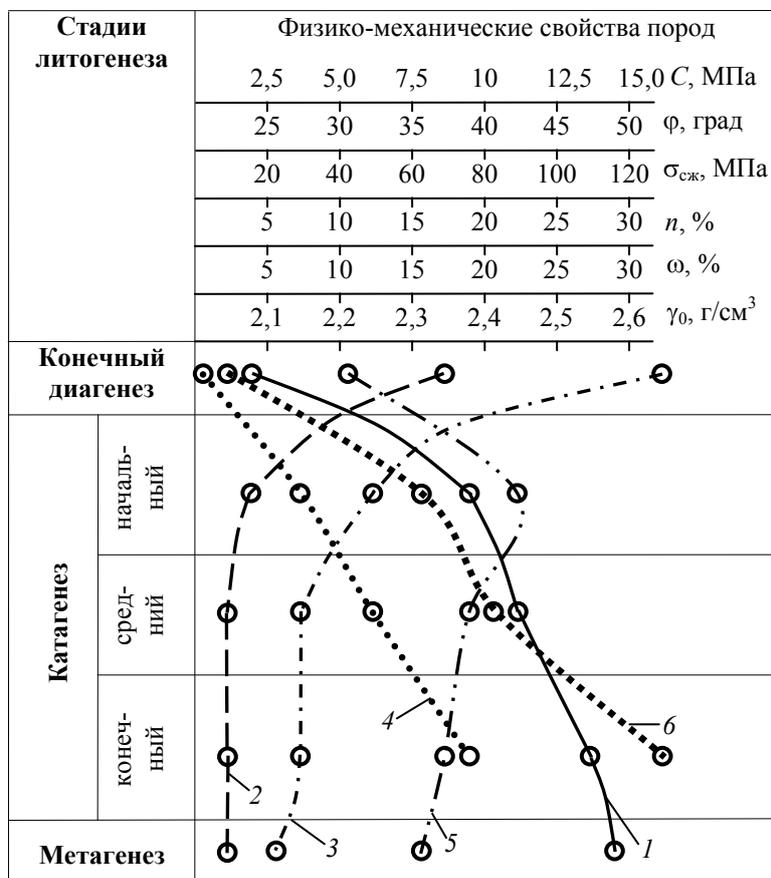


Рис. 2.8. Изменения физико-механических свойств песчаников на различных стадиях литогенеза:

1 – плотность; 2 – влажность; 3 – пористость; 4 – временное сопротивление сжатию; 5 – угол внутреннего трения; 6 – сцепление

В Пригорношорской зоне моноклиналей, где развиты горные породы, вмещающие угли марки КЖ, их прочность резко возрастает и становится максимальной. Все вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы.

В ходе геотектонического развития Кузнецкого бассейна, наблюдавшегося после проявления в максимальной степени процессов катагенеза и сопровождающегося складкообразованием, произошло не только нарушение условий залегания горных пород, но и ослабление, иногда значительное, структурных связей в них. Однако отмеченные процессы существенно не изменили физические свойства горных пород. Так, средние значения объемных масс одноименных типов пород кольчугинской серии в Центральной зоне пологих складок и куполовидных поднятий, с одной стороны, и Пригорношорской зоне моноклиналей – с другой, существенно не отличаются, а прочность пород во втором случае значительно выше. Это объясняется тем, что породы Пригорношорской полосы Кузбасса после воздействия на них основных факторов катагенеза не претерпели существенных изменений в ходе последующего геотектонического развития. Подтверждением этому являются спокойное, моноклиальное залегание пород в данном районе и сравнительно невысокая степень их тектони-

ческой нарушенности. Отсюда вытекает очень важный вывод, что при инженерно-геологическом расчленении массивов горных пород Кузбасса, разработке инженерно-геологических классификаций и оценке условий строительства карьеров, наряду с геолого-генетическими особенностями пород и степенью их преобразования в процессе катагенеза, необходимо учитывать также особенности геотектонического развития и строения описываемого региона.

Временное сопротивление растяжению и сцепление подчиняются тем же закономерностям, что и временное сопротивление сжатию. Угол внутреннего трения в данном случае составляет исключение и изменяется скачкообразно, незакономерно. Это явление можно объяснить тем, что на поздней стадии катагенеза под воздействием высокого давления и физико-химических превращений в обломочных породах формируются новые типы контактов и структур (конформно-регенерационная, granoобластовая, микростилолитовая и др.) В стадию позднего катагенеза, как было показано нами ранее, протекают различные процессы минералообразования, коррозия и растворение обломочных зерен, регенерация, образование новых минералов из растворов или при взаимодействии растворов с твердой фазой (метасоматоз), дальнейшее изменение обломочных зерен, раскристаллизация аутигенных минералов. Под влиянием указанных процессов существенно изменяется не только состав горных пород, но и характер структурных связей, что приводит к сглаживанию различий в углах внутреннего трения пород и одновременно к значительному увеличению сцепления.

Изменения физико-механических свойств горных пород балахонской серии под воздействием процессов катагенеза проявляются еще в большей степени по сравнению с породами кольчугинской серии. Последнее объясняется тем, что породы балахонской серии находятся на более высоких стадиях преобразования и отличаются от пород кольчугинской серии по составу, текстурно-структурным особенностям и физико-механическим свойствам. Анализ закономерностей изменения физико-механических свойств горных пород балахонской серии показал, что в общем они характеризуются более высокой объемной массой и более низкими показателями пористости и влажности по сравнению с аналогичными породами кольчугинской серии.

Для пород балахонской серии отмечается закономерное увеличение объемной массы и уменьшение пористости и влажности по мере возрастания стадии катагенетических преобразований. Причем объемная масса пород с карбонатным цементом оказалась наибольшей, а с глинистым цементом – наименьшей. Для пористости и влажности наблюдается обратная картина, т. е. наибольшие значения этих показателей отмечаются у пород с глинистым цементом, наименьшие – с карбонатным.

В пределах Приколывань-Томской зоны интенсивной линейной складчатости объемная масса горных пород балахонской серии, вмещающих угли марки КЖ, оказалась ниже, чем у аналогичных пород, находящихся на этой же стадии преобразования, но распространенных в Присалаирской зоне интенсивной линейной складчатости. В то же время влажность и пористость сравниваемых пород практически не отличаются, и расхождения между ними незначимы. В зоне моноклиналей Пригорношорской полосы Кузбасса объемная масса пород, вмещающих угли марок К, возрастает. Этот показатель также возрастает и становится максимальным для пород, находящихся на самой высокой стадии преобразований, соответствующей углям марки ПА-А. Такие породы отличаются широким распространением в подзоне интенсивной линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса. Особое внимание следует обратить на закономерности изменения прочностных свойств горных пород балахонской серии, которые зависят не только от состава, текстурно-структурных особенностей, степени изменения пород под воздействием процессов катагенеза, но и, не в меньшей степени, от интенсивности тектонических движений, приведших к складкообразованию, измене-

нию условий залегания горных пород, развитию в них микро- и макротрещиноватости, частичному или полному нарушению структурных связей. Последнее наглядно иллюстрируется результатами выполненных исследований (рис. 2.8, табл. 2.2).

Из приведенных данных видно, что породы, развитые в Приколывань-Томской и При-салаирской зонах интенсивной складчатости и находящиеся на одинаковых стадиях преобразования, характеризуются близкими значениями прочностных показателей. При этом наибольшие значения этих показателей наблюдаются в породах с карбонатным, наименьшие – с глинистым цементом. В Пригорношорской зоне моноклиналей аналогичные породы той же стадии катагенетических преобразований имеют более высокие значения прочностных показателей. Это можно объяснить тем, что после воздействия на породы процессов прогрессивного литогенеза, способствующих наибольшему упрочению пород, в последующем они не были подвергнуты воздействию интенсивных тектонических движений. Этот вывод подтверждается результатами исследований условий залегания, трещиноватости и степени нарушенности горных пород Пригорношорской полосы Кузбасса. Породы в этом районе в наименьшей степени нарушены тектоникой и залегают в виде пологопадающих, выдержанных пластов с углами падения 5–10°. Для более убедительного доказательства роли тектонического развития региона на прочностные показатели пород на рис. 2.8 приведены данные по физико-механическим свойствам пород, находящихся на самой высокой стадии катагенетических преобразований (марка углей ПА-А). Следовало бы ожидать и наибольших значений физико-механических свойств для этих пород. Действительно, породы данной группы имеют максимальную объемную массу, минимальную влажность и пористость. В то же время прочность их оказалась значительно ниже, чем прочность пород, находящихся на более низкой стадии преобразования, но развитых в Пригорношорской зоне моноклиналей. Соответственно и тектоническое строение на участках развития пород, вмещающих угли марки ПА-А, оказалось значительно сложнее. Породы здесь смяты в кулисообразные складки, интенсивно дислоцированы и нарушены тектоническими движениями. Все это способствовало снижению прочности горных пород, в то время как на физические свойства геотектонические движения в постинверсионный период существенно не повлияли.

2.1.5. Влияние геотектонического развития Кузбасса в постинверсионный период на физико-механические свойства горных пород

В ходе катагенеза, сопровождавшегося постепенным погружением основания и проявлением мелких колебательных движений, горные породы Кузбасса претерпели существенные изменения. Причем наибольшие изменения в углях и породах, связанные с резким возрастанием давления и повышением температуры, происходят в момент смены нисходящих движений на восходящие. Именно в данный момент горные породы подвергаются наибольшему воздействию отмеченных факторов, что сопровождается развитием вторичных процессов и изменением физико-механических свойств пород. По мнению А.Я. Меньшикова [16], «после достижения максимального метаморфизма углей, вызванного региональными факторами, давление, создаваемое складкообразовательными тектоническими процессами, не вызывает дополнительную метаморфизацию углей и пород, а приводит только к изменению их некоторых физических свойств». Другие исследователи делят процесс регионального метаморфизма на два этапа: доинверсионный (по М.Л. Левенштейну), или палеометаморфизм (по М.В. Голицыну и И.В. Орлову), наблюдавшийся до складкообразовательных движений, и неометаморфизм (постинверсионный метаморфизм), протекающий после складчатости.

Таблица 2.2

**Изменение средних значений физико-механических свойств горных пород кольчугинской серии
в зависимости от степени катагенетических преобразований пород**

Геотектонические зоны	Тип пород	Степень литогенеза и марки углей	Породы с глинистым цементом						
			ρ_s , г/см ³	ρ_0 , г/см ³	n, %	$\sigma_{сжс}$, МПа	σ_p , МПа	ϕ , град	C, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Геотектонические зоны	Песчаники	Д	2,65	2,31	17,5	1,30	0,24	37	0,36
		ДГ	2,69	2,33	16,32	2,05	0,32	42	0,47
	Алевриты	Г _I	2,62	2,32	15,8	1,78	0,30	39	0,41
		Г _{II}	2,64	2,38	19,38	3,63	0,56	42	0,80
	Присалаирская зона пологих складок и куполовидных поднятий	Г-ГЖ	2,68	2,48	9,61	1,68	0,33	39	0,41
		ГЖ	2,61	2,43	11,73	1,98	0,47	25	0,54
	Пригорношорская зона моноклиналей	КЖ	2,65	2,51	6,57	5,89	0,99	41	1,35
		Д	2,62	2,34	16,10	1,59	0,26	32	0,40
	Присалаирская зона пологой линейной складчатости	ДГ	2,65	2,40	14,01	1,30	0,21	35	0,28
		Г _I	2,63	2,36	14,8	1,73	0,30	45	0,58
Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий	Г _{II}	2,65	2,34	14,72	3,29	0,45	42	0,71	
	Г-ГЖ	2,66	2,45	11,73	1,67	0,34	36	0,42	
Присалаирская зона моноклиналей	ГЖ	2,69	2,49	10,04	2,51	0,57	39	0,50	
Присалаирская зона моноклиналей	КЖ	2,65	2,51	6,28	4,70	0,73	42	1,09	

Продолжение табл. 2.2

Геотектонические зоны	Тип пород	Степень литогенеза и марки углей	Породы с глинисто-карбонатным цементом							
			$\rho_s, \text{г/см}^3$	$\rho_0, \text{г/см}^3$	$n, \%$	$\sigma_{сжс}$ МПа	σ_p МПа	φ , град	C , МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Присалаирская зона пологой линейной складчатости	Песчаники	Д	2,69	2,36	15,96	2,90	0,57	41	0,61	
		Г ₁	2,59	2,32	14,02	2,97	0,41	40	0,63	
		Г ₁₁	2,64	2,41	11,49	4,97	0,80	43	0,11	
Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий	Песчаники	Г-ГЖ	2,66	2,47	9,15	2,95	0,50	41	0,64	
		КЖ	2,63	2,51	5,33	8,46	1,86	38	2,18	
		Д	2,63	2,37	14,27	2,88	0,42	40	0,68	
Пригорношорская зона моноклиналей	Песчаники	ДЦ	2,65	2,38	12,29	2,88	0,36	44	0,51	
		Г ₁	2,65	2,40	11,45	3,22	0,35	43	0,70	
		Г ₁₁	2,67	2,39	13,18	4,46	0,67	42	1,00	
Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий	Алевриты	Г-ГЖ	2,68	2,53	8,47	2,87	0,49	38	0,69	
		ГЖ	2,69	2,50	9,29	3,85	0,48	41	0,57	
		КЖ	2,62	2,47	7,0	8,61	2,08	36	1,86	

Окончание табл. 2.2

Геотектонические зоны	Тип пород	Степень литогенеза и марки углей	Породы с карбонатным цементом							
			$\rho_{св}$, г/см ³	$\rho_{об}$, г/см ³	n, %	$\sigma_{сжк}$ МПа	$\sigma_{рп}$ МПа	ϕ , град	C_r , МПа	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Д	2,69	2,36	14,77	4,06	0,76	41	1,04	
Присалаирская зона пологой линейной складчатости	Песчаники	ДГ	2,66	2,37	13,7	4,34	0,60	45	0,86	
		Г _I	2,60	2,36	12,10	4,98	0,42	42	1,07	
		Г _{II}	2,66	2,42	11,3	5,75	0,93	39	1,33	
Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий	Песчаники	Г-ГЖ	2,68	2,52	8,67	5,12	1,29	34	1,41	
		ГЖ	2,70	2,50	11,6	4,53	0,84	40	1,13	
Пригорношорская зона моноклиналей	Песчаники	КЖ	2,65	2,52	5,26	10,52	2,63	34	2,69	
		Д	2,66	2,41	10,40	5,01	0,77	38	0,96	
		ДГ	2,66	2,41	10,89	3,89	0,52	45	0,82	
Присалаирская зона пологой линейной складчатости	Алвролиты	Г _I	2,63	2,41	13,19	3,80	0,72	42	1,01	
		Г _{II}	2,65	2,43	11,86	5,94	0,95	43	1,27	
Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий	Алвролиты	Г-ГЖ	2,71	2,56	8,47	4,58	0,66	38	1,29	
		ГЖ	2,71	2,53	8,55	4,24	0,82	39	1,08	
Присалаирская зона моноклиналей	Алвролиты	КЖ	2,69	2,55	5,89	9,88	2,03	38	2,51	

Закономерности изменения физико-механических свойств горных пород Кузбасса свидетельствуют о том, что наибольшее значение имеют процессы палеометаморфизма, а последующее геотектоническое развитие, сопровождающееся складкообразованием, большое влияние оказывает лишь на прочность структурных связей. Поэтому, достигнув своих предельных значений в ходе катагенеза (в момент инверсии), физические свойства пород в дальнейшем существенно не изменяются, а прочностные показатели во многом зависят от интенсивности проявления последующих тектонических движений, которые определяют состояние, трещиноватость и условия залегания пород.

В постинверсионный период происходит существенная структурно-тектоническая перестройка территории Кузнецкого бассейна под влиянием нескольких фаз тектогенеза, среди которых наибольшее воздействие оказали движения новокиммерийского цикла. В ходе такой неоднократной перестройки изменялось структурно-тектоническое положение самого бассейна.

Результаты этих изменений отчетливо проявляются в наличии на территории Кузнецкого бассейна нескольких геотектонических зон, характеризующихся различным тектоническим строением и условиями залегания пород, степенью их измененности, состоянием и трещиноватостью. Одновременно значительная часть горных пород под воздействием тектонических движений оказалась в зоне гипергенеза и претерпела существенные изменения благодаря воздействию процессов выветривания.

Особенности геотектонического строения и развития Кузнецкого угольного бассейна были подробно рассмотрены ранее. Поэтому здесь лишь отметим, что результатом данного развития является современное тектоническое строение Кузбасса, на территории которого отчетливо выделяются четыре геотектонические зоны: Присалаирская, Приколывань-Томская зоны интенсивной линейной складчатости, Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий, Пригорношорская и Прикузнецко-Алатауская зоны моноклиналей.

В пределах выделенных геотектонических зон горные породы в различной степени были подвержены тектоническим воздействиям. Так, если в зоне моноклиналей условия первоначального залегания пород в ходе геотектонического развития изменились незначительно, что подтверждается спокойным, пологим залеганием угольных пластов и пород (углы падения $5-10^\circ$), то в Центральной зоне пологих складок и куполовидных поднятий они чаще имеют форму асимметричных брахискладок с углами падения крыльев от $10-15$ до $45-50^\circ$. В подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса условия залегания пород изменяются в широких пределах, а углы падения колеблются от $15-20$ до $35-45^\circ$. При переходе в зону интенсивной линейной складчатости отмечаются наибольшая степень тектонической нарушенности и максимальная трещиноватость пород. Последние собраны в кулисообразные складки с углами падения пластов от $45-50$ до $65-70$ и даже 80° .

Приколывань-Томская зона интенсивной линейной складчатости также характеризуется сложным тектоническим строением. Следует отметить, что степень тектонической нарушенности и трещиноватости пород заметно убывает к центру, юго и юго-западу бассейна. Совершенно очевидно, что отмеченные особенности тектонического развития и строения Кузбасса не могли не сказаться на физико-механических свойствах пород. С целью установления масштабов этого влияния нами произведено сопоставление физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса, имеющих одинаковый литологический состав и находящихся на одинаковых стадиях преобразования, но развитых в различных геотектонических зонах (рис. 2.8, табл. 2.2).

Как видно из приведенных данных, физические свойства одноименных типов пород, находящихся на одинаковых стадиях преобразования, но распространенных в различных геотектонических зонах, отличаются незначительно. В то же время прочностные показатели оказались существенно различными. Максимальные значения их получены для пород, развитых в зоне моноклиналей Пригорношорской полосы Кузбасса. В Центральной зоне пологих складок и куполовидных поднятий прочность пород значительно ниже, чем в зоне моноклиналей, и даже ниже, чем в подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса.

Влияние геотектонического строения на физико-механические свойства отчетливо проявляется и в породах балахонской серии. Так, прочностные показатели пород балахонской серии в зоне интенсивной линейной складчатости при прочих равных условиях оказались значительно ниже, чем в зоне моноклиналей Пригорношорской полосы (табл. 2.3), хотя стадия катагенетических преобразований в первом случае значительно выше.

Одновременно установлено, что породы Приколывань-Томской зоны интенсивной складчатости и подзоны интенсивной линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса при одинаковых стадиях катагенеза имеют близкие значения прочностных показателей. Причем физические свойства пород незначительно снижаются при переходе в более напряженные в тектоническом отношении зоны.

Из всего вышеизложенного следует, что при формировании физико-механических свойств горных пород Кузбасса большое значение имели процессы катагенеза, влияние которых в наибольшей степени проявилось в момент инверсии. Последующие тектонические движения, приведшие к складкообразованию, изменению условий залегания и состояния пород, не оказали существенного влияния на физические свойства, а способствовали нарушению структурных связей в горных породах и снижению их прочностных показателей.

2.1.6. Изменение физико-механических свойств горных пород под воздействием процесса выветривания

В результате геотектонических движений значительная часть горных пород угленосных отложений Кузбасса оказалась в зоне гипергенеза и была подвержена в течение длительного времени влиянию агентов выветривания.

Инженерно-геологическое изучение процессов выветривания является исключительно актуальным для современной инженерной геологии. Теоретические аспекты данного вопроса рассмотрены в работах Н.Н. Гинзбурга, Г.С. Золотарева, Н.В. Коломенского и др. Особого внимания заслуживают исследования, выполненные Л.А. Ярг [39], по изучению закономерностей строения коры выветривания, изменчивости состава и физико-механических свойств горных пород, слагающих зону выветривания с учетом различных климатических зон земного шара.

В настоящее время разработаны показатели степени выветрелости пород и методы изучения скорости процессов выветривания. В последние годы выполнены также многочисленные исследования применительно к решению конкретных задач при различных видах строительства. Особенный интерес с точки зрения учета процессов выветривания при оценке устойчивости бортов карьеров представляет работа Г.Л. Фисенко и С.В. Кагермазовой [37], в которой освещаются особенности выветривания и осыпания пород в откосах открытых горных выработок.

Таблица 2.3

**Изменение средних значений физико-механических свойств горных пород балахонской серии
в зависимости от степени катагенетических преобразований пород**

Геотектонические зоны	Тип пород	Степень литогенеза и марки углей	Породы с глинистым цементом							
			$\rho_s, \text{ г/см}^3$	$\rho_b, \text{ г/см}^3$	$n, \%$	$\sigma_{сж}, \text{ МПа}$	$\sigma_p, \text{ МПа}$	$\varphi, \text{ град}$	$C, \text{ МПа}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Присалаирская зона пологой линейной складчатости	Песчаники	ГЖ	2,65	2,46	9,13	2,70	0,38	44	0,60	
		КЖ	2,68	2,41	11,26	2,13	0,38	44	0,45	
Прикольвань-Томская зона интенсивной линейной складчатости	Песчаники	КЖ-К	2,68	2,52	6,55	6,10	1,13	41	1,52	
		К	2,65	2,50	6,57	6,02	0,99	42	1,32	
Пригорношорская зона моноклиналей	Алвролиты	ПА-А	2,67	2,54	5,82	3,42	1,06	33	1,00	
		ГЖ	2,61	2,43	9,52	2,47	0,34	39	0,51	
Пригорношорская зона моноклиналей	Алвролиты	КЖ-К	2,64	2,53	5,83	6,96	1,49	38	1,76	
		ПА-А	2,61	2,49	5,63	2,09	0,77	31	0,62	

Продолжение табл. 2.3

Геотектонические зоны	Тип пород	Степень литогенеза и марки углей	Породы с глинисто-карбонатным цементом							
			$\rho_{с,3}$ г/см ³	$\rho_{0,3}$ г/см ³	n, %	$\sigma_{сжк}$ МПа	$\sigma_{р}$ МПа	φ , град	C, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Геотектонические зоны	Песчаники	ГЖ	2,64	2,64	8,63	5,07	0,79	43	1,11	
		КЖ	2,66	2,50	8,07	4,09	0,82	40	0,99	
	КЖ-К	2,66	2,52	6,64	8,37	1,51	40	1,99		
	К	2,66	2,51	5,33	8,45	1,86	39	2,10		
	ПА-А	2,66	2,57	4,59	5,23	1,42	33	1,34		
Геотектонические зоны		ГЖ	2,60	2,44	9,43	4,62	0,77	41	0,93	

Окончание табл. 2.3

Геотектонические зоны	Тип пород	Степень литогенеза и марки углей	Породы с карбонатным цементом							
			ρ_s , г/см ³	ρ_0 , г/см ³	n, %	$\sigma_{сжс}$ МПа	σ_p МПа	φ , град	C, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Присалаирская зона пологой линейной складчатости	Песчаники	ГЖ	2,63	2,48	7,20	7,55	1,63	38	1,91	
		КЖ	2,67	2,52	6,71	7,33	1,29	42	1,66	
		КЖ-К	2,69	2,52	7,21	11,13	2,24	38	2,76	
Прикольвань-Томская зона интенсивной линейной складчатости	Песчаники	К	2,64	2,52	6,26	10,53	2,63	34	2,69	
		ПА-А	2,67	2,63	4,30	7,53	1,93	38	1,88	
Присалаирская зона пологой линейной складчатости	Алвролиты	ГЖ	2,66	2,47	9,35	6,75	0,83	40	1,31	
		ПА-А	2,63	2,51	6,22	6,23	1,58	35	1,58	

Для угленосных отложений Кузбасса, на территории которого действует и ведется проектирование мощных углеразрезков, учет влияния степени выветрелости пород имеет исключительно большое значение. При рассмотрении данного вопроса необходимо выделить два аспекта проблемы:

1. Изменение состояния и физико-механических свойств горных пород в естественном залегании в зоне гипергенеза под влиянием длительных процессов выветривания.

2. Выветривание горных пород в бортах действующих карьеров Кузбасса в процессе разработки их открытым способом.

В настоящем разделе приводится анализ результатов исследований влияния процессов выветривания на физико-механические свойства горных пород в условиях их естественного залегания.

Интенсивность и направленность процессов выветривания в Кузбассе во многом определяются исходным минералогическим составом горных пород, наличием нескольких климатических и ландшафтных зон на территории, геоморфологическим и тектоническим строением региона. С наибольшей интенсивностью процессы выветривания проявились на водораздельных территориях в Присалаирской полосе Кузбасса, где горные породы интенсивно нарушены и смяты в складки в результате появления нескольких фаз тектогенеза. В ландшафтно-климатическом отношении рассматриваемая территория представляет слабоувлаженную степную зону с годовым количеством атмосферных осадков менее 400 мм в год. С меньшей интенсивностью эти процессы протекали в таежной зоне, особенно в Пригорношорской полосе Кузбасса. Причем наименьшая мощность зоны выветрелых палеозойских пород оказалась в долинах рек Томи, Ини и др.

Отмеченные особенности проявления процессов выветривания подтверждаются результатами изучения литолого-минералогического состава и физико-механических свойств горных пород. В составе глинистой части цемента пород зоны выветривания широко распространены каолинит, монтмориллонит и гидрослюда (рис. 2.9, 2.10).

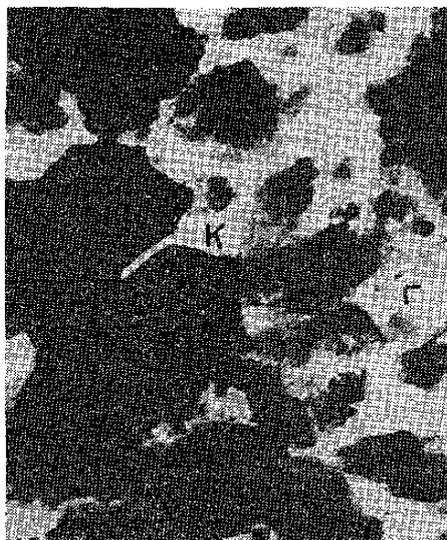


Рис. 2.9. Пелитовая фракция цемента алевролитов кольчугинской серии из зоны выветривания под электронным микроскопом. $\times 16\ 600$:
К – каолинит; Г – гидрослюда

Однако важно заметить, что в процессе выветривания в горных породах наблюдаются не только физико-химические превращения, но и происходит изменение состояния пород,

что приводит к изменению их физико-механических свойств. Сравнение последних с аналогичными свойствами и типами пород, не затронутых выветриванием (табл. 2.2, 2.3, 2.4), показывает, что в процессе выветривания изменяются как физические свойства пород, так и прочностные показатели (временное сопротивление сжатию, растяжению, сцепление), в то время как угол внутреннего трения остается практически неизменным. Причем наибольшие различия в физико-механических свойствах выветрелых и не затронутых выветриванием пород наблюдаются в Присалаирской зоне интенсивной линейной складчатости, наименьшие – в зоне моноклиналей Пригорношорской полосы Кузбасса. Это свидетельствует о том, что процессы выветривания в первом случае протекали интенсивнее, чем во втором. Снижение прочности в наибольшей степени характерно для глинистых, углисто-глинистых пород Кузбасса, а также обломочных, цементированных глинистым цементом.

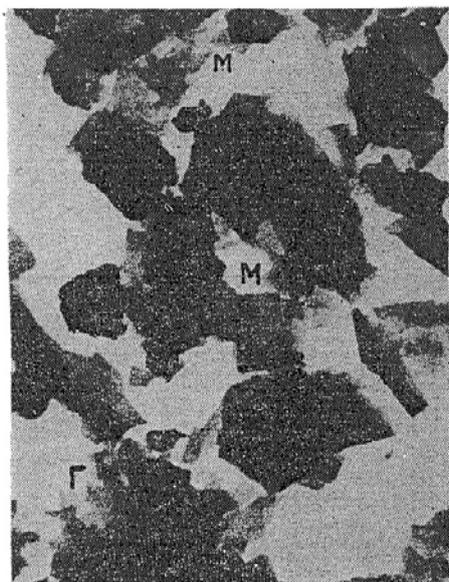


Рис. 2.10. Пелитовая фракция цемента песчаников балахонской серии из зоны выветривания под электронным микроскопом. $\times 166$:
М – монтмориллонит; Г – гидрослюда

Существенные изменения в зоне окисления происходят не только с породами, но и с углями, у которых ухудшаются качественные характеристики. Поэтому изучение зоны выветривания представляет значительный интерес и с точки зрения оценки качества углей при разведке угольных месторождений.

Использование результатов изучения степени измененности глей и пород угольных месторождений Кузбасса позволило выделить зону выветривания, что имеет большое значение при оценке устойчивости бортов карьеров. Мощность зоны выветрелых пород в Кузбассе колеблется в широких пределах и в среднем составляет 50–60 м.

Таким образом, процессы выветривания играют немаловажную роль при формировании физико-механических свойств горных пород. Под воздействием последних изменяется не только состав и состояние пород, но и их физические и механические свойства. Отмеченные изменения физико-механических свойств горных пород Кузбасса под влиянием процессов выветривания важно учитывать как при разработке инженерно-геологической классификации горных пород, так и при оценке устойчивости их в бортах карьеров.

Таблица 2.4

Физико-механические свойства пород, затронутых выветриванием

Геологический комплекс	Типы пород	Виды пород	Плотность частиц, г/см ³	Плотность, г/м ³	Влажность, %	Пористость, %	Временное сопротивление сжатию, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа	
Отложение кольчугинской серии (P ₂)	Алевриты	с глинистым цементом	2,71	2,28	10,34	23,33	–	–	34	0,25	
			с карбонатным цементом	2,61	2,33	5,25	15,27	2,78	0,31	35	0,54
	Песчаники	с глинистым цементом	2,62	2,19	7,21	21,18	1,19	0,20	42	0,34	
			с карбонатным цементом	2,60	2,23	5,00	18,30	1,70	–	–	–
			с глинисто-карбонатным цементом	2,67	2,28	3,51	17,39	3,17	0,26	–	0,54
	Алевриты	с глинистым цементом	2,62	2,24	10,39	23,05	0,69	0,03	43	0,04	
			с глинисто-карбонатным цементом	2,68	2,23	9,39	28,78	1,07	0,09	39	0,015
			с карбонатным цементом	2,63	2,26	6,29	19,31	2,59	0,036	44	0,40
			Аргиллиты	2,64	2,21	11,80	25,29	0,23	0,03	27	0,04
	Уропское месторождение										
	Моховское месторождение										

Продолжение табл. 2.4

Геологический комплекс	Типы пород	Виды пород	Плотность частиц, г/см ³	Плотность, г/м ³	Влажность, %	Пористость, %	Временное сопротивление сжатию, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа
Караканское месторождение										
Отложение кольчугинской серии (P ₂)	Песчаники	с глинистым цементом	2,62	2,24	10,39	23,05	0,69	0,03	43	0,04
		с глинисто-карбонатным цементом	2,61	2,35	3,36	12,81	2,64	0,29	43	0,52
		с карбонатным цементом	2,68	2,41	2,64	12,00	3,63	0,46	43	0,47
	Алевриты	с глинистым цементом	2,58	2,16	9,24	22,63	0,74	0,05	40	0,11
		с глинисто-карбонатным цементом	2,59	2,30	5,97	16,03	0,91	0,10	43	0,18
	Аргиллиты	с карбонатным цементом	2,71	2,39	9,30	18,82	2,57	0,39	43	0,56
			2,61	2,21	8,35	21,31	0,65	0,11	35	0,18
Киселевское месторождение										
Отложение бадахонской серии (C ₂₃ - P ₁)	Песчаники	с глинистым цементом	2,64	2,38	4,02	13,02	2,06	0,35	45	0,41
		с глинисто-карбонатным цементом	2,65	2,45	3,18	9,98	4,26	0,69	44	1,03
		с карбонатным цементом	2,63	2,48	3,07	8,33	5,91	1,06	44	1,20

Продолжение табл. 2.4

Геолого-генетические комплексы	Типы пород	Виды пород	Плотность частиц, г/см ³	Плотность, г/м ³	Влажность, %	Пористость, %	Временное сопротивление сжатию, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа
Отложение балахонской серии (С ₂₋₃ – Р ₁)	Алевриты	с глинистым цементом	2,55	2,39	3,31	11,82	2,26	0,28	37	0,44
		с глинисто-карбонатным цементом	2,65	2,39	2,63	10,96	4,06	0,77	39	0,89
Томь-Усинское месторождение										
Отложение балахонской серии (С ₂₋₃ – Р ₁)	Алевриты	с глинистым цементом	2,61	2,51	1,57	5,44	2,75	0,41	45	0,61
		с глинисто-карбонатным цементом	2,60	2,46	1,26	3,08	5,57	1,12	39	1,40

Примечание. Количество определений для каждого вида пород составляло 15–22.

2.2. Некоторые закономерности пространственной изменчивости физико-механических свойств горных пород

В последние годы в области инженерной геологии и грунтоведения выделялись и интенсивно развивается направление, связанное с изучением закономерностей пространственно-временной изменчивости состава и физико-механических свойств горных пород. Теоретические основы изменчивости свойств горных пород нашли отражение в работах [12, 14]. Особенный интерес представляют исследования Г.К. Бондарика, который разработал основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород.

В известной работе И.С. Комарова [12] наряду с освещением методологических вопросов накопления и обработки информации при инженерно-геологических исследованиях подробно рассматриваются вопросы неоднородности и изменчивости пород. И.С. Комаров предлагает различать кажущуюся изменчивость, зависящую от «шага опробования, числа взятых образцов, их геометрии, точности лабораторных исследований и так далее», и истинную изменчивость.

При изучении закономерностей пространственной изменчивости свойств горных пород Н.В. Коломенским были выделены следующие типы изменчивости: скачкообразная незакономерная, скачкообразная закономерная, квазифункциональная. Г.К. Бондариком выделяются стационарный, нестационарный и квазифункциональный типы изменчивости состава и физико-механических свойств.

В настоящее время довольно подробно разработана методика изучения и установления закономерностей изменчивости физико-механических свойств горных пород с использованием ряда параметрических и непараметрических критериев. Однако следует отметить, что большинство работ посвящено изучению закономерностей пространственно-временной изменчивости физико-механических свойств рыхлых, главным образом, четвертичных отложений. Что касается закономерностей изменчивости состава и физико-механических свойств скальных и полускальных пород угленосных отложений Кузбасса, то работы в данном направлении практически отсутствуют. Это объясняется рядом причин и прежде всего: значительной фациальной неоднородностью угленосных отложений, неоднородностью литолого-минералогического состава, обусловленной особенностями процессов осадконакопления, диагенеза и категенеза, а также последующим геотектоническим развитием региона. В связи с этим породы характеризуются значительной неоднородностью их физико-механических свойств, что затрудняет изучение закономерностей изменчивости. Не меньшее значение имеет сложность тектонического строения и условий залегания горных пород, а также значительная их мощность (свыше 500 м).

Все вышеперечисленное существенно затрудняет изучение закономерностей изменчивости состава и физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса, и поэтому до последнего времени этими вопросами практически никто не занимался. Однако, несмотря на отмеченные трудности в решении поставленного вопроса, нами предпринята попытка установить основные закономерности изменчивости физико-механических свойств горных пород Кузбасса с целью решения следующих практических и методических вопросов:

- 1) учет существующих закономерностей изменчивости при разработке инженерно-геологической классификации горных пород;
- 2) учет закономерностей изменчивости при выборе расчетных показателей и оценке устойчивости бортов сверхмощных карьеров;
- 3) обоснование методики инженерно-геологического опробования при разведке угольных месторождений, подлежащих открытой разработке.

Установление закономерностей изменения свойств горных пород с глубиной имеет большое значение при решении многих инженерно-геологических задач, в том числе и оценке инженерно-геологических условий строительства крупных карьеров. Поэтому нами впервые для Кузнецкого угольного бассейна проведены исследования закономерностей изменчивости свойств в пределах глубин развития будущих карьеров (до 350–400 м) с учетом распространения на его территории различных генетических комплексов, инженерно-геологических типов и видов пород, а также с учетом стадий катагенетических преобразований пород и геотектонического строения региона.

С помощью корреляционно-регрессионного анализа устанавливались характер и теснота связи между физико-механическими свойствами пород и глубиной их залегания. Наряду с корреляционно-регрессионным анализом для установления режима изменчивости нами были подсчитаны средние значения показателей физико-механических свойств и дисперсии для различных интервалов глубин залегания горных пород угленосных отложений Кузбасса (рис. 2.11).

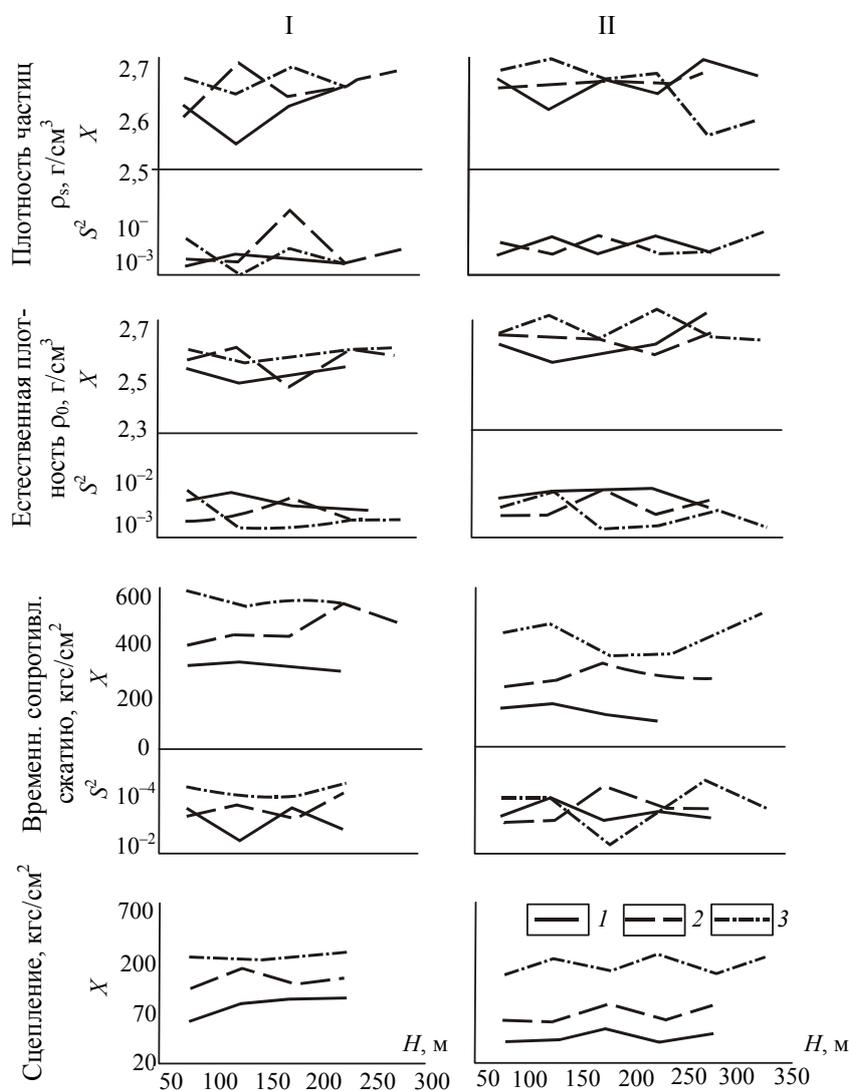


Рис. 2.11. Изменение средних значений и дисперсий физико-механических свойств алевролитов кольчугинской серии по глубине:

I – стадия преобразования пород соответствует углям марки Г; II – марки КЖ; 1 – породы с глинистым цементом; 2 – с глинисто-карбонатным; 3 – с карбонатным; X – среднее значение; S^2 – дисперсия

Изучение закономерностей изменчивости физико-механических свойств горных пород балахонской серии с глубиной выполнено с учетом их состава, стадии преобразования и степени изменения в процессе геотектонического развития. При этом был установлен стационарный режим изменчивости показателей физико-механических свойств горных пород балахонской серии по глубине. Выполненные исследования показали, что между объемной массой, влажностью, пористостью $Ig\sigma_{сж}$ и глубиной залегания пород балахонской серии связь отсутствует, а коэффициенты корреляции не превышают 0,40. Средние значения и дисперсии свойств горных пород, распространенных во всех геотектонических зонах, за исключением Пригорношорской зоны моноклиналей, практически не изменяются по глубине (рис. 2.12). Последнее можно объяснить тем, что горные породы балахонской серии находятся на более высокой стадии катагенетических преобразований, а также претерпели наибольшие изменения в процессе геотектонического развития региона.

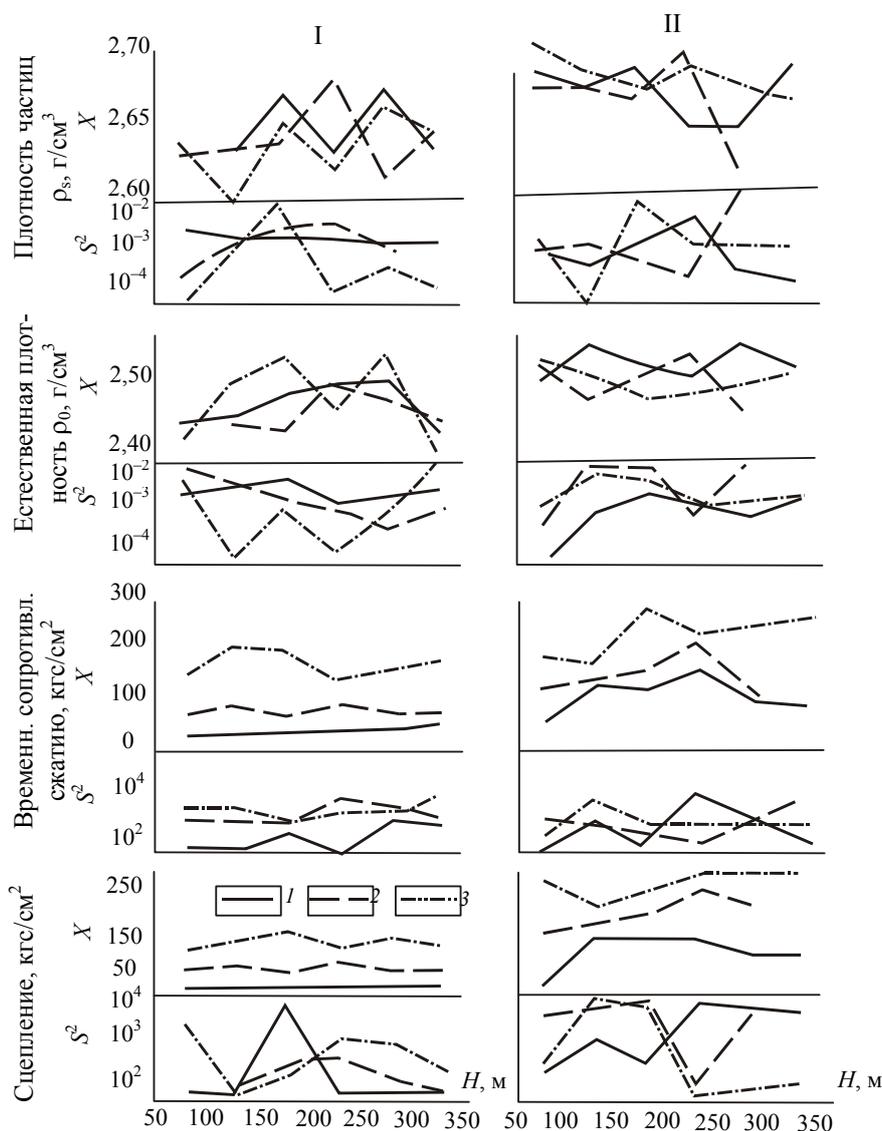


Рис. 2.12. Изменение средних значений и дисперсий физико-механических свойств песчаников балахонской серии по глубине:

I – Присалаирская зона интенсивной линейной складчатости (стадия катагенеза пород соответствует углям марки ГЖ); II – Пригорношорская зона моноклиналей (стадия катагенеза пород соответствует углям марки КЖ); 1 – породы с глинистым цементом; 2 – с глинисто-карбонатным; 3 – с карбонатным

В целом же физико-механические свойства пород кольчугинской и балахонской серий, за исключением вышеупомянутых типов пород и их свойств, подчиняются стационарному режиму изменчивости по глубине. В Присалаирской и Приколывань-Томской геотектонических зонах породы интенсивно нарушены и смяты в складки с углами падения крыльев до 75–80°. Совершенно очевидно при этом, что современная глубина залегания пород не может служить в данном случае отражением процессов гравитационного уплотнения и упрочения пород. Это и обуславливает стационарный режим изменчивости показателей физико-механических свойств по глубине.

Изучение закономерностей изменчивости физико-механических свойств горных пород кольчугинской серии Кузбасса в направлении с северо-запада на юго-восток проводилось автором ранее. При этом установлено, что физические свойства пород данной серии, за исключением плотности и степени влажности, подчиняются нестационарному режиму изменчивости. Отмечаются закономерное увеличение плотности и уменьшение пористости пород в указанном направлении. Это обусловлено возрастанием степени метаморфизма углей в этом же направлении [5]. Прочностные параметры (временное сопротивление сжатию, разрыву, сцепление) подчиняются данной закономерности только в пределах одной и той же геотектонической зоны. При переходе в другую зону эта закономерность нарушается. Изучение закономерностей изменчивости пород балахонской серии в направлении, параллельном области сноса, показали, что в пределах подзоны интенсивной линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса наблюдается нестационарный режим изменчивости для объемной массы, пористости, влажности. Причем, если объемная масса возрастает, то пористость и влажность падают в направлении с северо-востока на юго-запад, что обусловлено различной степенью проявления процессов прогрессивного литогенеза. В то же время для прочностных показателей отмеченных закономерностей не наблюдается, что, как отмечалось ранее, обусловлено влиянием геотектонического развития региона в постинверсионный период.

Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Для различных геолого-генетических комплексов и типов пород угленосных отложений Кузбасса физико-механические свойства характеризуются преимущественно стационарным режимом изменчивости по глубине, за исключением некоторых типов пород кольчугинской серии, находящихся на более ранних стадиях катагенетических преобразований. Нестационарный режим изменчивости установлен для пористости алевролитов и песчаников кольчугинской серии, находящихся на стадии преобразования, соответствующей газовым углям, и распространенных в подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса.

2. Физические свойства пород кольчугинской и балахонской серий в направлении, параллельном области сноса, обнаруживают нестационарный режим изменчивости, который для прочностных параметров может нарушаться при смене геотектонических зон.

2.3. О природе прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса

Одной из актуальнейших проблем современной инженерной геологии является выяснение природы прочности различных генетических типов горных пород, без решения которой невозможно осуществлять научное прогнозирование инженерно-геологических условий строительства различных сооружений. В решение данной проблемы большой вклад внесли ученые нашей страны: Ф.П. Саваренский, В.А. Приклонский, Е.М. Сергеев, И.М. Горькова, В.Д. Ломтадзе, И.В. Попов, Н.Я. Денисов, П.А. Ребиндер, М.Н. Гольдштейн, А.К. Ларионов, В.П. Ананьев и др. Следует отметить, что изучению природы прочности горных пород угле-

носных отложений Кузнецкого бассейна до последнего времени уделялось недостаточно внимания. Вместе с тем данный вопрос приобретает исключительное значение в связи с освоением угольных месторождений Кузбасса и строительством на его территории крупных угольных карьеров.

Среди многообразия природных факторов, под воздействием и при участии которых формируются различные типы структурных связей в горных породах и их прочность, большое значение имеют:

1) гранулометрический, минералогический и химический состав горных пород, их текстурно-структурные особенности, обусловленные особенностями осадконакопления в период седиментогенеза, а также направленностью и интенсивностью процессов диагенетического преобразования осадков и катагенетического преобразования пород;

2) изменение горных пород и их прочностных показателей в процессе регрессивного литогенеза;

3) изменение состояния и прочности горных пород под влиянием инженерной деятельности человека.

Выяснение природы прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса осуществлялось на основании всестороннего изучения минералогического, гранулометрического и химического состава пород, типов и состава цемента с одновременным определением прочностных показателей.

Исследования выполнены для пород балахонской и кольчугинской серий с учетом стадий их катагенетических преобразований и принадлежности к различным геотектоническим зонам.

2.3.1. Влияние гранулометрического состава горных пород угленосных отложений балахонской и кольчугинской серий на их прочность

Гранулометрический состав является отражением условий осадконакопления и существенно отличается для пород различных геолого-генетических комплексов угленосных отложений Кузбасса. Так как в бассейне преобладают скальные и полускальные породы, изучение их гранулометрического состава выполнено в процессе минералогических исследований с выделением фракций $> 0,25$ мм, $0,25-0,1$ мм, $0,1-0,05$ мм, $0,05-0,001$ и $< 0,001$ мм. Одновременно проводилось изучение прочностных свойств горных пород, и с помощью корреляционно-регрессионного анализа устанавливалась связь между процентным содержанием псаммитовой, алевролитовой и пелитовой фракций, с одной стороны, и прочностными показателями – с другой.

Анализ результатов выполненных исследований и обработки экспериментальных данных с применением ЭВМ показал, что в пределах одних и тех же литологических типов пород, находящихся на одинаковых стадиях преобразования и развитых в одних и тех же геотектонических зонах, гранулометрический состав пород практически не влияет на их прочностные показатели, а коэффициенты корреляции не превышают 0,4. И лишь для алевролитов кольчугинской серии, находящихся на ранней стадии катагенеза и вмещающих угли марок Д и Д-Г, с увеличением алевролитовой фракции наблюдается тенденция к снижению временного сопротивления сжатию и угла внутреннего трения, в то время как сцепление существенно не изменяется. И наоборот, увеличение псаммитовой фракции приводит к росту угла внутреннего трения и некоторому снижению сцепления. В то же время для песчаников, находящихся на этой же стадии преобразования, не наблюдается отмеченных закономерностей, за исключением уменьшения временного сопротивления сжатию при увеличении процентного содержания частиц пелитовой размерности. Несмотря на наличие отмеченной тен-

денции, тесной корреляционной связи между процентным содержанием частиц разной размерности и прочностными показателями пород не обнаружено.

По мере же возрастания стадии катагенетических преобразований влияние гранулометрического состава на прочность пород резко падает. Это подтверждается результатами исследований, в процессе которых установлено, что между временным сопротивлением сжатию и разрыву и процентным содержанием обломочных частиц различных размеров связь отсутствует.

Отмеченные особенности изменения прочностных показателей находятся в полном соответствии с установленными ранее закономерностями катагенетических преобразований пород угленосных отложений кольчугинской и балахонской серий. Именно в процессе катагенетических преобразований шло формирование новых структурных связей в горных породах в результате замещения обломков полевых шпатов и эффузивов карбоната, а также глинистого вещества цемента карбонатным. Одновременно наблюдались процессы растворения обломков кварца и переотложение последнего, в результате чего образовывались регенерационные наросты и каемки. Шло также формирование конформно-регенерационных, гранобластовых и микростиллолитовых структур, и чем выше стадия преобразования, тем интенсивнее протекали эти процессы. Благодаря появлению новых типов структур и структурных связей, сглаживаются различия в углах внутреннего трения пород, обусловленные различиями в гранулометрическом составе последних. Поэтому даже в глинистых породах (аргиллитах) углы внутреннего трения оказываются иногда довольно высокими. Последнее также в значительной мере объяснимо проявлением процессов, существенно изменивших текстурно-структурные особенности пород. Так, в аргиллитах кольчугинской серии широким распространением пользуются сферолитовые стяжения сидерита, образование которых происходило в процессе диагенетических преобразований осадков. Наличие таких сидеритовых включений совершенно изменяет структуру горной породы (см. рис. 2.1). Последнее, несомненно, способствует возрастанию угла внутреннего трения в таких породах. Изложенное выше дает основание утверждать, что на величину угла внутреннего трения наряду с гранулометрическим составом существенное влияние оказывают текстурно-структурные особенности пород, состав и характер цементации и, наконец, интенсивность и направленность вторичных преобразований, протекающих в горных породах в стадию катагенеза. Особенно большое влияние вторичные процессы оказали на сцепление горных пород угленосных отложений балахонской и кольчугинской серий Кузнецкого бассейна.

2.3.2. Влияние состава обломочной части на прочность горных пород

Для выяснения влияния состава обломочной части горных пород Кузбасса на их прочность в процессе минералогических исследований проведено подробное изучение обломочной составляющей пород, которое включало детальное описание состава обломков, их формы, размеров и взаимоотношения в породе, установление процентного содержания различных по составу обломков пород. Исследованиями установлено, что на низких стадиях преобразования алевролитов кольчугинской серии наиболее существенное влияние на прочностные показатели оказывают обломки эффузивов и осадочных пород, с увеличением которых временное сопротивление сжатию, разрыву и сцепление заметно убывают. Увеличение содержания обломков полевых шпатов приводит на стадии преобразования пород, соответствующей длиннопламенным углям, к снижению прочностных показателей, а увеличение обломков карбонатов – к повышению последних.

На средней стадии катагенетических преобразований, соответствующей коксовым углям в песчаниках балахонской серии, распространенных в Присалаирской полосе интенсивной линейной складчатости, наблюдается совсем иная картина. Для этих пород харак-

терно интенсивное замещение полевых шпатов карбонатами, коррозия кварцевых зерен, образование регенерационных оторочек на обломках кварца, замещение глинистого цемента карбонатным веществом. Чем интенсивнее протекают эти процессы, тем в большей степени они способствуют образованию катагенетических карбонатов в форме замещения обломков. Одновременно происходит образование новых, более прочных структурных связей между обломочными частицами и цементом пород. Таким образом, на данной стадии преобразований содержание псевдоморфных карбонатов в породах может служить индикатором интенсивности катагенетических процессов и формирования более прочных структурных связей. Высокое же содержание в породах обломков кварца и полевых шпатов, их хорошая сохранность свидетельствуют о том, что катагенетические процессы протекали более замедленно, а следовательно, и прочность таких пород должна быть ниже. Наглядным подтверждением вышесказанному служат результаты исследований состава песчаников балахонской серии, вмещающих жирные и коксово-жирные угли (табл. 2.5). Из приведенных данных видно, что при высоком содержании кварца и полевых шпатов песчаники имеют наименьшее значение временного сопротивления сжатию, разрыву, сцепления и угла внутреннего трения. По мере уменьшения последних и возрастания содержания обломков карбонатов прочностные показатели возрастают. На поздней стадии преобразования вторичные изменения сопровождаются еще более интенсивным развитием карбонатов, что приводит к изменению типа и прочности структурных связей пород.

2.3.3. Влияние химического состава горных пород на их прочность

Выяснение влияния химического состава горных пород на прочность структурных связей осуществлялось на основании изучения полного химического состава с определением процентного содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O основных литологических типов пород Кузбасса, находящихся на различных стадиях катагенеза и распространенных в разных геотектонических зонах. Одновременно определялись прочностные показатели ($\sigma_{сж}$, σ_p , ϕ и c) и устанавливалась связь между последними и показателями химического состава. Анализ полученных данных показал, что содержание окислов в горных породах оказывает различное воздействие на их прочность. Следует отметить, что из около 200 рассмотренных парных корреляционных связей только в четырех случаях установлена тесная корреляционная связь, а значение коэффициентов корреляции превышает 0,75. Так, для алевролитов кольчугинской серии, находящихся на стадии преобразования, соответствующей газовым углям, установлено достоверное увеличение $\sigma_{сж}$ с возрастанием в породах Fe_2O_3 и одноименное уменьшение данного показателя с увеличением Na_2O . Это, очевидно, можно объяснить тем, что на ранних стадиях диагенеза и катагенеза в горных породах Кузбасса шло образование сидерита. Присутствие Na_2O может служить признаком незначительных изменений на этих стадиях плагиоклазов, которые на более поздних стадиях замещаются карбонатным веществом. Таким образом, высокое содержание Na_2O , являясь признаком незначительных катагенетических преобразований пород, обуславливает низкие значения их прочностных показателей. Исследованиями установлена также тесная связь между σ_p и Fe_2O_3 для песчаников кольчугинской серии, вмещающих газовые угли. Одновременно установлено, что окись кремнезема в общем уменьшает прочностные показатели. Последнее, видимо, можно объяснить тем, что SiO_2 входит, главным образом, в состав глинистых минералов, слагающих цемент пород. Увеличение окиси кремнезема в данном случае обусловлено увеличением доли глинистого вещества в цементе пород, что и приводит к уменьшению их прочности. Этим же можно объяснить снижение прочностных параметров пород при увеличении Al_2O_3 (рис. 2.13).

Таблица 2.5

**Изменение прочностных показателей и состава обломочной части горных пород
Кузбасса при различных стадиях катагенетических преобразований**

Геолого-генетические комплексы	Типы пород	Подтипы пород	Стадия катагенетических преобразований	Прочностные показатели			Состав обломочной части (содержание преобладающих обломков), %				
				Временное сопротивление сжатию, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Сцепление, МПа	кварца	полевых шпатов	кварцитов	эффузивов	осадочных пород
Континентальные отложения кольчугинской серии	Песчаники	с глинистым цементом	соответствует углям марки Д	0,88	0,09	0,19	9,35	40,1	3,1	4,2	8,6
				2,16	0,33	0,46	10,5	15,5	8,01	5,9	28,0
				4,07	0,80	0,91	8,5	9,5	3,2	1,4	14,0
		с глинистым цементом	соответствует переходным углям от марки Д к Г	1,53	0,24	0,43	15,6	16,5	–	36,0	–
				3,68	–	–	20,6	11,5	8,2	14,6	9,0
				4,64	–	–	12,5	7,5	7,5	14,5	–
		с карбонатным цементом	соответствует углям марки Г	4,05	0,44	0,98	20,3	24,5	9,0	9,25	8,5
				4,59	0,66	1,02	22,5	32,5	–	22,5	7,5
				5,22	0,77	1,14	15,0	27,5	–	17,5	–

Продолжение табл. 2.5

Голого-гнетические комплексы	Типы пород	Подтипы пород	Стадия катагенетических преобразований	Прочностные показатели			Состав обломочной части (содержание преобладающих обломков), %				
				Временное сопротивление сжатию, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Сцепление, МПа	кварца	полевых шпатов	кварцитов	эффузивов	осадочных пород
Континентальные отложения кольчугинской серии	Алвролиты	с глинистым цементом	соответствует маркам углям Д	0,94	0,25	0,28	10,5	25,0	—	5,0	30,0
				2,13	0,30	0,46	27,0	37,3	—	—	30,0
				—	—	—	15,0	17,5	—	7,5	3,3
		с карбонатным цементом	соответствует маркам углям Д к Г	3,62	0,39	0,78	19,0	9,6	—	13,0	12,5
				5,46	0,58	0,90	10,5	6,5	—	10,0	11,5
				2,38	0,21	0,44	25,5	28,5	—	15,1	12,5
с глинистым цементом	соответствует маркам углям Д	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Продолжение табл. 2.5

Геологические комплексы	Типы пород	Подтипы пород	Стадия катагенетических преобразований	Прочностные показатели			Состав обломочной части (содержание преобладающих обломков), %					
				Временное сопротивление, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Сцепление, МПа	кварца	полевых шпатов	кварцитов	эффузивов	осадочных пород	
Лагуно-континентальные отложения Балхонской серии	Песчаники	с глинистым цементом	соответствует газовой-жирным углям	3,92	0,63	0,80	31,8	25,3	0,9	-	5,9	
				5,45	1,02	1,12	30,0	27,3	17,5	6,25	-	
		с карбонатным цементом	соответствует	6,55	1,42	1,39	18,7	15,0	20,7	8,70	6,25	
				4,01	1,12	-	24,5	18,0	7,5	21,5	11,5	
		с глинисто-карбонатным цементом	соответствует	4,21	1,57	-	17,5	12,0	7,5	17,5	12,5	
				6,34	1,24	-	20,5	15,0	10,0	22,5	7,5	
	Алвролиты	с глинистым цементом	соответствует	полюантрацитам и антрацитам	1,54	0,19	0,36	25,0	20,5	-	10,0	-
					4,03	0,72	0,84	15,0	17,5	-	-	5,7
		с глинисто-карбонатным цементом	соответствует	полюантрацитам и антрацитам	5,64	0,79	1,09	25,0	15,0	-	15,5	4,5
					2,29	0,66	-	21,0	7,20	12,5	17,5	-
		с глинистым цементом	соответствует	трацитам и антрацитам								

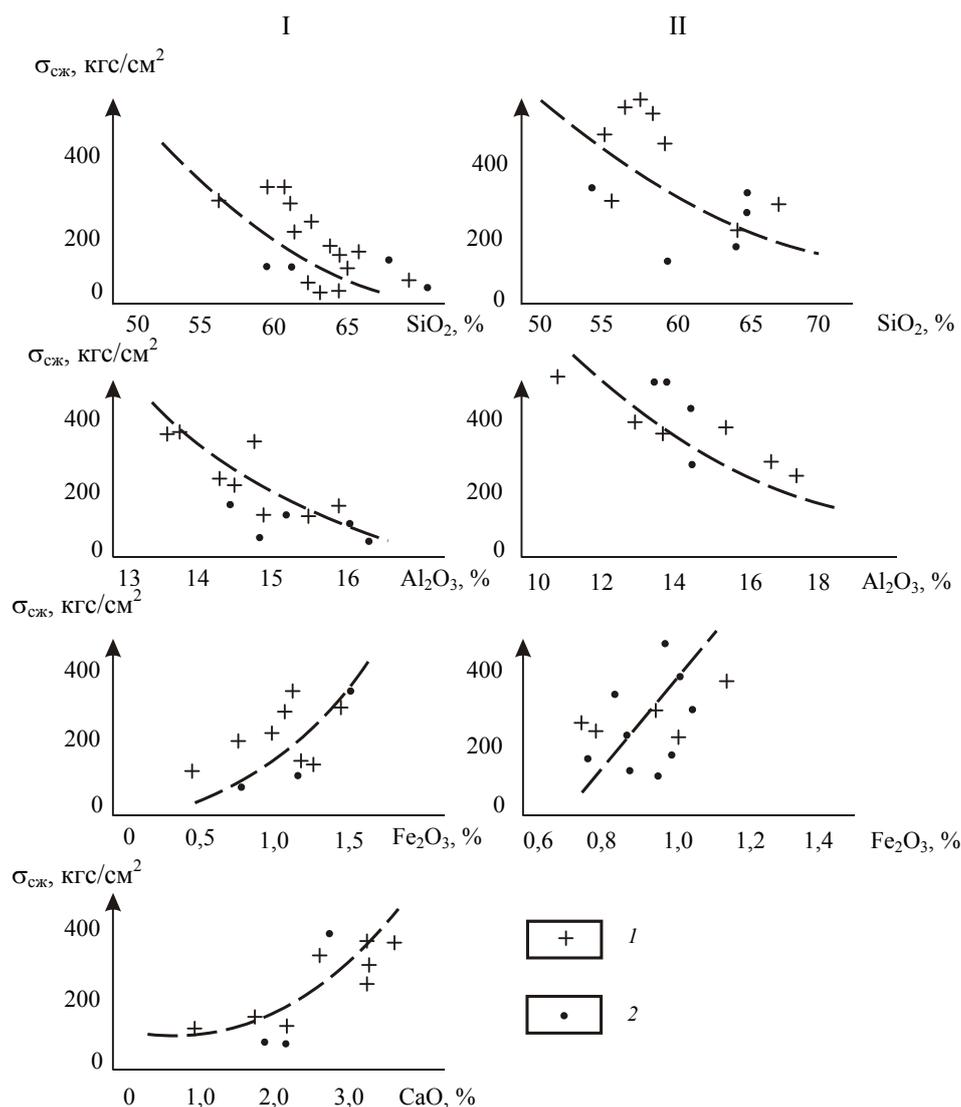


Рис. 2.13. Изменение временного сопротивления сжатию пород Кузбасса в зависимости от содержания в них SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и CaO :
 I – породы на стадии преобразования, соответствующей газовым углям; II – на стадии, соответствующей переходным от газовой-жирных к жирным углям; 1 – песчаники; 2 – алевролиты

2.3.4. Влияние состава цемента на физико-механические свойства горных пород

Цементирующее вещество в обломочных цементированных породах угленосных отложений Кузбасса оказывает исключительно большое влияние на их прочность. Благодаря применению широкого комплекса исследований удалось подробно изучить состав цемента пород угленосных отложений Кузбасса и степень его изменения в процессе катагенеза, а также установить влияние последнего на прочность структурных связей пород. По данным проведенных исследований в обломочных цементированных породах тарбаганской серии в составе цемента преобладает глинистое вещество, представленное каолинитом, гидрослюдами и монтмориллонитом. В связи с преобладающим развитием глинистого цемента породы тарбаганской серии характеризуются самыми низкими значениями прочностных показателей среди всех изученных отложений Кузбасса (см. табл. 2.1).

В породах кольчугинской серии развиты преимущественно 3 типа цемента: глинистый, смешанный (глинисто-карбонатный) и карбонатный. Исследованиями установлено, что состав и процентное содержание выделенных разновидностей цемента существенно зависят от степени и интенсивности катагенетических преобразований. В горных породах, находящихся на низких стадиях преобразования (марка углей Д), в составе глинистой цементирующей массы преобладает каолинит, встречаются монтмориллонит и гидрослюда. На более высоких стадиях преобразования идет процесс образования вторичных гидрослюдов (гидромусковита) и исчезают каолинит и монтмориллонит, которые на стадиях, соответствующих полуантрацитам и антрацитам, совершенно отсутствуют. Среди вторичных минералов в составе цемента появляются серицит и хлорит.

Прочность цементации обломочных частиц глинистым цементом оказалась самой низкой при прочих равных условиях на стадии преобразования, соответствующей длиннопламенным углям. По мере возрастания степени преобразования, но в пределах одной геотектонической зоны прочность пород также возрастает, но почти никогда не бывает выше прочности пород с карбонатным цементом.

Карбонатный цемент представлен преимущественно доломитом, реже встречается кальцит. Развиты также породы, цемент которых целиком состоит из сидерита. По своему происхождению карбонатный цемент, как правило, катагенетический, особенно на высоких стадиях преобразования горных пород. Прочность горных пород с карбонатным цементом при прочих равных условиях самая высокая. Причем изменение прочности на различных стадиях катагенетических преобразований и в пределах различных геотектонических зон подчиняется той же самой закономерности, что и для пород с глинистым цементом. Но у последних она всегда остается ниже, чем у первых. Промежуточное положение по своим прочностным параметрам занимают породы с глинисто-карбонатным и карбонатно-глинистым цементом, который часто представляет результат частичного замещения глинистого цементирующего вещества карбонатным.

Для обломочных цементированных пород балахонской серии характерны более существенные изменения в составе, происходящие под влиянием процессов катагенеза. Однако, как и в породах кольчугинской серии, здесь встречаются, главным образом, три разновидности цемента: глинистый, глинисто-карбонатный и карбонатный. По своему составу глинистый цемент в отличие от пород кольчугинской серии представлен исключительно гидрослюдами (гидромусковитом) и серицитом. Встречается также хлорит и совершенно отсутствуют каолинит и монтмориллонит. Последнее объясняется более существенными вторичными изменениями, которые претерпели горные породы балахонской серии на стадии катагенеза. Карбонатный цемент представлен катагенетическими минералами, чаще всего доломитом, редко кальцитом и сидеритом. Наиболее прочными оказались обломочные цементированные породы с карбонатным цементом, а среди последних – песчаники, самыми слабыми являются породы с глинистым цементом. Все вышеизложенное позволяет утверждать, что для пород Кузнецкого бассейна решающее влияние на прочность структурных связей оказывает состав цемента. В связи с этим классифицирование горных пород Кузбасса с целью оценки их устойчивости в бортах карьеров должно проводиться с учетом состава цемента пород.

2.3.5. Изменение прочностных свойств горных пород под воздействием катагенеза и регрессивного литогенеза

Катагенетические изменения горных пород Кузбасса, подробно рассмотренные ранее, проявляются в замещении обломков полевых шпатов и эффузивов карбонатами, глинистого цемента карбонатным, растворении обломочных зерен и переотложении продуктов растворения. Вышеперечисленные процессы протекают под влиянием высокого давления, температуры и при

активном участии поровых растворов и подземных вод. Роль подземных вод в общем процессе катагенетических преобразований горных пород исключительно велика. Состав подземных вод и поровых растворов во многом определяет интенсивность замещения плагиоклазов с образованием вторичных глинистых минералов и карбонатов. Это приводит не только к изменению состава и характера структурных связей пород, но и дает начало образованию гидрокарбонатно-натриевого типа подземных вод угольных месторождений Кузбасса. Важным источником поступления карбонатного вещества могли служить обломки карбонатных пород, при взаимодействии которых с CO_2 происходило их растворение и переход карбонатов в подземные воды. На ранней стадии катагенетических преобразований горных пород наряду со свободной поровой кристаллизацией карбонатов происходит интенсивная коррозия обломочного материала. По мнению В.И. Муравьева, «объяснение этому явлению можно найти в интенсивности циркуляции растворов и, следовательно, в общем количестве активных вод, прошедших через породу». Этим же автором установлено, что «механическое заполнение пор полужидким карбонатным илом и дальнейшее затверждение его не приводят к коррозии обломочного материала». На более поздних стадиях катагенеза в горных породах Кузбасса происходит перекристаллизация карбонатов под большим давлением. Это сопровождается замещением глинистого вещества цемента карбонатным и образованием монокристаллов карбонатов. Одновременно наблюдается замещение плагиоклазов, обломков эффузивов и сланцев карбонатным веществом. Вследствие высокого давления образуются новые типы структурных связей в виде микростилолитовых швов. В конечном счете это приводит к существенным изменениям прочности горных пород. Исследованиями установлено, что среди угленосных отложений Кузбасса самой высокой прочностью обладают обломочные цементированные породы балахонской серии, а среди последних – песчаники с карбонатным цементом. Тектонические движения, проявившиеся с наибольшей силой в зоне интенсивной линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса, в постинверсионный период привели к значительному изменению прочности структурных связей, но не оказали существенного влияния на физические свойства пород. Поэтому породы балахонской серии, распространенные в этой зоне и находящиеся даже на более поздней стадии катагенеза, часто имеют более низкую прочность, чем породы, развитые в Пригорношорской зоне моноклиналей Кузбасса (см. рис. 2.8, табл. 2.3). В зоне гипергенеза наблюдается существенное снижение прочности пород, что отчетливо видно из приведенных данных в табл. 2.4.

2.3.6. Изменение прочностных свойств горных пород под влиянием инженерной деятельности человека

Под воздействием инженерной деятельности человека существенным образом изменяются состояние и физико-механические свойства горных пород. В нашем случае представляет значительный интерес вопрос об изменении физико-механических свойств горных пород в процессе разработки угольных месторождений карьерами.

Как показали исследования, выполненные в пределах действующих угольных карьеров Кузбасса, изменение прочностных свойств пород обусловлено прежде всего изменением напряженного состояния в результате снятия части бытовой нагрузки, а также процессами выветривания, протекающими в породах, слагающих борта карьеров.

Большое влияние на состояние и прочность пород в бортах карьеров оказывает также система отработки угольных пластов, особенно если она сопровождается применением буровзрывных работ. В результате воздействия всех перечисленных факторов в массивах горных пород, слагающих борта карьеров, интенсивно развивается трещиноватость, что приводит к резкому снижению прочностных свойств пород. Особенно значительно снижается, как это видно из результатов натурных испытаний (табл. 2.6), сцепление.

Таблица 2.6

Обобщенные значения физико-механических свойств горных пород карьеров Кузбасса по данным натурных испытаний

Геотектонические зоны Кузбасса	Геологогенетические комплексы пород, слагающие борта карьеров	Литологические типы пород	Угольные карьеры Кузбасса	Количество определений	Плотность частиц, г/см ³	Плотность, т/м ³	Влажность, %	Пористость, %	Сцепление, МПа	Коэффициент структурного ослабления сцепления пород	
Прикольвань-Томская зона интенсивной линейной складчатости	Четвертичные отложения	Суглинки	Кедровский	14	2,74	1,91	22,93	44,17	0,08	-	
			Латышевский	11	2,71	1,90	23,2	28,45	0,01	-	
			Хорошеборский	12	2,72	1,94	25,2	43,01	0,02	-	
		Глины	Кедровский	13	2,75	2,04	24,73	40,42	0,11	-	-
			Кедровский	34	2,71	2,01	7,81	32,28	0,02	0,006	-
			Латышевский	12	2,71	2,24	8,9	21,71	0,02	0,03	-
	Лагуно-континентальные отложения балахонской серии	Песчаники	Хорошеборский	7	2,69	2,29	7,21	19,47	0,04	0,01	-
			Кедровский	4	2,73	2,0	4,47	29,87	0,03	0,01	-
			Латышевский	5	2,66	2,32	6,66	19,75	0,03	0,01	-
		Алевролиты	Хорошеборский							0,03	-
			Кедровский	14	1,35	119	3,8	15,52	0,03	0,01	-
			Латышевский	12	1,51	1,32	6,32	15,58	0,01	-	-
Подзона пологой линейной складчатости Присаляирской зоны интенсивной линейной складчатости	Песчаники	Алевролиты	Хорошеборский	12	-	2,12	8,62	-	0,06	0,02	
			Моховский								
	Континентальные отложения кольчугинской серии	Алевролиты	Моховский	8		2,18	10,04		0,08	0,03	

Отмеченные изменения прочностных показателей горных пород в процессе разработки угольных месторождений Кузбасса являются весьма существенными и должны учитываться как при разработке инженерно-геологической классификации, так и при оценке устойчивости бортов крупных карьеров Кузбасса.

2.4. Инженерно-геологическое классифицирование горных пород Кузбасса

Инженерно-геологическое классифицирование горных пород является логическим следствием результатов любых инженерно-геологических исследований. Решению данного вопроса в инженерной геологии были посвящены многочисленные работы [11–13].

Анализ существующих инженерно-геологических классификаций показал, что одни авторы при их создании стремились дать общие, генетические классификации, другие – частные (отраслевые) и третьи – региональные. В 1957 г. на совещании по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения была предложена общая инженерно-геологическая классификация горных пород и почв (общая классификация грунтов), разработанная рабочей комиссией в составе Е.М. Сергеева, В.А. Приклонского, П.Н. Панюкова и Л.Д. Белого. В этой классификации горные породы, прежде всего, разделены на два больших класса: с жесткими связями и без жестких связей.

Классы пород объединяют пять основных групп, подразделяющихся на 16 подгрупп. Внутри подгрупп выделены типы и виды. Эта классификация с незначительными изменениями была принята в мае 1962 г. в Берлине на совещании временной геологической группы Совета экономической взаимопомощи (СЭВ). В последнее время рядом авторов делаются попытки использования математического аппарата для построения инженерно-геологических классификаций. Наряду с этим ведется разработка теории классифицирования геологических объектов с применением математического аппарата. В работах В.П. Огоноченко и Е.А. Писарева сформулированы требования, предъявляемые к инженерно-геологической классификации с точки зрения формальной логики, а также определены границы применения математических методов для этих целей. Работы данного направления заслуживают самого пристального внимания и в будущем позволят приблизиться к решению очень важного для инженерной геологии вопроса – построения инженерно-геологических классификаций по всем правилам формальной логики и математики.

Построение инженерно-геологической классификации горных пород Кузбасса применительно к оценке условий строительства карьеров имеет свои особенности, обусловленные необходимостью учета многообразия природных факторов, оказывающих влияние на устойчивость бортов карьеров. Такие классификации были разработаны ранее для бурогольных месторождений Канско-Ачинского бассейна: Итатского – Ф.П. Нифантовым и В.Е. Ольховатенко, Березовского – В.Н. Пуляевым, Абанского, Назаровского и Березовского – Н.С. Роговой. Из всех ранее разработанных классификаций, в том числе и для месторождений Канско-Ачинского бассейна, ни одна не могла быть перенесена на месторождения Кузнецкого бассейна. В связи с этим начиная с 1968 г. в Кузнецком бассейне одновременно с выполнением инженерно-геологических исследований на территории отдельных месторождений проводилось классифицирование горных пород. Однако сводной инженерно-геологической классификации горных пород для всего Кузнецкого бассейна до последнего времени разработано не было. Построение инженерно-геологической классификации горных пород Кузбасса на основании полученной в процессе исследований инженерно-геологической информации проводилось в два этапа. На первом этапе произведена обработка инженерно-геологической информации, дано обоснование выделения инженерно-геологических объектов или таксоно-

мических единиц по набору признаков, произведено сопоставление выделенных объектов и установлена связь между признаками последних. На втором этапе разработки классификации, учитывая ее назначение (для прогнозирования инженерно-геологических условий строительства карьеров), были выявлены косвенные признаки, которые могут быть положены в основу классификации, а затем установлена связь между последними и прямыми признаками, используемыми для оценки устойчивости бортов карьеров. Разработка инженерно-геологической классификации горных пород Кузбасса выполнена на геолого-генетической основе, как наиболее полно отражающей условия формирования и катагенетические изменения горных пород и их свойств (прил. 1).

В разработанной инженерно-геологической классификации самыми крупными таксономическими единицами являются геолого-генетические комплексы горных пород, отличающиеся по условиям своего образования, текстурно-структурным особенностям, а следовательно, и физико-механическим свойствам. Всего на территории Кузбасса выделено 4 геолого-генетических комплекса: 1) лагунно-континентальных отложений балахонской серии; 2) континентальных отложений кольчугинской серии; 3) континентальных отложений мезозоя; 4) покровных четвертичных отложений.

Кроме перечисленных геолого-генетических комплексов на территории бассейна развиты неугленосные отложения девона, карбона и перми, а также комплекс магматических пород. Так как перечисленные группы пород не окажутся в бортах карьеров и не будут влиять на их устойчивость, то при разработке инженерно-геологической классификации они не учитываются. Вместе с этим на территории бассейна развиты породы особого состава и состояния, характеризующиеся и особыми физико-механическими свойствами. К ним относятся горелые породы, породы зон тектонических нарушений и отвалы породы, которые выделяются в отдельный комплекс. В основу выделения групп в инженерно-геологической классификации положены генетические и литологические признаки, позволившие выделить в каждом комплексе по 3 группы пород: обломочные сцементированные, глинистые отвердевшие и органогенные. Внутри перечисленных групп выделены литологические типы пород, отличающиеся по своему гранулометрическому составу, характеру структурных связей и физико-механическим свойствам. Так как катагенетические процессы в формировании свойств горных пород Кузбасса имеют большое значение, выделение подтипов пород в инженерно-геологической классификации дано с учетом стадий их катагенетических преобразований. Дальнейшее деление пород производится по составу их цемента. Для пород Кузбасса состав цемента является отражением условий осадконакопления и вторичных изменений, происходящих в стадию катагенеза, и оказывает большое влияние на их прочность, что наглядно демонстрирует приведенная классификация. Инженерно-геологическая классификация горных пород Кузбасса была бы неполной и не отражала бы особенностей инженерно-геологического строения бассейна, если бы в ней не учитывалось влияние процессов регрессивного литогенеза и геотектонического строения бассейна на физико-механические свойства пород. Учет этих факторов при построении инженерно-геологической классификации оказался возможным благодаря выделению инженерно-геологических разновидностей пород по степени их выветрелости, а также в результате установления принадлежности выделенных категорий пород к различным геолого-тектоническим зонам. Разработанная инженерно-геологическая классификация может быть использована как при прогнозной оценке условий строительства карьеров, так и при разработке методики инженерно-геологических исследований.

3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТРОИТЕЛЬСТВУ КРУПНЫХ КАРЬЕРОВ

3.1. Инженерно-геологическое районирование Кузнецкого бассейна

Вопросы инженерно-геологического районирования в связи с массовой застройкой территорий приобретают в настоящее время большое значение. Однако значительная часть работ в данной области посвящена вопросам инженерно-геологического районирования и типизации условий применительно к промышленному и гражданскому строительству. Важный вклад в разработку методики инженерно-геологического картирования и районирования внесли Г.А. Голодковская, И.В. Попов, М.В. Чуринов, Н.В. Коломенский, И.С. Комаров, Г.Г. Скворцов, Г.А. Сулакшина и др.

Инженерно-геологическое районирование угленосных провинций применительно к строительству крупных карьеров имеет свои особенности, обусловленные тем, что среди всего многообразия природных геологических условий, определяющих выбор района и места сооружения, на первый план выступают наличие достаточных запасов углей и их качество, а также сравнительно небольшие коэффициенты вскрыши, позволяющие вести разработку угольных месторождений открытым способом. Совершенно очевидно, что при отсутствии угольных месторождений вообще или же при плохом качестве углей, равно как и при наличии угольных пластов с нерабочей угленосностью, отпадает необходимость в оценке условий строительства карьеров. Этот вопрос также может отпасть в случае больших коэффициентов вскрыши (более чем 1:10), хотя разработка месторождений подземным способом может оказаться вполне рентабельной. Вопросы типизации месторождений полезных ископаемых по инженерно-геологическим условиям подробно рассмотрены в работе [9]. В соответствии с рекомендациями выделяются следующие категории сложности инженерно-геологических условий: простые, сложные и очень сложные. Выделение типов месторождений дается с учетом преимущественного распространения различных комплексов и типов горных пород. Отсутствие в рассматриваемой типизации количественных критериев для выделения инженерно-геологических типов затрудняет ее практическое использование.

Инженерно-геологическое районирование Кузнецкого угольного бассейна выполнено нами с учетом основных факторов, определяющих поведение и устойчивость пород в бортах угольных карьеров. Такими факторами являются: геотектоническое строение различных частей территории, физико-географические и гидрогеологические особенности, условия залегания, состав и физико-механические свойства горных пород, слагающих борта карьеров.

По степени угленасыщенности, предопределяющей необходимость строительства карьеров, территория Кузнецкого угольного бассейна разделена на три области (рис. 3.1):

А – область распространения отложений терригенно-угленосной формации (балахонской и кольчугинской серий) с промышленной угленосностью.

В – область распространения отложений тарбаганской серии с угленосностью, представленной залежами бурых углей. В настоящее время территория не представляет интереса для промышленного освоения.

С – область распространения неугленосных отложений и угленосных отложений с нерабочей угленосностью. Территория не представляет интереса для промышленного освоения, а следовательно, отпадает необходимость ее изучения с точки зрения оценки инженерно-геологических условий строительства карьеров.

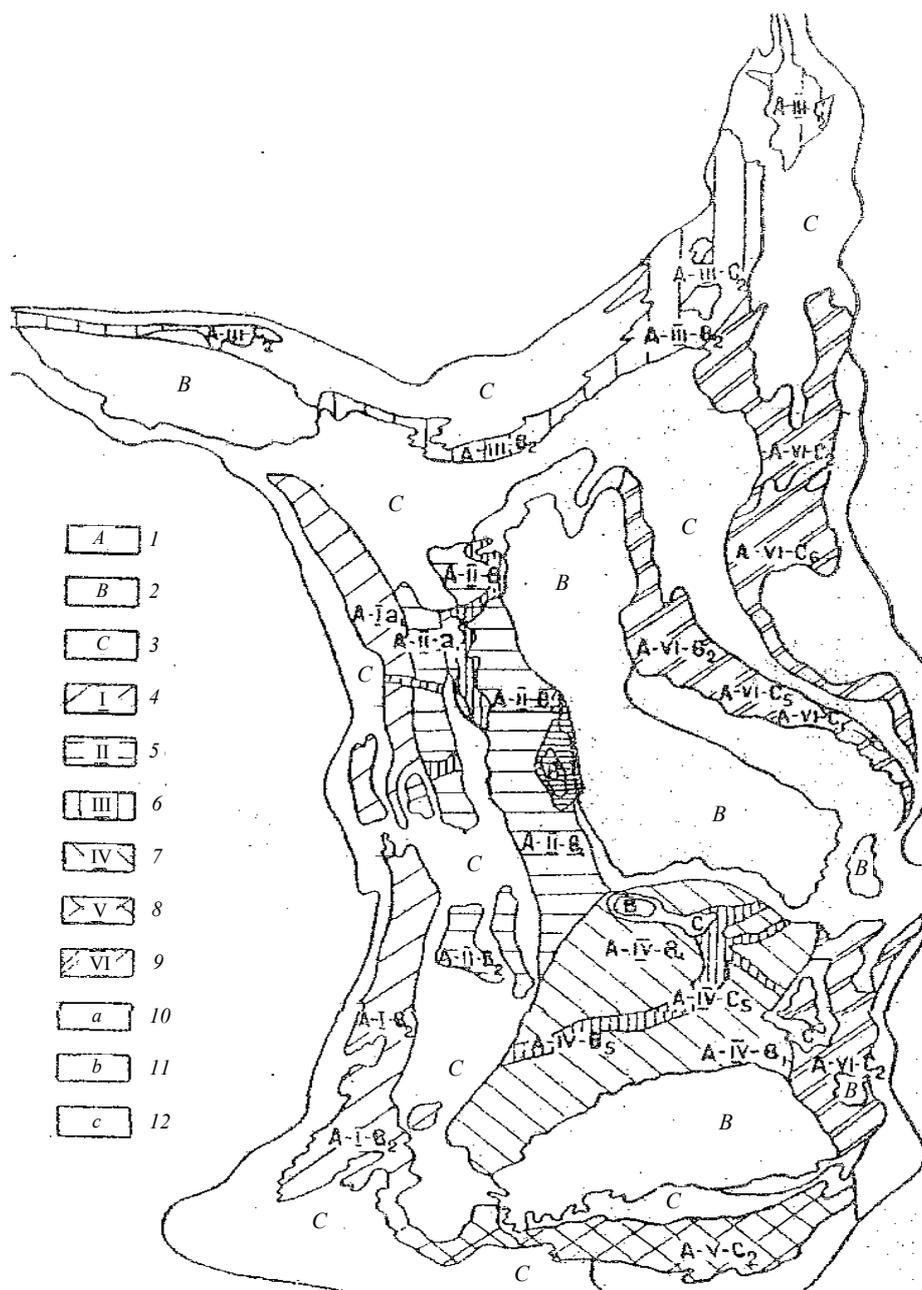


Рис. 3.1. Схематическая карта инженерно-геологического районирования Кузнецкого угольного бассейна:
 1, 2, 3 – инженерно-геологические области: А – область распространения отложений терригенно-угленосной формации (балахонской и кольчугинской серий с промышленной угленосностью; В – область распространения отложений тарбаганской серии с угленосностью, представленной залежами бурых углей; С – область распространения неугленосных отложений и угленосных отложений с нерабочей угленосностью; 4–9 – инженерно-геологические зоны: I – Присалаирская зона линейной складчатости (подзона интенсивной линейной складчатости); II – Присалаирская зона линейной складчатости (подзона пологой линейной складчатости); III – Приколывань-Томская зона интенсивной линейной складчатости; IV – Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий; V – Пригорношорская зона моноклиналей; VI – Прикузнецко-Алатауская зона моноклиналей; 10, 11, 12 – инженерно-геологические районы: а – район открытой степи с плосковолнистым рельефом и недостаточно увлажненным климатом; б – район лесостепи с холмисто-увалистым, слаборасчлененным рельефом и умеренно увлажненным климатом; в – район тайги со слаборасчлененным и низкорасчлененным типами рельефа с избыточно увлажненным климатом

В пределах первой инженерно-геологической области выделено шесть инженерно-геологических зон, отличающихся по геотектоническому строению, условиям залегания,

степени нарушенности дизъюнктивной тектоникой и трещиноватости пород, их физико-механическими свойствами, а следовательно, устойчивостью в бортах карьеров.

1. Присалаирская зона линейной складчатости (подзона интенсивной линейной складчатости).
2. Присалаирская зона линейной складчатости (подзона пологой линейной складчатости).
3. Приколывань-Томская зона интенсивной линейной складчатости.
4. Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий.
5. Пригорношорская зона моноклиналей.
6. Прикузнецко-Алатауская зона.

Первая инженерно-геологическая зона характеризуется сложным тектоническим строением и широким развитием узких, кулисообразных брахискладок с углами падения крыльев $60-90^\circ$. Горные породы интенсивно дислоцированы, собраны в складки и разорваны крупными продольными нарушениями с углами падения $40-80^\circ$. Тектоническое строение данной территории и условия залегания пород будут иметь решающее значение при строительстве карьеров и оценке устойчивости их бортов. Одновременно следует подчеркнуть невысокую обводненность горных пород рассматриваемой зоны, что обеспечивает сравнительно небольшие притоки в карьеры ($30-50 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Вторая инженерно-геологическая зона характеризуется более простым тектоническим строением. В ее пределах развиты брахисинклинальные складки асимметричного строения с крутыми западными $45-70^\circ$ и пологими восточными крыльями. Степень нарушенности пород дизъюнктивной тектоникой различная. Наиболее перспективные для строительства карьеров угольные месторождения приурочены к брахисинклинальным структурам, отличающимся сравнительно невысокой нарушенностью горных пород. Наибольшим распространением в пределах зоны пользуется водоносный комплекс континентальных отложений кольчугинской серии. Средние удельные дебиты скважин на водораздельных участках, по данным Г.М. Рогова [29], составляют для песчаников $1,0-3,0 \text{ л/с}$ при глубине залегания подземных вод до 100 м и не превышают $0,1 \text{ л/с}$ для глубин свыше 100 м . Высокой обводненностью в данной зоне характеризуются конгломераты и песчаники тарбаганской серии. Удельные дебиты скважин в данном случае составляют $2,0-2,5 \text{ л/с}$, а при самоизливе достигают $45-50 \text{ л/с}$. Условия отработки углей окажутся наиболее сложными на участках распространения интенсивно дислоцированных и нарушенных дизъюнктивной тектоникой горных пород кольчугинской серии, а также сильнообводненных, слаболитифицированных отложений тарбаганской серии.

Приколывань-Томская зона интенсивной линейной складчатости имеет довольно сложное тектоническое строение. Горные породы смяты в кулисообразные брахискладки с падением крыльев $70-90^\circ$. Широко распространены крупные линейно вытянутые разрывы. Условия строительства карьеров окажутся довольно сложными.

Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий в тектоническом отношении представляет область, переходную от линейных брахискладок к зоне моноклинально залегающих горных пород. Степень дислоцированности пород, залегающих чаще всего в виде пологих складок с углами падения крыльев $30-45^\circ$, невысокая. В то же время гидрогеологические условия отработки угольных пластов, особенно под долинами рек, окажутся очень сложными. Притоки воды в выработки, по данным Г.М. Рогова, могут достигать $400-600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Пригорношорская и Прикузнецко-Алатауская зоны моноклиналей имеют относительно простое тектоническое строение, характеризующееся моноклинальным залеганием горных пород под углами $5-20^\circ$, отсутствием крупных тектонических разрывов, что является благоприятным фактором для строительства карьеров. Вместе с тем гидрогеологические условия отработки угольных месторождений окажутся очень сложными, особенно на участках распространения отложений тарбаганской серии, где притоки воды в выработки составляют около $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Вторая и третья инженерно-геологические области, как не представляющие интереса в инженерно-геологическом отношении с точки зрения строительства карьеров, из дальнейшего рассмотрения исключаются.

В качестве критерия для выделения инженерно-геологических районов использованы различия в физико-географических условиях территории Кузнецкого бассейна, оказывающих большое влияние на строительство карьеров. По физико-географическим условиям выделены следующие районы:

1) район открытой степи с плосковолнистым рельефом и недостаточно увлажненным климатом. Среднее годовое количество атмосферных осадков здесь не превышает 400 мм в год, а физико-географические условия не являются препятствием для строительства карьеров;

2) район лесостепи с холмисто-увалистым, слаборасчлененным рельефом, умеренно увлажненным климатом и среднегодовым количеством атмосферных осадков 400–500 мм в год;

3) район тайги со слаборасчлененным и низкогогорным типами рельефа и избыточно увлажненным климатом. Строительство карьеров может существенно осложняться из-за расчлененного рельефа местности и выпадения большого количества атмосферных осадков (свыше 600–700 мм в год).

В качестве критериев для выделения инженерно-геологических участков приняты горные породы различных геолого-генетических комплексов с присущими им особенностями состава, состояния и физико-механических свойств, а также степень их обводненности. По преобладающему распространению горных пород различных геолого-генетических комплексов выделяются участки с развитием в бортах карьеров угленосных отложений: а) кольчугинской серии, б) балахонской серии, в) балахонской и кольчугинской серий, г) кольчугинской и тарбаганской серий, д) кольчугинской серии и аллювиальных четвертичных отложений, е) балахонской серии и аллювиальных сильнообводненных четвертичных отложений.

Всего на территории Кузнецкого бассейна выделено 26 типов инженерно-геологических условий. Среди них наиболее сложными для строительства карьеров представляются участки, где наряду с угленосными отложениями в бортах карьеров развиты аллювиальные, сильнообводненные отложения, распространенные по долинам крупных рек. Разработка угольных месторождений карьерами на таких участках будет затруднена из-за больших притоков воды в карьеры. Очень сложными являются также участки, в пределах которых борта карьеров будут представлены отложениями тарбаганской серии, характеризующимися высокой обводненностью и низкими значениями прочностных показателей. Разработка этих месторождений возможна лишь при условии предварительного осушения пород.

3.2. Типизация угольных месторождений по инженерно-геологическим условиям их разработки

При типизации месторождений полезных ископаемых по гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям различными авторами используются различные критерии. В основу предложенной В.Д. Бабушкиным и др. [9] типизации положена степень сложности инженерно-геологических условий, которая определяется преимущественным развитием различных комплексов пород: несцементированных песчано-глинистых, полускальных и скальных. Для Кузнецкого угольного бассейна Г.М. Роговым [28] разработана классификация угольных месторождений по гидрогеологическим условиям, согласно которой выделяются три типа и семь подтипов гидрогеологических условий. В основу предлагаемой Г.М. Роговым классификации шахтных полей и угольных месторождений Кузбасса положены геоморфологическое строение и литологический состав пород, которые во многом определяют степень обводненности месторождений.

Несмотря на то что на территории Кузнецкого бассейна давно ведется разведка и разработка угольных месторождений подземным и открытым способами, до последнего времени отсутствовала типизация угольных месторождений по инженерно-геологические условия. Это в значительной степени затрудняло выполнение разведочных работ и прогнозирование инженерно-геологических условий в пределах месторождений, намечаемых к открытой разработке. Типизация угольных месторождений Кузбасса оказалась возможной благодаря проведению всесторонних инженерно-геологических исследований на его территории и выполненному на этой основе инженерно-геологическому районированию (табл. 3.1). Как видно из данных таблицы, разделение угольных месторождений на группы выполнено с учетом различий в геотектоническом строении угленосных площадей, к которым приурочены угольные месторождения.

Таблица 3.1

Типизация угольных месторождений Кузбасса по инженерно-геологическим условиям

Группы месторождений, угольных карьеров и участков	Типы угольных месторождений	Наиболее характерные угольные месторождения
Месторождения, приуроченные к Присалаирской зоне интенсивной линейной складчатости	I-а. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров слабообводненных отложений балахонской серии и покровных четвертичных пород	Киселевский углеразрез (участки Тугайский, Киселевский, Октябрьский) Бачатский углеразрез Абинский западный Бунгуро-Листвянский Ананьинский
	I-б. Месторождения с развитием в бортах карьеров отложений кольчугинской и балахонской серий	Краснобродский Новосергеевский
Месторождения, распространенные в подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса	II-а. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров слабообводненных отложений кольчугинской серии, перекрытых маломощной толщей рыхлых четвертичных пород	Моховский углеразрез Грамотеинский Колмогоровский Егозовское месторождение
	II-б. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров сильнообводненных слаболитифицированных отложений тарбаганской серии и пород кольчугинской серии	Уропское Северное Уропский-1 Уропский-11 Караканское
Месторождения, развитые в Приколывань-Томской зоне интенсивной линейной складчатости	III-а. Месторождения и угольные карьеры, в бортах которых развиты отложения балахонской и кольчугинской серий, перекрытые четвертичными отложениями	Кедровский углеразрез Новоколбинский Латышевский Черниговский Глушинский
	III-б. Месторождения и карьеры с преобладающим развитием отложений балахонской серии	Новоколбинский 2-й участок Боровушинские

Группы месторождений, угольных карьеров и участков	Типы угольных месторождений	Наиболее характерные угольные месторождения
Месторождения Центральной зоны пологих складок и куполовидных поднятий	IV-а. Месторождения, представленные угленосными отложениями кольчугинской серии	Ерунаковское Южное Талдинское Новоказанское
	IV-б. Месторождения с преимущественным распространением пород кольчугинской серии, перекрытых сильнообводненными юрскими отложениями	Кушуйковское Действующая шахта Капитальная
	IV-в. Месторождения, угленосные отложения которых залегают под толщей сильнообводненных аллювиальных отложений	Кушуйковский участок Притомская площадь
Месторождения Пригорно-шорской зоны моноклиналей	V-а. Месторождения и углеразрезы с развитием в бортах карьеров угленосных отложений кольчугинской и балахонской серий	Сибергинское Томусинское Березовские Кумбасские
	V-б. Месторождения с развитием сильнообводненных пород, пород юры и угленосных отложений балахонской серии	Участки Распадские IX, X, XI Участок шахты Распадская

Последнее обусловлено тем, что геотектоническое строение является ведущим фактором инженерно-геологических условий, во многом определяющим поведение и устойчивость пород в бортах карьеров. Важная роль при оценке инженерно-геологических условий строительства карьеров отводится составу горных пород и степени проявления катагенетических изменений в них, которые обуславливают различия в физико-механических свойствах. В связи с отмеченным разделением угольных месторождений на типы осуществлялось нами с учетом преобладающего распространения в бортах карьеров различных геолого-генетических комплексов горных пород, характеризующихся также в пределах выделенных инженерно-геологических зон различной обводненности.

3.3. Инженерно-геологическая характеристика основных типов угольных месторождений

Месторождения типа I-а приурочены к Присалаирской зоне интенсивной линейной складчатости и характеризуются довольно сложным тектоническим строением. Среди месторождений данного типа освещаются Киселевское и Ананьинское, в пределах которых в настоящее время уже ведется отработка углей открытым способом.

Киселевский углеразрез расположен в Прокопьевско-Киселевском районе бассейна и по физико-географическим условиям относится к слабоувлажненной степной зоне со среднегодовым количеством атмосферных осадков 400–500 мм. Описываемое месторождение ха-

рактируется довольно сложным тектоническим строением, что обусловлено его принадлежностью к брахисинклинальному складчатому комплексу Присалаирской зоны интенсивных линейных складок и разрывов. Основной структурой месторождения является Тырганская антиклиналь, представляющая асимметричную складку с пологопадающим (30–45°) западным и крутопадающим (65–85°) восточным крыльями. Угленосные отложения месторождения смяты в кулисообразные складки и интенсивно нарушены дизъюнктивной тектоникой. Разведочными работами установлены нарушения различного характера и амплитуды смещения, самым крупным из которых является Тырганский надвиг.

Угленосные отложения месторождения представлены породами балахонской серии, среди которых наибольшим развитием пользуются песчаники и алевролиты, значительно реже встречаются аргиллиты. Отложения балахонской серии повсеместно перекрываются четвертичными глинами и суглинками.

Песчаники Киселевского углераза, по данным микроскопических исследований, характеризуются высоким содержанием в обломочной части кварца (30–40 %). На долю полевых шпатов приходится 15–20 %, эффузивов – 7–15 %, кварцитов – 5–20 %. В качестве примеси присутствуют мусковит, турмалин, сидерит. По составу цемента выделяются песчаники с глинистым, глинисто-карбонатным и карбонатным цементом, иногда хлорито-каолинито-серицитовым; по типу цемент поровый или пленочный. Песчаники описываемого месторождения характеризуются интенсивным проявлением катагенетических преобразований, которые содержатся в виде замещения обломков полевых шпатов и эффузивов карбонатами. В отдельных образцах установлено полное замещение обломков эффузивов и полевых шпатов, что приводит к образованию псевдоморфоз.

Алевролиты представляют серые, темно-серые горные породы, массивные или микрослоистые. Слоистость чаще всего обусловлена присутствием прослоев детрита или переслаиванием пород различного гранулометрического состава. Под микроскопом по гранулометрическому составу отчетливо выделяются мелко-, средне- и крупнозернистые алевролиты. Для первых характерно высокое содержание обломков размером 0,1–0,01 мм (60–90 %) и < 0,01 мм (10–40 %). В среднезернистых алевролитах уменьшается содержание пелитовых частиц. В сложении крупнозернистых алевролитов наряду с алевроитовыми частицами участвуют обломки размером 0,25–0,1 мм, содержание которых достигает 10–15 %). В составе обломочной части пород присутствует кварц, содержание которого в среднем составляет 20–25 %, увеличиваясь в отдельных образцах до 40–45 % и снижаясь иногда до 10 %; полевые шпаты присутствуют в довольно больших количествах (20–30 %). Наряду с этим присутствуют кварциты, эффузивы, микрокристаллические породы. В отдельных образцах содержатся углистые включения. Карбонат довольно часто замещает в обломках полевые шпаты, эффузивы. Кроме этого, нередко карбонаты присутствуют в виде сферолитовых стяжений, размеры которых в 2–3, иногда в 5 раз превышают размеры обломочных зерен. Состав цемента, как правило, глинистый, глинистая часть цемента обычно представлена гидрослюдами, иногда каолинитом и хлоритом. Реже встречаются алевролиты с глинисто-карбонатным и карбонатным цементом. По типу цемент чаще поровый, редко встречаются породы с пленочным цементом или цементом переходного типа (порово-базальный, пленочно-поровый). Вторичные изменения пород в стадии катагенеза проявляются в виде замещения карбонатами обломков полевых шпатов и эффузивов с образованием псевдоморфоз, развития катагенетического доломита по обломкам эффузивов, замещения полевых шпатов серицитом.

Отмеченные особенности состава горных пород балахонской серии и катагенетические преобразования в них во многом определили их физико-механические свойства, которые приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Физико-механические свойства горных пород Киселевского месторождения

Физико-механические свойства	Горные породы балахонской серии, не затронутые выветриванием									
	Песчаники			Алевролиты				Аргиллиты	Угли	
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом				
2	3	4	5	6	7	8	9			
1										
Плотность частиц, г/см ³	<u>2,52-2,79</u> 2,65	<u>2,51-2,79</u> 2,64	<u>2,54-2,73</u> 2,63	<u>2,43-2,87</u> 2,61	<u>2,46-2,72</u> 2,60	<u>2,33-3,08</u> 2,65	<u>2,15-2,74</u> 2,54	<u>1,07-2,08</u> 1,43		
Плотность, г/см ³	<u>2,29-2,63</u> 2,46	<u>2,33-2,61</u> 2,46	<u>2,28-2,58</u> 2,48	<u>1,96-2,67</u> 2,43	<u>2,34-2,64</u> 2,44	<u>2,05-2,80</u> 2,47	<u>1,99-2,55</u> 2,32	<u>1,18-1,35</u> 1,27		
Плотность сухого грунта, г/см	<u>2,21-2,62</u> 2,39	<u>2,28-2,59</u> 2,39	<u>2,21-2,55</u> 2,43	<u>1,92-2,59</u> 2,33	<u>2,24-2,47</u> 2,38	<u>2,01-2,78</u> 2,41	<u>1,95-2,50</u> 2,28	<u>0,83-1,35</u> 1,27		
Естественная влажность, %	<u>0,44-18,14</u> 2,58	<u>0,84-1,35</u> 2,28	<u>0,61-8,29</u> 2,03	<u>0,21-8,03</u> 2,69	<u>0,78-5,05</u> 2,51	<u>0,80-4,51</u> 2,46	<u>1,19-4,50</u> 2,77	<u>0,45-15,77</u> 4,31		
Пористость, %	<u>2,81-20,19</u> 9,13	<u>2,64-14,83</u> 8,63	<u>1,23-16,60</u> 7,20	<u>3,49-18,96</u> 9,52	<u>3,70-13,21</u> 9,43	<u>4,09-15,15</u> 9,35	<u>6,72-17,37</u> 10,45	<u>2,99-43,27</u> 17,12		
Коэффициент пористости	<u>0,031-0,221</u> 0,104	<u>0,027-0,175</u> 0,094	<u>0,032-0,261</u> 0,092	<u>0,036-0,234</u> 0,103	<u>0,038-0,152</u> 0,093	<u>0,043-0,173</u> 0,115	<u>0,072-0,210</u> 0,118	<u>0,031-0,76</u> 0,234		
Временное сопротивление сжатию, МПа	<u>1,36-4,02</u> 2,70	<u>3,31-7,57</u> 5,70	<u>5,95-12,3</u> 7,55	<u>0,54-6,40</u> 2,47	<u>4,00-5,53</u> 4,62	<u>4,38-10,24</u> 6,75	<u>1,49-7,55</u> 3,94			
Временное сопротивление разрыву, МПа	<u>0,11-0,71</u> 0,38	<u>0,43-1,92</u> 0,79	<u>0,13-3,36</u> 1,63	<u>0,07-1,00</u> 0,34	<u>0,31-0,95</u> 0,77	<u>0,11-2,12</u> 0,83	<u>0,12-0,88</u> 0,35			
Угол внутреннего трения, град	<u>34-49</u> 44	<u>34-57</u> 43	<u>28-46</u> 38	<u>27-47</u> 39	<u>32-49</u> 41	<u>26-49</u> 40	<u>34-42</u> 38	<u>25-41</u> 34		
Сцепление, МПа	<u>0,32-0,88</u> 0,60	<u>0,76-1,71</u> 1,11	<u>0,71-2,30</u> 1,91	<u>0,16-1,24</u> 0,51	<u>0,69-1,14</u> 0,93	<u>0,91-2,10</u> 1,31	<u>0,10-1,37</u> 0,75	<u>0,01-0,90</u> 0,049		

Горные породы балахонской серии, не затронутые выветриванием									
Физико-механические свойства	Песчаники			Алевриты			Аргиллиты	Угли	
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Плотность частиц, г/см ³	$\frac{2,53-2,77}{2,64}$	$\frac{2,61-2,68}{2,65}$	$\frac{2,60-2,67}{2,63}$	$\frac{2,25-2,77}{2,55}$	$\frac{2,62-2,63}{2,62}$	$\frac{1,36-1,79}{1,46}$	$\frac{2,64-2,66}{2,65}$	$\frac{2,60-2,75}{2,65}$	
Плотность, г/см ³	$\frac{2,29-2,64}{2,38}$	$\frac{2,34-2,65}{2,45}$	$\frac{2,47-2,52}{2,48}$	$\frac{2,06-2,62}{2,39}$	$\frac{2,37-2,48}{2,39}$	$\frac{0,92-1,47}{1,22}$	$\frac{1,80-2,05}{1,97}$	$\frac{2,02-2,07}{2,05}$	
Плотность сухого грунта, г/см	$\frac{2,17-2,58}{2,29}$	$\frac{2,24-2,60}{2,38}$	$\frac{2,41-2,42}{2,41}$	$\frac{2,00-2,58}{2,31}$	$\frac{2,27-2,46}{2,33}$	$\frac{0,91-1,38}{1,16}$	$\frac{1,68-1,75}{1,71}$	$\frac{1,64-1,888}{1,76}$	
Естественная влажность, %	$\frac{2,13-7,54}{4,02}$	$\frac{1,83-4,69}{3,18}$	$\frac{1,95-1,19}{3,07}$	$\frac{1,29-7,32}{3,31}$	$\frac{0,79-4,93}{2,63}$	$\frac{1,41-15,12}{5,01}$	$\frac{8,60-22,35}{15,47}$	$\frac{8,89-23,47}{15,91}$	
Пористость, %	$\frac{6,86-18,28}{13,02}$	$\frac{2,99-15,15}{9,98}$	$\frac{7,31-9,36}{8,33}$	$\frac{4,80-21,30}{11,82}$	$\frac{6,11-13,69}{10,96}$	$\frac{10,95-33,09}{19,31}$	$\frac{34,21-37,21}{35,71}$	$\frac{27,97-41,95}{34,04}$	
Коэффициент пористости	$\frac{0,074-0,244}{0,152}$	$\frac{0,031-0,179}{0,112}$	$\frac{0,079-0,103}{0,091}$	$\frac{0,050-0,270}{0,135}$	$\frac{0,065-0,159}{0,124}$	$\frac{0,1203-0,495}{0,263}$	$\frac{0,520-0,571}{0,545}$	$\frac{0,388-0,604}{0,500}$	
Временное сопротивление сжатию, МПа	$\frac{1,00-2,98}{2,06}$	$\frac{4,09-5,94}{4,26}$	$\frac{5,90-5,95}{5,91}$	$\frac{1,31-3,80}{2,26}$	$\frac{3,93-6,35}{4,06}$	-	-	-	
Временное сопротивление разрыву, МПа	$\frac{0,12-0,41}{0,35}$	$\frac{0,56-0,98}{0,69}$	$\frac{0,93-1,09}{1,06}$	$\frac{0,12-0,64}{0,28}$	$\frac{0,44-0,94}{0,77}$	-	-	-	
Угол внутреннего трения, град	$\frac{32-51}{45}$	$\frac{46-49}{44}$	$\frac{46-49}{44}$	$\frac{29-45}{37}$	$\frac{32-46}{39}$	$\frac{26-36}{33}$	-	$\frac{14-21}{18}$	
Сцепление, МПа	$\frac{0,27-0,60}{0,41}$	$\frac{0,80-1,13}{1,03}$	-	$\frac{0,25-0,78}{0,44}$	$\frac{0,72-1,03}{0,89}$	$\frac{0,25-0,08}{0,04}$	-	$\frac{0,06-0,06}{0,04}$	

Как видно из данных таблицы, различия в плотности пород крайне незначительны, в то же время объемная масса песчаников выше, чем алевролитов, а для последних она оказалась самой высокой у пород с карбонатным цементом. Самой высокой прочностью обладают песчаники с карбонатным цементом, для которых среднее значение временного сопротивления сжатию равно 722,0 кгс/см. Значительно ниже оказалась прочность пород, распространенных в зоне выветривания, и самая низкая – у четвертичных глин и суглинков. Степень водообильности отложений балахонской серии в пределах рассматриваемого месторождения невысокая. Обследованиями действующего углеразреза установлено, что притоки воды в карьер не превышают 30 м³/ч, а при развитии работ на горизонте 200 м составят не более 80–130 м³/ч.

Таким образом, категория сложности месторождений описываемого типа определяется, прежде всего, сложностью тектонического строения территории.

Ананьинское месторождение также характеризуется довольно сложным тектоническим строением, что выражается в широком развитии кулисообразных брахискладок с падением крыльев до 70–80° (рис. 3.2). Следует отметить, что породы Ананьинского месторождения находятся на самой высокой стадии катагенетических преобразований и вмещают угли марки ПА-А. В связи с этим представляется интересным более подробно остановиться на характеристике состава и катагенетических изменений в породах, оказавших большое влияние на их физико-механические свойства. Среди угленосных отложений месторождения отчетливо выделяются песчаники, алевролиты, аргиллиты и угли.

Песчаники имеют сложный, полимиктовый состав. В них всегда содержатся: кварц (10–20 %), кварциты (5–10 %), полевые шпаты (10–20 %), кислые и средние эффузивы (15–20 %, реже 30–40 %). Почти во всех шлифах в количестве 5–15 % содержатся осадочные породы (аргиллиты и алевролиты). В виде единичных зерен встречаются пироксен, роговая обманка, мусковит и обломки угля. Очень редко встречаются единичные зерна циркона и турмалина. Карбонаты присутствуют в непостоянных количествах от единичных зерен 5–15 %. Представлены они в одних случаях обычно единичными обломками сидерита, в других – наряду с последними встречается доломит. Доломит развит в виде обломков доломитовой породы, имеющей микрокристаллическое строение, или же паразитически развит в обломках эффузивных пород. Цемент песчаников чаще глинисто-серицитовый, реже карбонатно-серицитовый и карбонатный.

Песчаники с глинисто-серицитовым цементом отличаются на месторождении небольшим распространением. Под микроскопом породы имеют следующий состав: кварц (10–20 %), полевые шпаты (15–20 %, иногда содержание их снижается до 10 и редко поднимается до 30 %), кварциты (5–10 %), эффузивы (15–20 %). В небольших количествах (5–15 %) содержатся осадочные породы – алевролиты, аргиллиты и карбонаты. Форма обломков разнообразна: от угловатой до полуокатанной и даже окатанной. Угловатую и полуугловатую форму имеют чаще всего обломки кварца. В некоторых случаях первичная форма кварцевых обломков осложняется нарастанием реакционных оторочек, а плагиоклазовых – замещением их серицитовым цементом. Исследования минералогического состава позволили установить различные стадии замещения эффузивных обломков доломитом. На его конечной стадии возникают псевдоморфозы микрокристаллического доломита. В качестве катагенетического карбоната встречается также кальцит, развивающийся обычно по плагиоклазу и только в редких случаях – по ортоклазу.

Песчаники с карбонатным цементом имеют в составе последнего доломит, реже кальцит и сидерит. Кроме карбоната в подчиненном количестве содержатся гидрослюды или серицит. Содержание серицита во многих песчаниках заметно возрастает за счет уменьшения количества карбоната, и тогда цемент становится серицито-карбонатным или карбонатно-

серицитовым. Песчаники с доломитовым цементом всегда содержат обломки кристаллически-зернистых или пелитоморфных карбонатных пород, доломита и сидерита.

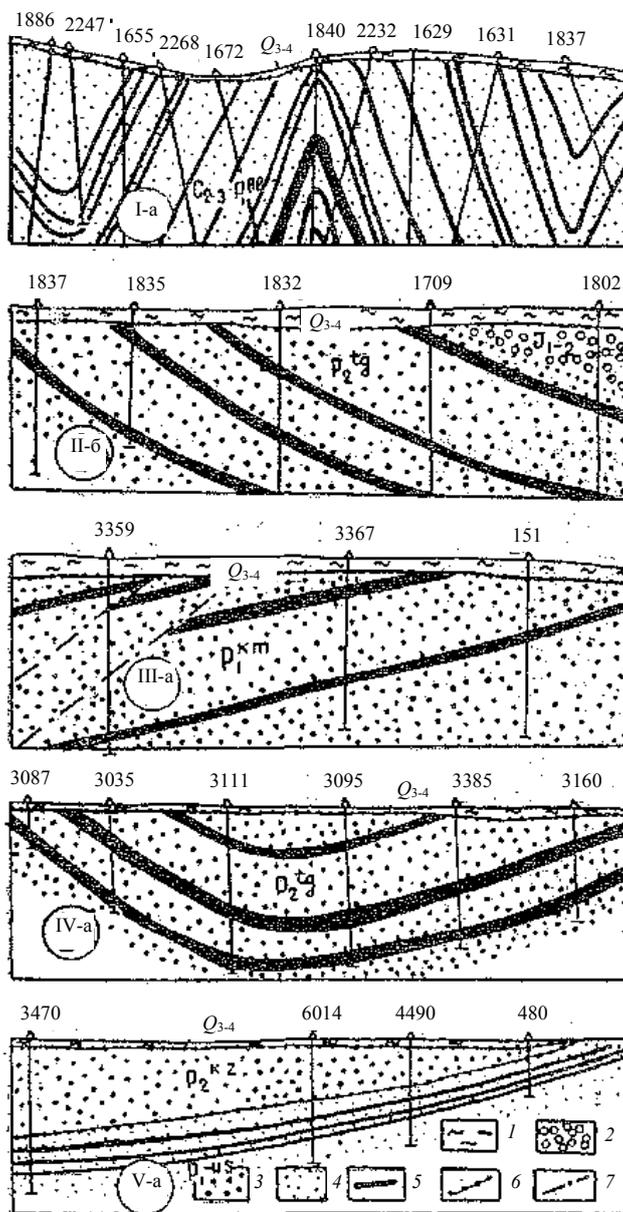


Рис. 3.2. Структурные геологические разрезы различных инженерно-геологических типов угольных месторождений Кузбасса:
 1 – четвертичные отложения; 2 – отложения тарбаганской серии; 3 – угленосные отложения кольчугинской серии; 4 – угленосные отложения балахонской серии; 5 – угольные пласты; 6 – геологическая граница; 7 – дизъюнктивные нарушения

Алевролиты светло- и темно-серого цвета тонкогоризонтально-слоистые, реже косолинзовидно-слоистые. Слоистость чаще обусловлена чередованием светло-серых, иногда желтоватых и темно-серых углистых прослоек. Обломочная часть алевролитов состоит, как правило, из силикатных обломков кварца, полевого шпата, единичных чешуек мусковита. Количественные соотношения практически не устанавливаются, т. к. плагиоклазы и эффузивы в различной степени замещены серицитом или карбонатом. В отдельных шлифах встречаются зерна роговой обманки, турмалина, циркона, глауконита. Почти во всех алевролитах в небольшом количестве отмечаются карбонаты и обломки угля.

Аргиллиты темно-серые до черных, сильно углистые, с гладким раковинчатым изломом с плоскостями послойной отдельности. Под микроскопом характеризуются высоким (до 25–70 %) содержанием глинистой массы с примесью алевролитовой фракции. В некоторых шлифах наблюдается слабозаметная микрослоистость, обусловленная различным содержанием в слоях углистых частиц. Электронно-микроскопические, термометрические и рентгеноструктурные исследования глинистых частиц аргиллитов и глинистого цемента обломочных пород показали, что в них присутствуют исключительно гидромусковит и серицит.

Отмеченные особенности катагенетических преобразований пород оказали существенное влияние на их физико-механические свойства, что нашло отражение в высоких значениях объемной массы пород, самой низкой пористости и влажности. Однако прочность структурных связей пород была значительно нарушена в процессе складкообразования, не оказавшего существенного влияния на физические свойства.

Как видно из данных таблицы, значения плотности песчаников и алевролитов оказались очень близкими, в то же время объемная масса выше у песчаников, а среди последних у пород с карбонатным цементом. Породы балахонской серии данного типа месторождений характеризуются крайне невысокой влажностью и пористостью. Последнее обусловлено, очевидно, влиянием процессов катагенеза. Установлено закономерное увеличение прочностных показателей в зависимости от состава цемента. Так, среднее значение временного сопротивления сжатию песчаников с глинистым цементом составляет 3,24, с глинисто-карбонатным – 6,44, а карбонатным – 7,63 МПа. Для алевролитов соответственно имеем 1,99, 3,50 и 6,23 МПа. Следует отметить, что эти показатели могли быть еще выше, если бы на них не отразилось геотектоническое развитие Кузнецкого бассейна, которое привело к ослаблению прочности структурных связей.

Физико-механические свойства четвертичных отложений, развитых на территории Аналинского месторождения, приведены в табл. 3.3. Из данных таблицы видно, что объемная масса и прочность этих пород значительно ниже, чем пород балахонской серии.

Месторождения типа II-а расположены в подзоне пологой линейной складчатости При-салаирской полосы Кузбасса и характеризуются более простым тектоническим строением и более спокойным залеганием горных пород и угольных пластов. По ландшафтно-климатическим условиям месторождения относятся к лесостепной слабоувлажненной зоне с количеством атмосферных осадков 400–500 мм в год. Наиболее подробно среди месторождений рассматриваемого типа изучено Моховское. Массив горных пород, слагающих борта Моховского карьера, представлен отложениями кольчугинской серии: песчаниками, алевролитами, аргиллитами, мергелями и каменными углями, переходными от длиннопламенных к газовым. Несмотря на то что горные породы Моховского месторождения находятся на ранней стадии катагенетических преобразований, изменения в их составе, вызванные вторичными процессами, являются весьма существенными.

Песчаники отличаются высоким содержанием обломков размером более 0,11 мм, содержание которых в отдельных пробах достигает 90–95 %. На долю алевролитовых и пелитовых частиц приходится 5–10 %, и только в отдельных образцах оно увеличивается до 15–20 %. В составе обломочной части пород содержится кварц (20–25 %), карбонаты (от 10–15 до 25–30 %), полевые шпаты (10–15 %). Среди других пород обломочной части встречаются эффузивы и кварциты (от 15–20 до 30–40 %), аргиллиты и алевролиты (5–10 %), содержание которых увеличивается в отдельных образцах до 30–35 %. В качестве примеси развиты серицитовые сланцы, углистые обломки, зерна турмалина. По составу цемента выделяются песчаники 3 типов: с глинистым (существенно гидрослюдистым, иногда каолинитовым), глинисто-карбонатным и карбонатным цементом. Очень редко встречаются породы с кремнисто-глинисто-карбонатным цементом. По структуре цемент чаще пленочный, местами поровый.

Таблица 3.3

Физико-механические свойства горных пород Ананьинского месторождения

Физико-механические свойства	Горные породы балахонской серии, не затронутые выветриванием									
	Песчаники					Алевриты				
	с глинистым цементом	3	с карбонатным цементом	4	с глинистым цементом	5	с карбонатным цементом	6	с глинистым цементом	7
1	2									
Плотность частиц, г/см ³	2,51–3,00 2,67	2,56–2,90 2,66	2,57–2,79 2,67	2,57–2,79 2,67	2,42–2,72 2,61	2,54–2,69 2,60	2,60–2,70 2,63			
Плотность, г/см ³	2,35–2,69 2,54	2,46–2,86 2,57	2,46–2,75 2,57	2,46–2,75 2,57	2,30–2,64 2,49	2,46–2,59 2,51	2,44–2,58 2,51			
Плотность сухого грунта, г/см ³	2,23–2,62 2,51	2,43–2,83 2,55	2,63–2,73 2,55	2,63–2,73 2,55	2,27–2,63 2,45	2,42–2,57 2,49	2,41–2,55 2,48			
Естественная влажность, %	0,30–2,40 1,09	0,29–4,20 0,78	0,28–1,52 0,59	0,28–1,52 0,59	0,28–3,41 1,22	0,44–1,78 0,92	0,98–1,57 1,03			
Пористость, %	0,89–16,03 5,82	0,78–7,96 4,59	0,78–7,0 4,30	0,78–7,0 4,30	1,13–10,82 5,63	1,94–5,73 4,21	2,67–7,49 6,22			
Коэффициент пористости	0,019–0,195 0,064	0,008–0,087 0,043	0,012–0,098 0,047	0,012–0,098 0,047	0,011–0,121 0,061	0,020–0,061 0,044	0,027–0,081 0,067			
Временное сопротивление сжатию, МПа	0,57–7,00 3,42	4,08–7,56 5,23	5,90–9,47 7,57	5,90–9,47 7,57	0,34–3,42 2,09	3,31–3,93 3,50	5,15–8,00 6,23			
Временное сопротивление разрыву, МПа	0,08–1,89 1,06	0,37–2,13 1,42	0,47–2,08 1,93	0,47–2,08 1,93	0,11–1,84 0,66	0,24–1,60 1,01	0,82–3,08 1,58			
Угол внутреннего трения, град	17–49 33	25–53 33	26–49 38	26–49 38	25–49 31	17–54 41	15–46 35			
Сцепление, МПа	0,18–1,91 1,00	0,12–2,12 1,34	1,40–2,25 1,88	1,40–2,25 1,88	1,30–1,25 0,62	0,05–1,47 1,05	0,65–3,87 1,58			

Окончание табл. 3.3

Физико-механические свойства	Горные породы балахонской серии, не затронутые выветриванием				Четвертичные отложения	
	Аргиллиты не делятся	Угли не делятся	Углистые аргиллиты	Углистые аргиллиты	Глины	
					Глины	Суглинки
1	8	9	10	11	12	
Плотность частиц, г/см ³	<u>2,46-2,79</u> 2,61	<u>1,43-1,63</u> 1,55	<u>2,22-2,75</u> 2,39	<u>2,66-2,67</u> 2,66	<u>2,57-2,70</u> 2,65	
Плотность, г/см ³	<u>2,37-2,70</u> 2,48	<u>1,35-1,50</u> 1,43	<u>2,03-2,40</u> 2,21	<u>1,83-1,97</u> 1,90	<u>1,61-2,16</u> 1,96	
Плотность сухого грунта, г/см ³	<u>2,34-2,67</u> 2,45	<u>1,27-1,44</u> 1,36	<u>2,02-2,39</u> 2,17	<u>1,51-1,74</u> 1,62	<u>1,42-1,91</u> 1,63	
Естественная влажность, %	<u>0,45-1,58</u> 1,22	<u>1,27-7,06</u> 4,65	<u>0,57-5,05</u> 1,88	<u>13,14-21,36</u> 17,25	<u>9,70-31,06</u> 21,14	
Пористость, %	<u>2,27-13,50</u> 5,57	<u>6,99-18,05</u> 12,73	<u>2,85-16,72</u> 9,40	<u>34,58-43,30</u> 38,94	<u>27,17-48,86</u> 39,12	
Коэффициент пористости	<u>0,023-0,156</u> 0,057	<u>0,075-0,280</u> 0,149	<u>0,029-0,200</u> 0,106	<u>0,529-0,762</u> 0,646	<u>0,373-0,95</u> 0,649	
Временное сопротивление сжатию, МПа	<u>0,70-4,46</u> 2,29	-	<u>0,84-1,18</u> 0,97	-	-	
Временное сопротивление разрыву, МПа	-	-	<u>0,19-0,36</u> 0,30	-	-	
Угол внутреннего трения, град	<u>15-54</u> 33	<u>27-37</u> 32	<u>31-35</u> 33	<u>10-14</u> 12	<u>7-29</u> 18	
Сцепление, МПа	<u>0,25-7,80</u> 0,52		<u>0,36-0,66</u> 0,52	0,05	<u>0,01-0,10</u> 0,05	

Алевролиты мелкозернистые, тонкогоризонтально-слоистые, тонкозернистые. В этих породах преобладают обломки размером 0,01–0,02 мм (от 60 до 80 %). По составу цемента алевролиты, как и песчаники, отчетливо делятся на 3 основные группы: с глинистым, глинисто-карбонатным и карбонатным цементом, редко встречаются породы с кремнисто-глинистым цементом.

Для различных по составу цемента типов пород наблюдается взаимосвязь с составом обломочной части.

Так, породы с глинистым цементом содержат обломки кварца в количестве 20–25 %, карбоната – 15–20 %, полевых шпатов – 15–20 %, аргиллитов – 5–10 %. На долю остальных обломков (эффузивов, микрокристаллических и метаморфических пород) приходится 15–20 %. Содержание обломков карбонатов в отдельных образцах достигает 25–30 %. В качестве примеси присутствуют обломки слюд, мусковита, углистые частицы, растительный детрит.

Для алевролитов с глинисто-карбонатным цементом характерно примерное содержание обломков карбонатов (до 20–25 %), кварца (15–20 %) и полевых шпатов (15–20 %). Кроме этого, встречаются микрокристаллические породы (до 25 %), обломки осадочных и эффузивных пород. Тип цемента, как правило, пленочный с переходом в поровый. Обломочный материал слабоокатан. Отмечается разъедание обломков кварца и полевых шпатов веществом цемента.

Породы с карбонатным цементом имеют в составе обломочной части до 40–50 % карбонатов, в то время как на долю других обломков (кварца, полевых шпатов, эффузивов) приходится 40–50 %. Физико-механические свойства приведены в табл. 3.4.

Минералогические исследования аргиллитов с применением электронного микроскопа, рентгеноструктурного и термического методов показали, что в составе этих пород преобладают гидрослюды и каолинит, которые, очевидно, являются первичными. Наряду с перечисленными типами пород в бортах карьеров окажутся четвертичные глины и суглинки. С учетом сравнительно невысокой обводненности пород месторождения, относительно простого тектонического строения и преобладания в разрезе достаточно прочных горных пород кольчугинской серии, находящихся на стадии катагенетических преобразований, соответствующей углям, переходным от длиннопламенных к газовым, инженерно-геологические условия отработки угольных пластов будут сравнительно простыми.

Месторождения типа П-б в структурно-тектоническом отношении характеризуются развитием брахисинклинальных складок асимметричного строения (рис. 3.2). Отличительной особенностью инженерно-геологических условий месторождений описываемого типа является широкое развитие, наряду с угленосными отложениями Кольчугинской серии, сильнообводненных, слабопрочных пород тарбаганской серии.

Среди месторождений данного типа наиболее подробно в настоящее время нами изучены Уропское и Караканское, на территории которых намечается строительство сверхмощных карьеров. Физико-механические свойства пород Уропского месторождения приведены в табл. 3.5, из данных которой видно, что наименьшие значения прочностных показателей и одновременно наибольшие значения пористости и влажности наблюдаются у пород тарбаганской серии. Последнее обусловлено тем, что горные породы тарбаганской серии находятся на низкой стадии катагенетических преобразований, соответствующей буроугольной стадии углефикации. Поэтому не случайным является тот факт, что песчаники Уропского месторождения характеризуются высоким содержанием обломков серицитовых и хлорито-серицитовых сланцев (до 40–50 %), кварца (25–30 %), полевых шпатов (15–20 %). Исследованиями не обнаружено следов замещения полевых шпатов и эффузивов карбонатами, отсутствуют последние и в составе цемента, который является чаще всего глинисто-серицитовым, что и обеспечивает низкую прочность пород.

Таблица 3.4

Физико-механические свойства пород Моховского месторождения

Физико-механические свойства	Породы колыбугинской серии, не затронутые выветриванием										Угли
	Песчаники			Алевриты				Аргиллиты	Угли		
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом					
1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Плотность частиц, г/см ³	<u>2,63-2,81</u> 2,69	<u>2,53-2,74</u> 2,64	<u>2,53-2,77</u> 2,66	<u>2,60-2,74</u> 2,65	<u>2,56-2,75</u> 2,65	<u>2,56-2,76</u> 2,66	<u>2,62-2,80</u> 2,70	<u>1,34-1,40</u> 1,37			
Плотность, г/см ³	<u>2,23-2,47</u> 2,34	<u>2,20-2,55</u> 2,37	<u>2,24-2,67</u> 2,37	<u>2,32-2,48</u> 2,40	<u>2,32-2,50</u> 2,38	<u>2,28-2,68</u> 2,41	<u>2,16-2,43</u> 2,31	<u>1,23-1,25</u> 1,24			
Плотность сухого грунта, г/см ³	<u>2,18-2,39</u> 2,25	<u>2,04-2,53</u> 2,31	<u>2,15-2,65</u> 2,30	<u>2,20-2,37</u> 2,30	<u>2,21-2,43</u> 2,32	<u>2,20-2,56</u> 2,31	<u>2,03-2,33</u> 2,19	<u>0,99-1,77</u> 1,16			
Естественная влажность, %	<u>1,96-6,44</u> 4,08	<u>0,60-7,90</u> 3,80	<u>0,47-8,49</u> 3,34	<u>1,96-8,90</u> 4,14	<u>1,28-5,70</u> 3,73	<u>1,48-4,55</u> 3,81	<u>4,17-7,41</u> 5,62	<u>6,73-25,2</u> 12,01			
Пористость, %	<u>11,45-21,70</u> 16,32	<u>5,45-23,60</u> 14,32	<u>7,22-18,35</u> 13,7	<u>10,26-17,47</u> 14,01	<u>7,15-15,98</u> 12,29	<u>3,52-16,60</u> 10,89	<u>13,36-25,37</u> 18,61	<u>14,60-28,2</u> 16,27			
Коэффициент пористости	<u>0,129-0,277</u> 0,199	<u>0,058-0,306</u> 0,144	<u>0,077-0,251</u> 0,170	<u>0,11-0,212</u> 0,154	<u>0,071-0,19</u> 0,147	<u>0,036-0,199</u> 0,126	<u>0,154-0,340</u> 0,231	<u>0,171-0,39</u> 0,245			
Временное сопротивление сжатию, МПа	<u>1,06-2,97</u> 2,65	<u>0,75-0,34</u> 2,09	<u>2,12-9,20</u> 4,34	<u>0,60-2,75</u> 1,30	<u>1,47-3,44</u> 2,31	<u>0,17-6,49</u> 3,89	<u>0,11-1,46</u> 0,58	-			
Временное сопротивление растяжению, МПа	<u>0,14-0,48</u> 0,32	<u>0,09-1,11</u> 0,33	<u>0,13-2,03</u> 0,60	<u>0,04-4,42</u> 0,21	<u>0,19-0,53</u> 0,36	<u>0,13-1,74</u> 0,52	<u>0,66-0,13</u> 0,09	-			
Угол внутреннего трения, град	<u>38-47</u> 42	<u>29-52</u> 43	<u>21-55</u> 45	<u>17-51</u> 35	<u>32-53</u> 44	<u>31-59</u> 45	<u>19-47</u> 33	<u>32-39</u> 34			
Сцепление, МПа	<u>0,24-0,65</u> 0,47	<u>0,16-0,83</u> 0,46	<u>1,10-1,85</u> 0,86	<u>0,20-0,50</u> 0,28	<u>0,20-0,75</u> 0,51	<u>0,20-1,95</u> 0,82	<u>1,3-2,4</u> 1,7	<u>0,02-0,1</u> 0,05			

Окончание табл. 3.4

Физико-механические свойства	Породы кольчугинской серии, затронутые выветриванием										Четвертичные отложения	
	Песчаники			Алевролиты			Угли	Аргиллиты	Глины	Су-глинки		
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом						
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Плотность частиц, г/см ³	2,49-2,71 2,62	2,56-2,69 2,60	2,58-2,80 2,67	2,56-2,84 2,62	2,60-2,80 2,68	2,40-2,76 2,63	2,59-2,70 2,64	1,33-1,49 1,39	2,59-2,75 2,65	2,56-2,75 2,67		
Плотность, г/см ³	2,03-2,35 2,19	2,16-2,32 2,23	2,23-2,35 2,28	1,99-2,37 2,24	2,07-2,35 2,23	2,15-2,37 2,26	2,09-2,42 2,21	1,20-1,80 1,24	1,80-2,20 1,97	1,78-2,16 1,99		
Плотность сухого грунта, г/см ³	1,82-2,28 2,04	2,02-2,25 2,13	2,17-2,26 2,21	1,67-2,26 2,00	1,75-2,213 2,04	1,86-2,28 2,16	1,91-2,14 1,97	1,08-1,15 1,11	1,48-1,96 1,63	1,49-1,84 1,63		
Естественная влажность, %	2,45-11,68 7,21	2,12-8,66 5,00	2,11-6,07 3,51	4,85-18,15 10,39	5,45-17,96 9,39	0,91-17,96 6,29	8,18-13,06 11,80	9,25-13,77 10,97	12,38-27,88 20,50	9,5-33,97 22,25		
Пористость, %	14,60-31,06 21,18	12,11-23,19 18,30	12,74-22,50 17,39	14,13-34,80 23,05	18,01-33,96 25,78	12,31-30,34 19,31	17,40-31,82 25,29	16,06-20,0 18,04	25,19-42,81 38,33	15,93-44,7 37,92		
Коэффициент пористости	0,172-0,451 0,275	0,182-0,302 0,233	0,146-0,290 0,206	0,165-0,593 0,237	0,220-0,514 0,375	0,140-0,435 0,242	0,210-0,399 0,344	0,191-0,250 0,220	0,337-0,750 0,632	0,253-0,809 0,623		
Временное сопротивление сжатию, МПа	0,42-2,32 1,19	0,61-2,76 1,70	2,06-5,05 3,17	0,12-0,79 0,69	0,14-4,35 1,07	1,39-3,29 2,59	0,04-0,78 0,23	-	-	-		
Временное сопротивление растяжению, МПа	0,04-0,38 0,20	0,06-0,27 0,18	0,07-0,36 0,26	0,01-0,06 0,03	0,02-0,12 0,09	0,12-1,97 0,36	0,01-0,05 3,28	-	-	-		
Угол внутреннего трения, град	29-53 42	29-55 42	-	35-56 43	28-51 39	43-50 48	16-40 27	30-37 32	7-29 22	12-32 22		
Сцепление, МПа	0,10-0,77 0,34	0,16-1,15 0,32	0,33-0,83 0,54	0,15-0,07 0,04	0,10-0,25 0,15	0,25-0,50 0,40	0,35-0,55 0,045	0,01-0,07 0,045	0,012-0,10 0,04	0,01-0,09 0,05		

Таблица 3.5

Физико-механические свойства пород Уропского месторождения

Физико-механические свойства	Породы кольчугинской серии, не затронутые выветриванием										Угли
	Песчаники			Алевриты			Аргиллиты	Угли			
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом					
1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Плотность частиц, г/см ³	2,51-2,80 2,65	2,57-2,87 2,68	2,84-2,58 2,69	2,42-2,75 2,64	2,53-2,88 2,66	2,67-2,69 2,66	2,59-2,69 2,65	1,34-1,40 1,37			
Плотность, г/см ³	2,16-2,53 2,32	2,25-2,59 2,36	2,23-2,50 2,36	1,96-2,51 2,34	2,27-2,52 2,38	2,42-2,43 2,41	2,18-2,44 2,34	1,23-1,25 1,24			
Плотность сухого грунта, г/см ³	1,92-2,41 2,21	2,04-2,45 2,26	2,11-2,50 2,26	1,80-2,46 2,20	2,09-2,44 2,27	2,37 2,37	1,96-2,38 2,20	0,99-1,77 1,11			
Естественная влажность, %	2,14-12,34 5,69	1,18-8,42 4,88	1,99-8,42 4,21	2,08-12,41 5,65	1,87-6,58 4,35	2,05-2,53 3,17	2,42-11,50 6,70	6,73-25,2 12,01			
Пористость, %	9,06-26,15 17,50	9,26-22,71 15,96	7,20-21,56 14,77	8,11-31,82 16,70	6,87-20,44 14,27	11,23-11,90 10,40	11,20-23,45 17,01	14,60-28,3 16,27			
Коэффициент пористости	0,102-0,396 0,215	0,102-0,284 0,191	0,076-0,275 0,170	0,088-0,467 0,166	0,102-0,871 0,229	0,126-0,135 0,126	0,114-0,321 0,211	0,171-0,394 0,245			
Временное сопротивление сжатию, МПа	0,11-2,64 1,30	1,08-4,70 2,90	2,81-8,90 4,06	0,53-2,88 1,59	1,11-5,56 2,81	3,77-6,26 5,01	0,22-3,77 1,70	-			
Временное сопротивление растяжению, МПа	0,12-0,06 0,24	0,11-1,28 0,57	0,27-1,10 0,76	0,11-1,72 0,33	0,04-0,87 0,42	0,5-1,05 0,77	0,03-0,36 0,17	-			
Угол внутреннего трения, град	20-47 37	16-49 41	27-53 41	24-51 36	35-53 42	47-48 47°30'	22-50 33	32-39 34			
Сцепление, МПа	0,10-1,98 0,36	0,28-1,35 0,61	0,25-5,85 1,04	0,13-0,88 0,39	0,25-1,13 0,69	0,74-1,26 0,96	0,06-0,73 0,38	0,002-1,0 0,005			

Окончание табл. 3.5

Физико-механические свойства	Породы кольчугинской серии, затронутые выветриванием							Четвертичные отложения	
	Песчаники с глинистым цементом	Алевриты			Аргиллиты	Угли	Глины	Суглинки	
		с глинистым цементом	с глинисто- карбонатным цементом	с карбонат- ным цементом					
1	10	11	12	13	14	15	16	17	
Плотность частиц, г/см ³	2,48-2,79 2,66	2,60-2,93 2,71	-	2,60-2,62 2,61	2,55-2,78 2,62	1,33-1,49 1,39	2,66-2,73 2,70	2,53-2,77 2,65	
Плотность, г/см ³	2,14-2,65 2,23	1,97-2,73 2,28	-	2,30-2,37 2,33	2,14-2,31 2,22	1,20-1,29 1,39	1,71-2,06 1,95	1,79-2,37 1,99	
Плотность сухого грунта, г/см ³	1,85-2,35 2,05	1,57-2,56 2,08	-	2,15-2,29 2,22	1,91-2,20 2,03	1,08-1,15 1,11	1,52-1,70 1,61	1,41-1,84 1,62	
Естественная влажность, %	1,11-15,94 8,16	6,65-25,61 10,34	-	3,59-6,91 5,25	5,14-15,84 9,91	9,25-13,77 10,97	12,43-24,66 20,85	11,35-29,44 22,82	
Пористость, %	12,96-33,69 22,75	12,63-40,08 23,33	-	12,29-18,25 15,27	15,06-27,84 19,33	16,06-20,0 18,04	38,01-44,32 40,32	31,21-45,98 38,90	
Коэффициент пористости	0,162-0,373 0,271	0,145-0,669 0,319	-	0,140-0,223 0,182	0,177-0,386 0,290	0,191-0,250 0,220	0,600-0,796 0,680	0,451-0,851 0,548	
Временное сопротивление сжатию, МПа	0,24-0,77 0,46	0,83-2,31 0,70	-	2,63-2,89 2,78	0,16-0,37 0,14	-	-	-	
Временное сопротивление растяжению, МПа	0,09-0,16 0,06	0,03-1,17 0,22	-	0,27-0,35 0,31	0,0003-0,02 0,01	-	-	-	
Угол внутреннего трения, град	32-53 45	16-45 34	-	-	24-50 32	32-36 33	4-20 30	10-29 21	
Сцепление, МПа	0,20-1,55 0,59	0,09-0,92 0,25	-	0,50-0,59 0,54	0,002-0,06 0,01	0,01-0,07 0,04	0,02-0,1 0,06	0,01-0,08 0,04	

Отличительной особенностью песчаников тарбаганской серии (I₁₋₃) Караканского месторождения является довольно высокое содержание в составе обломочной части серицитовых, хлоритовых сланцев и кварцитов (от 10–15 до 55–60 %), среднее значение которых составляет 40 %. Довольно много эффузивов, содержание которых в отдельных образцах достигает 50 %. Обломки кварца и полевых шпатов содержатся примерно в одинаковом количестве (15–20 %).

Алевриты описываемых месторождений содержат преимущественно обломки размером 0,01–0,01 мм (до 50–60 %), пелитовая фракция составляет до 30 %, а на долю псаммитовой приходится не более 10 %. В составе обломочной части часто преобладают обломки серицитовых сланцев (до 50 %). Кварц и полевые шпаты содержатся примерно в одинаковом количестве (25–30 %). Кроме этого, встречаются эффузивы, углистые частицы, чешуйки слюд. Цемент пород главным образом серицитовый, гидрослюдистый.

Угленосные отложения кольчугинской серии в пределах Уропского и Караканского месторождений характеризуются различной степенью катагенетических преобразований. В породах Уропского месторождения в составе обломочной части песчаников отмечается высокое содержание полевых шпатов, в том числе средних и основных плагиоклазов (до 60–70 %), обломков осадочных пород (25 %) и одновременно установлено невысокое содержание карбонатов (до 10 %). Глинистая часть пород представлена каолинитом, гидрослюдой и монтмориллонитом. Отсутствие следов вторичных изменений в обломках полевых шпатов и глинистых минералах позволяет утверждать, что породы Уропского месторождения находятся на самой низкой стадии катагенеза. Этим объясняются различия в физико-механических свойствах пород Караканского и Уропского месторождений. На Караканском месторождении горные породы находятся на более высокой стадии преобразований, что отражается в частичном замещении полевых шпатов карбонатами, развитии регенерационных оторочек на обломках кварца. В составе обломочной части присутствуют плагиоклазы (до 45–50 %), эффузивы (10–15 %), обломки осадочных пород (10–20 %), серицито-глинистых сланцев (10–20 %), карбонатов (5–10 %). Отличаясь по своему гранулометрическому составу, алевриты имеют близкий минералогический состав с песчаниками. Обломочная часть этих пород представлена полевыми шпатами (30–35 %), кварцем (25–30 %), обломками карбонатных пород (10–15 %), эффузивов (10–15 %). По составу выделяются 3 основных типа цемента: глинистый, глинисто-карбонатный, карбонатный. Отмеченные особенности состава пород и катагенетические изменения в них наложили свой отпечаток на их физико-механические свойства. Так, если песчаники Караканского месторождения с глинистым, глинисто-карбонатным и карбонатным цементом имеют средние значения временного сопротивления сжатию 178,6; 297,9; 465,7 кгс/см², то более высокими для Уропского месторождения оказались пористость и влажность пород (табл. 3.5). В гидрогеологическом отношении месторождения типа II-б характеризуются высокой обводненностью пород юрского возраста, вследствие чего отработка угольных месторождений возможна лишь при условии предварительного осушения пород.

Месторождения типа III-а расположены на севере Кузнецкого бассейна и приурочены к Приколывань-Томской зоне интенсивной линейной складчатости. На месторождениях данного типа в настоящее время действуют угольные карьеры Кедровский, Новоколбинский, Черниговский, Латышевский, Хорошеборский, а также ведется проектирование новых углерезов. В качестве примера будет рассмотрено Глушинское месторождение, расположенное в сильноувлажненной зоне, переходной от лесостепи к тайге, со среднегодовым количеством атмосферных осадков более 600 мм. Принадлежность месторождения к Колывань-Томской зоне интенсивной линейной складчатости во многом предопределяет сложность его структурного положения и тектонического строения. Основной структурой, к которой при-

урочено месторождение, является Глушинская брахисинклиналь, вытянутая в меридиональном направлении, имеющая сложную форму в плане и асимметричное строение с более крутым западным ($50-60^\circ$) и пологим ($25-30^\circ$) восточным крыльями.

Основными разрывными нарушениями на участке являются согласные и несогласные взбросы и надвиги (рис. 3.2). Эти нарушения имеют субмеридиональное простирание и сопровождаются довольно значительными зонами дробления. Амплитуда перемещения угольных пластов достигает по смесителю 100 м. Среди согласных взбросов выделяются взбросы продольного и диагонального типа. Взбросы продольного типа развиты, главным образом, на севере месторождения и поражают крылья складок. Плоскости смесителей имеют юго-западное падение, а углы падения колеблются от 15 до 40° . Взбросы диагонального типа развиты в центральной части месторождения. Простирание этих нарушений северо-восточное, падение плоскости смесителя северо-западное, угол падения $30-40^\circ$ [5].

Таким образом, в структурно-тектоническом отношении описываемое месторождение характеризуется широким развитием складчатых и разрывных форм тектонических деформаций, что в значительной степени может осложнять разработку месторождений открытым способом.

Горные породы Глушинского месторождения представлены песчаниками, алевролитами, углями балахонской серии, повсеместно перекрытыми рыхлыми четвертичными глинами и суглинками. Обводненность пород и углей месторождения довольно высокая. Возможные притоки воды в карьер превысят $350 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Исследования минералогического состава горных пород Глушинского месторождения показали, что песчаники балахонской серии на $60-90\%$ состоят из обломков размером $0,25-0,1$ мм, алевритовая фракция присутствует в количестве $5-35\%$, а содержание пелитовой не превышает 10% . Характерной особенностью песчаников является высокое содержание в составе обломочной части кварцитов и кислых эффузивов, колеблющееся от $20-25$ до $50-60\%$. Обращает на себя внимание также сравнительно невысокое содержание карбонатов ($5-10$, редко $15-20\%$) и полевых шпатов ($10-15\%$, в отдельных пробах $20-25\%$). Кварц содержится во всех образцах примерно в равном количестве ($20-25\%$, в отдельных случаях снижаясь до $10-15\%$ и редко возрастая до $25-30\%$). В качестве примесей в породах присутствуют аргиллиты, серицитовые сланцы, чешуйки слюды, обломки угля, единичные зерна глауконита. Характерна угловая форма обломков кварца, в то же время обломки эффузивных пород имеют сравнительно хорошую окатанность. Цемент пород гидрослюдистый, карбонатно-гидрослюдистый, карбонатный, реже кремнисто-карбонатно-гидрослюдистый. По типу он, как правило, пленочный, иногда с переходом в поровый. Характерной особенностью песчаников Глушинского месторождения является повсеместное интенсивное замещение полевых шпатов, особенно плагиоклазов, карбонатом. Некоторые обломки полевых шпатов почти полностью замещены карбонатом, другие по краям корродированы цементом, причем как карбонатным, так и глинистым. Но и в том, и в другом случае образуются как бы спайки между цементом и обломками, а это приводит к возрастанию прочности пород.

Алевролиты в отличие от песчаников характеризуются высоким содержанием ($70-90\%$) алевролитовой фракции, в то время как пелитовая фракция не превышает $10-30\%$. В составе обломочной части преобладают микрокристаллические породы ($35-40\%$), полевые шпаты содержатся в количестве $15-25\%$, а содержание кварцевых обломков колеблется от 25 до 30%). В качестве примеси в очень малых количествах присутствуют карбонат, углистые частицы. Цемент существенно гидрослюдистый, реже гидрослюдисто-карбонатный и карбонатный.

Породы Глушинского месторождения находятся на средней стадии катагенетических преобразований, соответствующей углям марки КЖ. Этим и объясняется довольно интенсивное проявление вторичных изменений в породах, приводящих к изменению характера

и прочности структурных связей. Физико-механические свойства пород Глушинского месторождения приведены в табл. 3.6. На основании приведенной краткой характеристики инженерно-геологического строения Глушинского месторождения можно сказать, что условия отработки пластов карьерами здесь окажутся сложными, что обусловлено прежде всего сложностью тектонического строения данного месторождения.

Месторождения типа IV-а находятся в Центральной зоне пологих складок и куполовидных поднятий, которая является промежуточной между зоной интенсивной линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса и Пригорношорской зоной моноклиналей. Среди месторождений данного типа наиболее перспективными для разработки открытым способом являются Талдинское, Новоказанское, Ерунаковское Южное. Ниже приводится краткая характеристика инженерно-геологических условий Талдинского месторождения. По физико-географическим условиям Талдинское месторождение относится к лесостепной увлажненной зоне со среднегодовым количеством осадков 500–600 мм. Рельеф месторождения холмисто-увалистый и благоприятный для строительства карьеров и подъездных путей. В геологическом строении месторождения принимают участие угленосные континентальные отложения кольчугинской серии и четвертичные отложения, которые и окажутся в бортах будущих карьеров. В пределах месторождения развиты следующие литологические типы пород: песчаники, алевролиты, аргиллиты, каменные угли, глины и суглинки (табл. 3.7).

Приведенные данные свидетельствуют о более высокой объемной массе и более низкой пористости и влажности пород Кольчугинской серии по сравнению с аналогичными породами, распространенными в пределах Моховского и Уропского угольных месторождений Кузбасса. Наблюдаются также существенные различия и в значениях прочностных показателей. Последнее объясняется различиями как в геотектоническом положении месторождения, так и в стадиях катагенетических преобразований горных пород. Горные породы Талдинского месторождения находятся на стадии катагенетических преобразований, соответствующей углям, переходным от газовых к газовой-жирным. Это предопределяет интенсивность проявления вторичных процессов, выражающихся в замещении полевых шпатов серицитом, глинистым или карбонатным цементом; растворении кварцевых обломков и образовании причудливых кружевных форм, преобразовании первичных глинистых минералов во вторичную гидрослюда. Исследованиями также установлено, что в обломочной части песчаников присутствуют кварц (35–45 %), карбонаты (10–15 %), полевые шпаты (10–15 %), микрокварциты и кислые эффузивы (25–30 %). Цемент пород гидрослюдистый, гидрослюдисто-карбонатный или карбонатный. Характерной особенностью алевролитов Талдинского месторождения является высокое содержание карбонатов как в форме обломков, так и в виде цементирующей массы. Содержание обломков карбонатов колеблется от 20–25 до 40–50 %, кварц присутствует в значительно меньших количествах (15–20 %), и совсем мало полевых шпатов (10–15 %). Наряду с этим встречаются микрокристаллические породы (эффузивы и кварциты) в количестве 10–15 %, их содержание редко достигает 35–40 %. Полевые шпаты во многих случаях замещены серицитом, глинистым или карбонатным веществом. Обломки кварца в отдельных шлифах имеют причудливые, кружевные края, представляющие результат их растворения. Карбонаты обломочной части чаще представлены доломитами, реже кальцитами. Встречаются сильносеричитизированные полевые шпаты. Это обычно плагиоклазы с тонкой двойниковой структурой. Обломки полевых шпатов часто корродированы карбонатным цементом. Цемент большинства пород сложный – глинисто-карбонатный, реже глинистый или карбонатный, по типу пленочный с переходом в поровый. Наряду с описанными типами пород в пределах Талдинского месторождения развиты аргиллиты, а также встречаются мергели. Глинистая фракция аргиллитов представлена чаще всего гидрослюдами и гидромусковитом.

Таблица 3.6

Физико-механические свойства горных пород Глушинского углераза

Физико-механические свойства	Горные породы балахонской серии, не затронутые выветриванием										Четвертичные отложения	
	Песчаники			Алевриты			Угли	Глины		Суглинки		
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом						
Плотность частиц, г/см ³	<u>2,63-2,80</u> 2,68	<u>2,55-2,73</u> 2,66	<u>2,76-2,53</u> 2,67	<u>2,60-2,72</u> 2,66	<u>2,61-2,65</u> 2,63	<u>2,61-2,76</u> 2,66	<u>1,42-1,48</u> 1,45	<u>2,64-2,66</u> 2,66	<u>2,64-2,68</u> 2,66			
Плотность, г/см ³	<u>2,00-2,51</u> 2,41	<u>2,36-2,58</u> 2,50	<u>2,40-2,62</u> 2,52	<u>2,12-2,43</u> 2,30	<u>2,37-2,47</u> 2,40	<u>2,46-2,54</u> 2,48	<u>1,22-1,27</u> 1,24	<u>1,99-1,13</u> 2,08	<u>1,87-2,07</u> 1,98			
Плотность сухого грунта, г/см ³	<u>2,18-2,46</u> 2,37	<u>2,29-2,52</u> 2,44	<u>2,12-2,59</u> 2,49	<u>2,03-2,39</u> 2,21	<u>2,30-2,40</u> 2,33	<u>2,39-2,40</u> 2,33	<u>1,17-1,23</u> 1,21	<u>1,66-1,88</u> 1,76	<u>1,57-1,73</u> 1,66			
Естественная влажность, %	<u>1,28-5,95</u> 2,57	<u>1,10-2,90</u> 2,05	<u>0,87-2,59</u> 2,03	<u>0,65-7,41</u> 3,81	<u>2,82-3,67</u> 3,16	<u>3,00-3,81</u> 3,05	<u>2,65-3,60</u> 3,19	<u>17,04-21,73</u> 18,83	<u>16,45-21,74</u> 19,44			
Пористость, %	<u>2,70-25,42</u> 11,26	<u>2,27-14,87</u> 8,07	<u>2,65-16,21</u> 6,71	<u>9,92-23,40</u> 12,60	<u>8,04-13,21</u> 12,20	<u>8,04-10,51</u> 7,32	<u>15,76-17,61</u> 16,75	<u>31,95-37,59</u> 33,86	<u>27,98-35,61</u> 33,01			
Коэффициент пористости	<u>0,060-0,341</u> 0,157	<u>0,055-0,175</u> 0,091	<u>0,046-0,193</u> 0,075	<u>0,110-0,305</u> 0,22	<u>0,087-0,152</u> 0,117	<u>0,095-0,117</u> 0,117	<u>0,187-0,214</u> 0,201	<u>0,470-0,602</u> 0,514	<u>0,388-0,549</u> 0,495			
Временное сопротивление сжатию, МПа	<u>0,98-4,82</u> 2,13	<u>2,56-5,88</u> 4,09	<u>4,24-12,00</u> 7,33	<u>0,47-1,50</u> 0,76	<u>2,20-2,98</u> 2,59	<u>2,26-3,04</u> 2,78	<u>1,30-2,09</u> 1,77	-	-			
Временное сопротивление разрыву, МПа	<u>0,11-1,19</u> 0,38	<u>0,31-1,96</u> 0,82	<u>0,61-2,26</u> 1,29	<u>0,11-0,71</u> 0,22	<u>0,45-0,60</u> 0,53	<u>0,22-0,60</u> 0,38	<u>0,13-0,20</u> 0,17	-	-			
Угол внутреннего трения, град	<u>24-58</u> 44	<u>20-55</u> 40	<u>18-55</u> 42	<u>28-40</u> 33	37	<u>37-48</u> 43	<u>37-39</u> 38	<u>21-26</u> 22	<u>21-26</u> 24			
Сцепление, МПа	<u>0,15-1,15</u> 0,45	<u>0,60-1,65</u> 0,99	<u>1,00-2,55</u> 1,66	<u>0,15-0,35</u> 0,24	<u>0,53-0,75</u> 0,60	<u>0,43-0,75</u> 0,61	<u>0,25-0,40</u> 0,34	<u>0,037-0,062</u> 0,049	<u>0,02-0,03</u> 0,02			

Таблица 3.7

Физико-механические свойства пород Талдинского месторождения

Физико-механические свойства	Породы кольчугинской серии, не затронутые выветриванием										Угли
	Песчаники			Алеролиты			Аргиллиты	Угли			
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом					
2	3	4	5	6	7	8	9				
Плотность частиц, г/см ³	2,51-2,81 2,68	2,60-2,84 2,66	2,61-2,86 2,68	2,35-2,97 2,66	2,52-2,96 2,68	2,49-2,92 2,71	2,50-2,98 2,68	1,32-1,45 1,47			
Плотность, г/см ³	2,22-2,66 2,48	2,30-2,64 2,47	2,33-2,69 2,52	2,12-2,75 2,45	2,29-2,84 2,53	2,25-2,84 2,56	2,22-2,66 2,37	1,21-1,35 1,28			
Плотность сухого грунта, г/см ³	2,12-2,63 2,35	2,24-2,58 2,42	1,63-2,66 2,43	1,46-2,67 2,32	2,20-2,77 2,46	2,18-2,82 2,49	2,10-2,63 2,27	1,06-1,25 1,18			
Естественная влажность, %	0,74-5,53 2,36	0,91-3,10 1,92	0,360-16,18 2,67	0,68-13,85 3,75	0,98-14,16 3,04	0,80-7,75 2,13	0,71-7,47 5,03	5,43-23,10 9,02			
Пористость, %	3,31-16,73 9,61	5,38-14,60 9,15	0,131-12,21	1,84-33,07 11,73	3,45-16,20 8,47	2,67-17,11 8,47	7,37-19,47 15,54	6,01-21,48 14,35			
Коэффициент пористости	0,034-0,14 0,128	0,057-0,17 0,088	0,012-0,33 0,174	0,019-0,678 0,145	0,036-0,586 0,090	0,027-0,203 0,097	0,079-0,291 0,154	0,064-0,243 0,165			
Временное сопротивление сжатию, МПа	1,58-2,08 1,68	2,32-3,73 2,95	3,38-9,87 5,12	0,40-4,66 1,67	1,54-6,85 2,87	1,24-9,15 4,58	0,47-3,14 1,73	-			
Временное сопротивление растяжению, МПа	0,75-4,01 0,33	0,34-1,38 0,50	0,11-3,13 1,29	0,09-0,96 0,34	0,14-1,28 0,49	0,25-1,44 0,66	0,11-0,49 0,38	-			
Угол внутреннего трения, град	21-51 39	33-47 41	20-50 34	8-55 36	29-57 38	25-57 38	30-44 25	33-37 35			
Сцепление, МПа	0,12-0,46 0,41	0,46-0,95 0,64	0,86-2,61 1,41	0,10-1,05 0,42	0,37-1,22 0,69	0,37-1,6 1,29	0,14-0,72 0,56	0,01-0,03 0,006			

Окончание табл. 3.7

Физико-механические свойства	Породы кольчугинской серии, затронутые выветриванием										Четвертичные отложения	
	Песчаники			Алевролиты				Аргиллиты	Угли	Глины	Суглинки	
	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом						
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Плотность частиц, г/см ³	<u>2,16-2,85</u> 2,68	<u>2,60-2,76</u> 2,65	<u>2,52-2,72</u> 2,69	<u>2,40-2,87</u> 2,64	<u>2,63-2,87</u> 2,69	<u>2,58-2,86</u> 2,70	<u>2,55-2,73</u> 2,64	<u>1,34-1,54</u> 1,39	<u>2,66-2,73</u> 2,69	<u>2,68-2,73</u> 2,71		
Плотность, г/см ³	<u>1,95-2,68</u> 2,39	<u>2,26-2,51</u> 2,41	<u>2,37-2,65</u> 2,46	<u>2,07-2,48</u> 2,36	<u>2,27-2,73</u> 2,46	<u>2,40-2,73</u> 2,49	<u>1,84-2,31</u> 2,11	<u>1,22-1,35</u> 1,27	<u>1,92-2,13</u> 2,012	<u>1,89-2,05</u> 1,97		
Плотность сухого грунта, г/см ³	<u>1,90-2,51</u> 2,21	<u>2,09-2,47</u> 2,35	<u>2,30-2,65</u> 2,39	<u>1,77-2,42</u> 2,27	<u>2,16-2,71</u> 2,38	<u>2,28-2,71</u> 2,41	<u>1,52-2,31</u> 1,85	<u>1,03-1,24</u> 1,13	<u>1,50-1,85</u> 1,64	<u>1,43-1,68</u> 1,56		
Естественная влажность, %	<u>1,34-17,38</u> 5,09	<u>1,30-5,70</u> 3,54	<u>0,81-4,05</u> 3,16	<u>1,14-16,85</u> 4,16	<u>0,41-7,95</u> 3,58	<u>0,63-8,95</u> 3,42	<u>7,45-21,85</u> 14,08	<u>8,55-18,53</u> 10,97	<u>14,82-27,73</u> 22,60	<u>21,94-32,5</u> 26,40		
Пористость, %	<u>2,64-35,79</u> 11,16	<u>5,00-22,01</u> 9,80	<u>2,95-14,50</u> 7,76	<u>6,33-54,50</u> 15,60	<u>5,57-20,00</u> 12,75	<u>5,24-37,80</u> 14,11	<u>19,47-43,70</u> 29,91	<u>12,69-33,11</u> 18,63	<u>30,45-45,05</u> 38,90	<u>37,54-46,8</u> 42,50		
Коэффициент пористости	<u>0,060-0,389</u> 0,128	<u>0,053-0,282</u> 0,145	<u>0,030-0,170</u> 0,174	<u>0,066-1,000</u> 0,187	<u>0,058-0,250</u> 0,146	<u>0,050-0,958</u> 0,216	<u>0,242-0,776</u> 0,448	<u>0,146-0,495</u> 0,235	<u>0,433-0,820</u> 0,647	<u>0,601-0,88</u> 0,744		
Временное сжатие, МПа	<u>0,24-3,28</u> 1,06	<u>1,09-4,01</u> 2,87	<u>2,15-9,22</u> 5,02	<u>0,25-1,42</u> 0,52	<u>1,27-3,41</u> 2,24	<u>3,10-9,08</u> 5,88	-	-	-	-		
Временное сжатие при растяжении, МПа	<u>0,41-1,06</u> 0,26	<u>0,14-0,84</u> 0,46	<u>0,10-1,51</u>	<u>0,01-0,36</u> 0,21	<u>0,10-0,57</u> 0,47	<u>0,26-1,25</u> 0,05	-	-	-	-		
Угол внутреннего трения, град	<u>12-53</u> 35	<u>34-43</u> 39	<u>31-45</u> 36	<u>17-50</u> 43	<u>28-59</u> 46	<u>38-55</u> 46	<u>17-31</u> 24	<u>32-37</u> 35	<u>14-29</u> 22	<u>14-24</u> 22		
Сцепление, МПа	<u>0,20-1,05</u> 0,40	<u>0,21-0,92</u> 0,79	<u>0,27-1,72</u> 1,28	<u>0,03-0,38</u> 0,25	<u>0,26-0,77</u> 0,61	<u>0,55-1,90</u> 1,28	<u>0,01-0,06</u> 0,03	<u>0,006-0,02</u> 0,004	<u>0,01-0,06</u> 0,04	<u>0,01-0,06</u> 0,02		

Отмеченные особенности состава горных пород Талдинского месторождения оказывают большое влияние на их физико-механические свойства, что наглядно иллюстрируется табл. 3.7. По своему геолого-структурному положению Талдинское месторождение приурочено к ядру Жерновской брахисинклинальной складки, имеющей почти симметричное строение с углами падения крыльев $15\text{--}20^\circ$, редко последние увеличиваются до $30\text{--}35^\circ$. В пределах месторождения развиты дизъюнктивные нарушения типа послойных перемещений, согласных взбросов и надвигов, что в значительной степени может осложнять разработку месторождения карьерами. Подземные воды месторождения представлены водоносными комплексами кольчугинской серии и четвертичного возраста, среди которых наибольшее влияние на разработку месторождения карьерами будут оказывать воды продуктивных отложений. Притоки воды в будущие карьеры, по данным треста «Кузбассуглегеология», составят $1700\text{--}2000\text{ м}^3/\text{ч}$.

Месторождения типа V-а. Среди всех изученных нами и описанных выше типов месторождений Кузбасса наилучшими в структурно-тектоническом отношении для разработки открытым способом являются месторождения рассматриваемого типа. Последнее объясняется простым тектоническим строением месторождений данного типа, спокойным пологим залеганием угольных пластов и пород с углами падения $5\text{--}20^\circ$ (рис. 3.2), слабой тектонической нарушенностью горных пород, обладающих самой высокой прочностью (прил. 1) среди всех изученных в Кузбассе угленосных отложений кольчугинской и балахонской серий. Вместе с тем необходимо отметить, что физико-географические условия в пределах месторождений данного типа являются не вполне благоприятными. Приуроченность месторождений к таежной, сильноувлажненной зоне, в пределах которой среднегодовое количество атмосферных осадков составляет $700\text{--}800\text{ мм}$, а в отдельные годы превышает 1000 мм , будет в значительной степени осложнять работу угольных карьеров, обеспечивая высокие притоки воды в них и способствуя переувлажнению пород в бортах карьеров. Сильно расчлененный рельеф местности и затаеженность территории могут служить препятствием при строительстве подъездных путей к карьерам, промышленном и городском строительстве.

Заканчивая строительную характеристику инженерно-геологических условий главных типов угольных месторождений, необходимо отметить, что первостепенное влияние на устойчивость бортов карьеров будет оказывать геотектоническое строение, во многом определяющее условия залегания, состояние и физико-механические свойства горных пород. Последние также существенно зависят от степени катагенетических преобразований горных пород. Выявленные закономерности инженерно-геологического строения Кузнецкого бассейна имеют большое значение при прогнозировании условий строительства карьеров и оценке устойчивости их бортов.

4. УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ КУЗБАССА

4.1. Анализ факторов, определяющих поведение пород в бортах карьеров

Одной из главнейших проблем, имеющих исключительно актуальное значение при разведке угольных месторождений, проектировании и строительстве карьеров, является проблема устойчивости бортов и уступов, решение которой возможно лишь на основании учета всего многообразия факторов, определяющих поведение горных пород в бортах карьеров. Опыт строительства карьеров на территории нашей страны и за рубежом, а также результаты многочисленных наблюдений за состоянием бортов показывают, что недоучет тех или иных факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, приводит к широкому развитию в них деформаций. Подробный анализ деформаций бортов и уступов карьеров приводится в работах [9, 18, 22, 24, 25, 27, 37]. Интересные данные получены А.М. Деминым и Б.К. Александровым, которыми произведен анализ более чем 200 различных типов деформаций и причин их возникновения на российских и зарубежных карьерах. Это позволило разработать общую классификацию деформаций бортов карьеров и выяснить причины развития последних. При этом установлено, что наибольшему деформированию подвергаются рабочие борта карьеров и внутренние отвалы. В рабочих бортах карьеров свыше 20 % деформаций образуются по поверхностям ослабления, predeterminedенным условиями залегания пород. Существенное влияние на устойчивость бортов оказывают состав и физико-механические свойства пород, слагающих борта карьеров. Причем около 60 % деформаций наблюдается в глинистых породах, обладающих в то же время самой низкой прочностью, около 23 % – в песчано-глинистых, и остальное приходится на песчаные и крупнообломочные.

Аналогичная картина наблюдается и в породных отвалах с той лишь разницей, что преобладающим типом деформации здесь является оплывание. Среди других факторов особое значение имеют условия залегания горных пород. Наиболее неблагоприятным в данном случае является пологое (0–25°) и наклонное (25–45°) залегание горных пород. В ряде работ отмечается большое влияние физико-географических условий на устойчивость бортов карьеров. Среди последних главнейшее значение имеют атмосферные осадки, обеспечивающие наибольшее количество деформаций летом, весной и осенью. Наряду с атмосферными осадками существенная роль в образовании оползней принадлежит подземным водам. Согласно данным А.М. Демина, Б.К. Александрова, свыше 40 % деформаций связано с обводнением пород подземными водами, 27 % – атмосферными осадками и около 30 % – из водоемов, расположенных вблизи оползневых участков. Из всех рассмотренных случаев деформаций бортов карьеров около 45 % приходится на внезапные оползни, претекающие в течение нескольких секунд или минут, 34 % – на медленные и 21 % – на быстрые. Внезапные деформации бортов чаще всего проявляются в форме оплываний, но нередко они образуются и по поверхностям ослабления. Случаи массовых оползней составляют около 64 %, при этом объем оползшихся масс чаще всего колеблется от 10 тыс. до 1 млн м³. Кроме перечисленных факторов большое влияние на устойчивость бортов карьеров оказывает степень тектонической нарушенности массивов горных пород, их выветрелость и трещиноватость, а также применяемая система отработки угольных пластов, буровзрывные и гидромониторные работы.

Проведенный выше анализ деформаций бортов и отвалов угольных карьеров и причин их возникновения позволяет выделить следующие две основные группы факторов, определяющих поведение пород в бортах карьеров и их устойчивость: естественные (природные) и искусственные, обусловленные инженерной деятельностью человека.

Среди естественных (природных) факторов, как было отмечено ранее, первостепенное значение при оценке устойчивости бортов карьеров имеет учет геоструктурных особенно-

стей и тектонического строения. Не меньшее значение имеют также состав, состояние и физико-механические свойства горных пород, степень их обводненности подземными и поверхностными водами.

К искусственным факторам нами отнесены такие, которые обусловлены инженерной деятельностью человека. Это, прежде всего, система отработки угольных пластов, использование тяжелого горно-транспортного оборудования, применение буровзрывных работ и гидросмыва. Последние оказывают не меньшее влияние на поведение пород в бортах карьеров и их устойчивость, чем первая группа факторов. Интенсивность проявления перечисленных факторов зависит от особенностей инженерно-геологического строения угольных месторождений, а их учет в процессе разведки месторождений, проектирования строительства позволяет правильно подойти к решению проблемы устойчивости бортов карьеров.

4.2. Исследование устойчивости и деформируемости бортов действующих карьеров Кузбасса

Среди действующих карьеров Кузбасса наиболее полно в инженерно-геологическом отношении изучены Кедровский, Хорошеборский, Латышевский, Новоколбинский, Моховский, Бачатский, Новосергиевский, Киселевский углеразрезы.

Кедровский углеразрез разрабатывает угли балахонской серии, представленные пластами Кемеровским и Волковским, средняя мощность которых соответственно составляет 4–6 и 18–20 м. Разработка месторождения осуществляется по комбинированной схеме с применением железнодорожного и автомобильного транспорта и удалением пустой породы во внешние отвалы. В процессе инженерно-геологических исследований было установлено, что общие углы наклона борта Кедровского карьера на различных участках колеблются от 16 до 22° при глубине 40–90 м, а в отдельных случаях они достигают 45°. Несмотря на сравнительно невысокие значения углов наклона бортов, в процессе разработки Кедровского месторождения наблюдаются деформации, среди которых наибольшим распространением пользуются оползни, осыпи, обрушения, оплывины. Первые наиболее крупные оползни на Кедровском карьере наблюдались в 1963 г. По данным ВНИМИ объем оползня, возникшего на северном крыле третьего участка, составил 38 тыс. м³. На восточном крыле этого участка объем оползневых масс, возникших в то же время, составил 2,7 млн м³. Основной причиной этих оползней стало наличие слабых алевролитов на контакте с пластом Волковским, а также большое количество атмосферных осадков, выпавших в летнее время. В 1967 г. на Кедровском карьере были зафиксированы оползни в четвертичных и отвальных породах, главной причиной образования которых явилось значительное увлажнение пород в процессе гидросмыва.

Осыпи широко распространены на Кедровском карьере и являются результатом интенсивного выветривания горных пород. Наибольшее развитие они получили на западном борту первого и восточном второго участков, где их высота достигает $\frac{1}{3}$ – $\frac{2}{3}$ высоты уступа и углы откосов составляют 89–15°. Интенсивность развития осыпей зависит от скорости процессов выветривания, применения буровзрывных работ на карьерах и горнотранспортного оборудования.

Обрушения на Кедровском карьере возникают довольно часто, а объем обрушивающихся масс колеблется от 0,4 до 3,4 тыс. м³. Основная причина – наличие ослабленных трещиноватых зон, проникновение поверхностных вод по трещинам и буровзрывные работы.

Оплывины имеют менее широкое распространение по сравнению с вышеописанными типами деформаций. В основном они приурочены к уступам, сложенным четвертичными или сильновыветрелыми пермскими породами. Обычно оплывины представляют собой скопление масс сильноувлажненных пород, стекают с уступов и нередко перекрывают полезную

площадь рабочих площадок, забоев, железнодорожные пути, автомобильные дороги, кабели высокого напряжения, затрудняя тем самым добычные работы. Основными причинами возникновения оплывин являются крутые углы откосов уступов ($30\text{--}49^\circ$), отсутствие отвода поверхностных вод, увлажнение продуктов выветривания подземными водами.

Латышевский карьер на период проведения инженерно-геологических исследований имел углы наклоны бортов $16\text{--}19^\circ$ при глубине $90\text{--}120$ м. Угол наклона восточного борта достигал на отдельных участках 40° . Общий угол наклона внутренних отвалов составлял $30\text{--}32^\circ$ при высоте $30\text{--}35$ м, а внешние отвалы имели высоту $20\text{--}30$ м при углах откоса $35\text{--}40^\circ$.

На Хорошеборском карьере проектная высота в скальных уступах $8\text{--}12$ м, углы откосов уступов $70\text{--}75^\circ$. Общая глубина Хорошеборского карьера летом 1968 г. достигла 58 м по северному борту и $25\text{--}32$ м по южному, а общие углы наклона оказались соответственно равными 19 и $20\text{--}30^\circ$. На Хорошеборском и Латышевском угольных карьерах были зафиксированы те же типы деформаций, что и на Кедровском карьере. Примером деформаций оползневой типа может служить оползень, возникший в июне 1968 г. на Латышевском участке, который был приурочен к светло-серым песчаникам и имел длину 120 м и ширину 30 м. Скольжение массива горных пород происходило по плоскости, приуроченной к зоне трещиноватости, расположенной под углом 65° . Общее смещение пород оказалось равным 30 м, вертикальное смещение – $3\text{--}4$ м. Оползни наблюдались нами и в рыхлых четвертичных породах Латышевского участка, основной причиной которых явилась дополнительная пригрузка бортов отвальными породами, а также увлажнение пород атмосферными осадками.

Моховским карьером ведется отработка каменных углей кольчугинской серии. Глубина карьера на первом участке составляет $31\text{--}36$ м, общий угол наклона борта изменяется от 17 до 60° . Высота отдельных уступов колеблется от 8 до $14,5$ м, а углы наклона равны $35\text{--}76^\circ$. Второй участок карьера отработан до $50,0\text{--}64,0$ м. При этом общий угол наклона изменяется от 34 до 51° . На третьем участке Моховского карьера отработка угольных пластов доведена до глубины $32,5\text{--}37,5$ м, общие углы наклона бортов довольно постоянны и составляют $48\text{--}50^\circ$. При данных параметрах Моховского карьера в его бортах наблюдались неблагоприятные инженерно-геологические явления. В 1969 г. на втором участке Моховского карьера в отвальных породах произошел оползень, увлекший за собой четвертичные и даже коренные породы. Ширина оползня составила 25 м, а длина 110 м. Аналогичный оползень произошел и на третьем участке Моховского карьера, где его длина составила 70 м и ширина 42 м. Главной причиной оползней на Моховском карьере является завышение углов наклона бортов и откосов уступов, дополнительная нагрузка их за счет складирования отвальных пород и увлажнение последних поверхностными водами. Кроме вышеописанных деформации бортов наблюдаются и на других карьерах Кузбасса. Так, крупный оползень произошел в мае 1973 г. на Бачатском угольном карьере, который перекрыл подъездные пути на въездную траншею. Длина оползня составила 360 м при ширине 125 м. Основной причиной оползня послужило смачивание горных пород в основании уступа и крутые углы откоса (до 75°). Следует подчеркнуть, что на Бачатском угольном карьере плохо организован дренаж поверхностных вод, в результате чего на дне карьера скапливается значительное количество воды. Кроме этого, наблюдается фильтрация воды из отстойника гидропульты, что сопровождается развитием суффозионных и оползневых процессов в четвертичных породах. Крупные оползни были зарегистрированы нами летом 1973 г. на Новосергиевском карьере. Главной причиной этих оползней является завышение угла наклона борта карьера, а также переувлажнение пород за счет подземных и поверхностных вод. На этом же карьере широко распространены осыпи, которые чаще всего возникают под воздействием буровзрывных работ. В меньшей степени деформированию подвержены откосы Сибергинского и Томусинского карьеров, что, очевидно, обусловлено, с одной стороны, незначительной глубиной от-

работки угольных пластов, с другой – самой высокой прочностью горных пород. В связи с отработкой угольных месторождений Кузбасса открытым способом обращает на себя внимание недостаточно хорошая организация работ по планировке и застройке территорий, на которых отработаны угольные пласты. Это нередко приводит к изменению физико-географической обстановки, развитию новых форм рельефа, нарушению природного равновесия, что сопровождается развитием неблагоприятных инженерно-геологических явлений. Учитывая значительный рост добычи угля в Кузбассе открытым способом, весьма важно уже в настоящее время разработать комплекс мероприятий по охране природы и благоустройству отработанных территорий.

4.3. Физико-механические свойства горных пород в бортах действующих карьеров

Большое значение при оценке устойчивости бортов карьеров имеет изучение физико-механических свойств пород в массиве. Такого рода исследования выполнены на Кедровском, Хорошеборском, Моховском, Бачатском и других угольных карьерах Кузбасса.

Особенностью строения массива пород Кедровского углеразреза является широкое развитие трещиноватости, пльчатости и внутрипластовых разрывов в породах балахонской серии, являющихся результатом тектонической деятельности и процессов выветривания. Исследования массива горных пород Кедровского карьера позволили установить 3 типа трещин: нормальносекущие, кососекущие и трещины напластования. Углы падения нормальносекущих трещин довольно крутые и составляют 70–80°, протяженность их различная: от нескольких сантиметров до 3–5 и более метров. Среди кососекущих следует отметить систему продольных трещин, падающих параллельно наслению. Элементы залегания данной системы трещин 270–335 и 100–135° при углах падения 15–45°. С трещинами этой системы связаны мелкие внутрипластовые разрывы типа согласных взбросов, зафиксированные по смещению прослоев песчаника.

Борта Кедровского карьера представлены четвертичными глинами и суглинками, а также песчаниками, алевролитами и каменными углями балахонской серии. Наряду с этим встречаются обожженные песчаники и алевролиты. Физико-механические свойства пород приведены в табл. 4.1.

Суглинки распространены в верхней части разреза и, как правило, слагают первый уступ Кедровского карьера. Под микроскопом они характеризуются высоким содержанием обломочных частиц размером 0,02–0,06 мм с примесью пелитового материала. Обломочные частицы представлены, главным образом, кварцем, встречается также карбонатное вещество в виде сгустков. По гранулометрическому составу суглинки относятся к тяжелым и средним разностям с высоким содержанием пылеватых частиц (42–72 %). Глинистая фракция составляет 24–29 %, песчаная не превышает 3,5 %.

Песчаники балахонской серии, распространенные в зоне выветривания, по составу обломочного материала относятся к полевошпатово-кварцевым. Цемент пород поровый или базальный, а по составу глинистый, глинисто-карбонатный, кремнисто-глинистый. Основная масса обломочного материала (10–50°) представлена кварцем с характерным волнистым угасанием. В подчиненном количестве содержатся полевые шпаты (10–20°). Последние часто почти полностью замещены кальцитом или серицитом. Иногда в породе встречаются редкие гидратированные чешуйки мусковита. Анализ результатов изучения физико-механических свойств песчаников показал, что их плотность изменяется от 1,89 до 2,32 г/см³, а по данным полевых исследований не превышает 2,17 г/см³. Пористость песчаников в последнем случае равна 25,27–40,28 %, а определенная в монолитных образцах составляет 15,18–34,81 %. Таким образом, физические свойства песчаников существенно изменяются при вскрытии их

карьерами. Однако наибольшие изменения происходят с прочностными показателями. По данным натурных исследований угол внутреннего трения песчаников зоны выветривания равен 31° , а сцепление, определенное по трещинам напластования, колеблется в пределах 0,001–0,006 МПа. Эти же показатели для монолитных образцов составляют соответственно 40° и 0,07–0,072 МПа.

Алевролиты зоны выветривания пользуются незначительным распространением. Они встречаются в виде линз и невыдержанных прослоев мощностью от нескольких сантиметров до 5–8 и более метров. В составе обломочной части алевролитов установлены кварц (до 60 %), полевые шпаты (до 20 %) и обломки кварцитов (до 20 %). Цемент алевролитов базальный и поровый смешанного состава. Первичный цемент гидрослюдисто-глинистый, в значительной степени переработан или пропитан более поздним карбонатным или железистым цементом. В отличие от песчаников в алевролитах не обнаружено кремнистого вещества в цементе. В породе присутствует органическое вещество, которое в разной степени пропитывает глинистую массу. Глинистая фракция алевролитов, по данным электронно-микроскопических исследований, представлена в основном гидрослюдой.

Прочность алевролитов оказалась ниже, чем у песчаников. Временное сопротивление сжатию этих пород изменяется от 2,36 до 2,92 МПа, а временное сопротивление растяжению – 0,08–0,45 МПа. Углы внутреннего трения колеблются крайне незначительно (31 – 29°), в то время как сцепление в куске оказалось почти в 100 раз выше, чем в массиве.

Угли зоны выветривания интенсивно трещиноватые, особенно в местах выхода под четвертичные отложения. Плотность углей изменяется в пределах 1,33–1,50 г/см³, а естественная плотность составляет 1,15–1,35 г/см³. Влажность углей, определенная в поле (3–4 %), незначительно отличается от лабораторных данных (3,01–5,80 %). В свою очередь, пористость колеблется от 8,44 до 16,05 % по результатам лабораторных исследований и от 13,67 до 16,56 % – по полевым данным. Проведенные полевые исследования сопротивлению сдвигу углей показали, что сцепление изменяется от 0,0014 до 0,005 МПа. Ввиду легкой разрушаемости монолитов угля определение сдвигов характеристик в лаборатории производилось лишь для образцов с нарушенной структурой. Угол внутреннего трения для углей равен 32 – 36° , а сцепление – 0,0012–0,0037 МПа.

Породы, не затронутые выветриванием, на Кедровском карьере залегают на глубине свыше 60 м.

Песчаники обычно мелко- и среднезернистые, серого цвета, слоистые. Слоистость обусловлена чередованием тонких прослоев алевролитового и детритового вещества. Песчаники субаркозовые полевошпатово-кварцевые с поровым или базальным цементом, преимущественно гидрослюдисто-глинистого состава. В некоторых образцах встречается кремнисто-карбонатный или глинисто-карбонатный цемент. Размер обломочных частиц колеблется от 0,05 до 0,5 мм, но преобладают частицы размером 0,1–0,3 мм, содержание которых составляет 70 %. Форма зерен изометрическая. Текстура породы беспорядочная. Состав обломочной части субаркозовый. Основные минералы: кварц (до 50 %), микрокварциты (до 20 %), полевые шпаты (до 25 %), замещенные в большинстве случаев серицитом. Объемная масса песчаников оказалась выше, чем у аналогичных пород зоны выветривания (табл. 4.1). В бортах карьера невыветрелые песчаники характеризуются низкой влажностью (0,71–1,68 %) и пористостью (10–15 %). Исследования прочностных характеристик показали, что временное сопротивление сжатию колеблется от 2,72 до 8,63 МПа, временное сопротивление растяжению – 0,27–0,88 МПа. Угол внутреннего трения пород равен 21 – 39° (средний – 34°), сцепление в куске – 0,6–1,72 МПа, в массиве не превышает 0,01–0,015 МПа.

Каменный уголь представлен пластом Волковским мощностью до 28 м. В углях нередко распространены прослои алевролитов, углистых аргиллитов, тонкозернистых песчаников.

Таблица 4.1

Физико-механические свойства горных пород Кедровского угольного карьера

Типы пород	Кол-во определений	По лабораторным данным					
		Плотность частиц, г/см ³	Плотность, г/см ³		Естественная влажность, %	Пористость, %	
			влажного грунта	сухого грунта			
1	2	3	4	5	6	7	
Глины	5	$\frac{2,71-2,76}{2,73}$	$\frac{1,71-1,93}{1,85}$	$\frac{1,34-1,56}{1,48}$	$\frac{18,50-27,30}{23,56}$	$\frac{43,22-50,53}{45,86}$	
Суглинки	13	$\frac{2,1-2,74}{2,73}$	$\frac{1,60-1,84}{1,71}$	$\frac{1,40-1,56}{1,47}$	$\frac{20,29-24,17}{21,12}$	$\frac{45,98-56,41}{46,84}$	
Песчаники выветрелые	13	$\frac{2,65-2,74}{2,70}$	$\frac{1,89-2,32}{2,15}$	$\frac{1,76-2,32}{2,09}$	$\frac{1,0-9,39}{3,13}$	$\frac{15,18-34,81}{22,34}$	
Алевриты выветрелые	14	$\frac{2,68-2,78}{2,72}$	$\frac{1,94-2,42}{2,18}$	$\frac{1,88-2,38}{2,12}$	$\frac{1,34-4,62}{2,67}$	$\frac{12,50-29,85}{21,87}$	
Угли выветрелые	5	$\frac{1,36-1,50}{1,40}$	$\frac{1,20-1,35}{1,26}$	$\frac{1,15-1,31}{1,20}$	$\frac{3,01-5,80}{3,98}$	$\frac{18,44-26,06}{23,29}$	
Песчаники неветрелые	5	$\frac{2,68-2,78}{2,71}$	$\frac{2,29-2,46}{2,38}$	$\frac{2,27-2,43}{2,35}$	$\frac{0,71-1,68}{1,31}$	$\frac{10,28-15,30}{13,46}$	
Угли, не затронутые выветриванием	6	$\frac{1,38-1,56}{1,43}$	$\frac{1,07-1,35}{1,31}$	$\frac{1,00-1,22}{1,16}$	$\frac{3,00-4,40}{3,48}$	$\frac{12,31-26,88}{18,48}$	
Обоженные породы	12	2,65	$\frac{1,38-1,92}{1,65}$	$\frac{1,24-1,74}{1,49}$	$\frac{10,9-11,0}{10,95}$	45,7	
Отвалы породы	10	$\frac{2,63-2,74}{2,69}$	$\frac{1,52-1,98}{1,83}$	$\frac{1,44-1,92}{1,69}$	$\frac{0,51-18,55}{5,37}$	$\frac{21,61-46,46}{28,94}$	

Продолжение табл. 4.1

Типы пород	По лабораторным данным				
	Коэффициент пористости	Степень влажности	Временное сопротивление сжатию, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Угол внутреннего трения, град
1	8	9	10	11	12
Глины	$\frac{0,763-1,00}{0,851}$	$\frac{0,62-0,84}{0,788}$	-	-	$\frac{14-20}{17}$
Суглинки	$\frac{0,750-0,928}{0,843}$	$\frac{0,51-0,76}{0,67}$	-	-	$\frac{17-25}{21}$
Песчаники выветрелые	$\frac{0,179-0,534}{295}$	$\frac{0,10-0,65}{0,437}$	$\frac{3,47-28,10}{18,56}$	$\frac{0,34-3,26}{1,75}$	$\frac{30-48}{40}$
Алевриты выветрелые	$\frac{0,143-0,425}{0,288}$	$\frac{0,11-0,48}{0,280}$	$\frac{2,92-23,60}{13,47}$	$\frac{0,82-4,55}{2,10}$	$\frac{25-39}{31}$
Угли выветрелые	$\frac{0,145-0,491}{0,267}$	$\frac{0,245-0,405}{0,335}$	-	-	-
Песчаники неветрелые	$\frac{0,118-0,481}{0,257}$	$\frac{0,11-0,68}{0,420}$	$\frac{27,20-36,30}{44,68}$	$\frac{2,74-8,82}{5,14}$	$\frac{31-39}{34}$
Угли, не загруженные выветриванием	$\frac{0,13-0,36}{0,230}$	$\frac{0,42-1,00}{0,600}$	-	-	-
Обоженные породы	0,88	0,44	-	-	-
Отвалыные породы	$\frac{0,276-0,864}{0,424}$	$\frac{0,1045-0,894}{0,625}$	-	-	-

Продолжение табл. 4.1

Типы пород	Кол-во определений	По лабораторным данным			По полевым данным			Естественная влажность, %
		Сцепление, МПа	Плотность частиц, г/см ³	влагого грунта	Плотность, г/см ³			
					сухого грунта	Естественная влажность, %		
I	13	14	15	16	17	18		
Глины	13	$\frac{0,01-0,03}{0,02}$	$\frac{2,72-2,78}{2,75}$	$\frac{2,03-2,06}{2,04}$	$\frac{1,59-1,67}{1,64}$	$\frac{22,7-27,6}{24,73}$		
Суглинки	14	$\frac{0,06-0,12}{0,05}$	$\frac{2,72-2,77}{2,74}$	$\frac{1,85-2,06}{1,91}$	$\frac{1,28-1,66}{1,52}$	$\frac{15,2-47,3}{22,93}$		
Песчаники выветрелые	34	$\frac{0,70-7,20}{4,38}$	$\frac{2,68-2,78}{2,71}$	$\frac{1,88-2,17}{2,01}$	$\frac{1,66-2,04}{1,84}$	$\frac{3,01-17,4}{7,81}$		
Алевриты выветрелые	4	$\frac{0,90-6,70}{3,13}$	$\frac{2,67-2,76}{2,73}$	$\frac{1,91-2,22}{2,0}$	$\frac{1,78-2,07}{1,91}$	$\frac{1,9-7,4}{447}$		
Угли выветрелые	14	$\frac{0,014-0,049}{0,026}$	$\frac{1,33-1,39}{1,355}$	$\frac{1,15-1,26}{1,19}$	$\frac{1,11-1,20}{1,14}$	$\frac{3,06-4,3}{3,80}$		
Песчаники неветрелые	-	-	-	-	-	-		
Угли, не загроуные выветриванием	6	-	$\frac{1,38-1,50}{1,4}$	$\frac{1,07-1,35}{1,31}$	$\frac{1,0-1,22}{1,16}$	$\frac{3,00-4,40}{3,48}$		
Обожженные породы	12	-	2,65	$\frac{1,38-1,92}{1,65}$	$\frac{1,24-1,74}{1,49}$	$\frac{10,9-11,0}{10,95}$		
Отвалыные породы	5		$\frac{2,32-2,72}{2,60}$	$\frac{1,43-1,87}{1,75}$	$\frac{1,27-1,68}{1,56}$	$\frac{8,9-14,4}{11,88}$		

Окончание табл. 4.1

Типы пород	По полевым данным					Угол внутреннего трения, град
	Пористость, %	Коэффициент пористости	Степень влажности	Сцепление, МПа		
1	19	20	21	22	23	
Глины	$\frac{38,97-42,39}{40,42}$	$\frac{0,638-0,735}{0,679}$	$\frac{0,95-1,03}{1,000}$	$\frac{0,10-0,14}{0,11}$	$\frac{17-18}{17}$	
Суглинки	$\frac{38,97-53,79}{44,17}$	$\frac{0,47-1,164}{0,768}$	$\frac{0,426-1,12}{0,855}$	$\frac{0,02-0,01}{0,08}$	$\frac{15-29}{20}$	
Песчаники выветрелые	$\frac{25,27-40,28}{32,28}$	$\frac{0,388-0,674}{0,448}$	$\frac{0,17-0,74}{0,46}$	$\frac{0,01-0,06}{0,029}$	-	
Алевриты выветрелые	$\frac{22,4-34,7}{29,87}$	$\frac{0,290-0,533}{0,400}$	$\frac{0,17-0,33}{0,25}$	$\frac{0,018-0,045}{0,036}$	-	
Угли выветрелые	$\frac{13,67-16,56}{15,52}$	$\frac{0,158-0,198}{0,183}$	$\frac{0,26-1,16}{0,51}$	$\frac{0,01-0,052}{0,036}$	-	
Песчаники неветрелые	-	-	-	-	-	
Угли, не затронутые выветриванием	$\frac{12,31-26,88}{18,48}$	$\frac{0,13-0,36}{0,23}$	$\frac{0,12-1,16}{0,30}$	$\frac{0,0026-0,042}{0,032}$	-	
Обожженные породы	45,7	0,88	0,44	$\frac{0,02-0,057}{0,04}$	-	
Отвалыные породы	$\frac{31,89-51,89}{39,414}$	$\frac{0,468-1,07}{0,672}$	$\frac{0,29-0,71}{0,492}$	$\frac{0,025-0,01}{0,047}$	$\frac{16-28}{23}$	

Плотность углей – 1,38–1,50 г/см³, естественная влажность – 3–4 %.

Обожженные породы в пределах Кедровского месторождения распространены на выходах пласта Волковского, реже Кемеровского под четвертичные отложения и представляют собой измененные в процессе самовозгорания угля песчаники и алевролиты. Внешне это брекчевидные породы. Минералогический состав полевошпатово-кварцевый. Зерна кварца и кварцитов составляют 60–65 %. Характерной особенностью горелых пород является их макропористость с признаками изменения вещества вдоль стенок пор. Плотность частиц пород – 2,65 г/см³, плотность – 1,38–1,92 г/см³. Угол внутреннего трения равен 35°, а сцепление – 0,004 МПа.

Отвальные породы представлены преимущественно песчаниками, в подчиненном количестве встречаются алевролиты, аргиллиты и уголь. Свойства отвальных пород изучены в полевых и лабораторных условиях. По данным лабораторных исследований плотность частиц равна 2,63–2,74 г/см³, плотность составляет 1,75–1,83 г/см³, влажность – 5–11 %, пористость – 28,94–39,41 %. Углы внутреннего трения и сцепления пород приведены в табл. 4.1.

В пределах Латышевского и Хорошеборского карьеров отчетливо выделяются три генетические группы трещиноватости: трещиноватость, образованная в процессе уплотнения осадков в ходе колебательных движений; трещиноватость, возникшая в ходе складкообразовательных движений при пластическом деформировании пород; трещиноватость, образованная в процессе выветривания пород.

К первой группе относятся обычно нормальносекущие трещины, а ко второй – кососекущие.

Литологический состав пород, слагающих борта Латышевского и Хорошеборского карьеров, аналогичен составу пород Кедровского месторождения. Наибольшим распространением здесь пользуются четвертичные суглинки, породы кемеровской и усятской подбит, представленные песчаниками, алевролитами и углями. Физико-механические свойства перечисленных типов пород приведены в табл. 4.2.

Суглинки по гранулометрическому составу относятся к тяжелым полевым разностям с содержанием пылеватых частиц 67,25–73,56 %, песчаных – 4,23–14,2 % и глинистых – 18,73–35,32 %. Плотность частиц суглинков колеблется от 2,70 до 2,74 г/см³, плотность составляет 1,74–2,00 г/см³. Пористость описываемых пород сравнительно невысокая – 33,0–48,70 %, средняя – 38,45 %, в то время как естественная влажность изменяется от 16,4 до 31,4 %. По данным полевых исследований угол внутреннего трения суглинков варьирует от 17 до 30°, сцепление – 0,006–0,0026 МПа. По данным лабораторных исследований сцепление составляет 0,0016–0,0025 МПа, угол внутреннего трения – 20–25°.

Глины пользуются незначительным распространением и в основном выявлены в пределах Латышевского карьера. По гранулометрическому составу они относятся к пылеватым грунтам со средним содержанием пылевой фракции 30,17 %. По данным электронно-микроскопических исследований глинистая фракция представлена каолинитом и гидрослюдой, реже встречается монтмориллонит.

Плотность глин изменяется в незначительных пределах, что характеризует однообразие литологического состава пород. Плотность варьирует от 1,84 до 1,97 г/см³, а пористость составляет 41,49–45 %. Естественная влажность колеблется от 22,77 до 27,80 % и близка к полной влагоемкости, что свидетельствует о полном насыщении пород водой. Глины в естественно-влажном состоянии не размокают, в воздушно-сухом размокают за 2–5 мин. Исследования сопротивления глин сдвигу проводились в полевых и лабораторных условиях. По данным натурных испытаний сцепление изменяется от 0,0012 до 0,0029 МПа, угол внутреннего трения – 14–20°, средний – 17°.

Песчаники Латышевского карьера светло-серого цвета, мелко- и крупнозернистые. Объемная масса этих пород изменяется в широких пределах (1,62–2,41 г/см³), пористость равна 17,5–26,1 %, а влажность составляет 4,2–13 %.

Таблица 4.2

Физико-механические свойства пород Латышевского и Хорошеборского участков

Типы пород	Участок	Плотность частиц, г/см ³	Плотность, г/см ³	Влажность, %	Пористость, %	По данным лабораторных испытаний		По данным полевых испытаний	
						φ, град	C, т/м ²	φ, град	C, т/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Суглинки	Латышевский и Хорошеборский	2,70–2,74	1,74–2,00	16,4–31,4	33,2–48,7	20–25	1,67–2,50	17–30	0,6–2,62
		2,71	1,90	23,4	38,45	23	2,10	21	1,39
Песчаники выветрелые	Латышевский	2,72–2,74	1,84–1,94	22,77–27,8	41,4–45,0	20–22	3,13–5,32	14–20	1,20–2,90
		2,72	1,94	25,21	43,01	21	4,19	17	2,05
Алевролиты выветрелые	Латышевский и Хорошеборский	2,68–2,74	1,62–2,41	4,2–13,0	1,5–26,1	31–48	15,0–133,8	–	1,07–3,64
		2,71	2,24	8,9	21,71	36	78	–	2,06
Уголь выветрелый	Латышевский и Хорошеборский	2,64–2,72	2,20–2,38	4,3–11,4	16,7–25,6	35–48	91–636,0	–	0,9–11,8
		2,69	2,28	7,32	19,47	38	399,0	–	4,03
Горелые породы	Латышевский и Хорошеборский	2,45–2,75	2,19–2,38	5,9–9,8	15,7–23,6	29	–	–	0,6–3,23
		2,66	2,32	6,66	19,75	–	–	–	3,88
Горелые породы	Латышевский и Хорошеборский	1,36–1,75	1,22–1,50	1,09–9,8	8,01–25,1	33	–	–	1,00–4,34
		2,41	1,32	6,32	15,58	–	–	–	1,82
Горелые породы	Латышевский и Хорошеборский	2,31–2,51	1,58–1,69	11,0–18,0	38,0–42–6	–	–	31°50'–34'	1,02–1,06
		2,41	1,63	14,5	40,5	–	–	33°	1,82
Горелые породы	Латышевский и Хорошеборский	2,70–2,73	2,08–2,31	6,2–16,5	20,3–31,7	–	–	34°15'–48°20'	1,0–2,59
		2,21	2,22	8–80	25,72	–	–	37°	1,67

По данным натурных испытаний сцепление песчаников Латышевского карьера колеблется в пределах 0,001–0,0036 МПа.

По лабораторным данным временное сопротивление сжатию и растяжению оказалось значительно ниже, чем у аналогичных пород Хорошеборского карьера и соответственно составляет 0,377 и 0,58 МПа, угол внутреннего трения в среднем равен 40°.

Песчаники Хорошеборского карьера среднезернистые, ожелезненные по трещинам, с массивной, иногда со слоистой текстурой. Обломочный материал представлен в основном кварцем, реже встречаются полевые шпаты. Цемент смешанного типа, прочность цементации песчаников Хорошеборского карьера значительно выше, чем у аналогичных пород Латышевского карьера.

Проведенные полевые испытания на сдвиг показали, что сцепление пород изменяется от 0,009 до 0,011 МПа, а углы внутреннего трения составляют 35–48°. Для них временное сопротивление сжатию, определенное по монолитным образцам, колеблется от 0,34 до 3,24 МПа, временное сопротивление разрыву – 0,03–0,34 МПа, сцепление – 0,39 МПа. Проведенные исследования показали, что в бортах карьеров сцепление снижается в 100 и более раз по сравнению с монолитными образцами, а коэффициент структурного ослабления составляет 0,01.

Алевролиты в основном распространены в пределах Хорошеборского карьера и частично на Латышевском. Это темно-серые до черных, мелкозернистые, ожелезненные по трещинам породы, плотность которых равна 2,19–2,38 г/см³, а пористость колеблется от 15,3 до 23,6 %. В процессе полевых испытаний на сдвиг установлено, что сцепление алевролитов не превышает 0,008 МПа при среднем угле внутреннего трения 29°.

Угли исследуемых участков обычно матовые, плотность частиц колеблется от 1,36 до 1,35 г/см³, а плотность равна 1,22–1,50 г/см³. Пористость углей невысокая и в среднем составляет 15,3 %. Согласно данным натурных испытаний сцепление изменяется от 0,1 до 0,434 МПа. Наиболее низкими прочностными показателями характеризуются угли в зонах смятия, где сцепление не превышает 0,0009 МПа.

Отвальные породы в пределах рассматриваемых карьеров представлены песчано-глинисто-углистой смесью, включающей песчаники, алевролиты, горелые породы, угли, суглинки и глины. Плотность частиц отвалных пород – 2,41 г/см³, плотность – 1,63 г/см³, пористость – 38,0–42,6 %, влажность отвалных пород – 11,0–18,0 %, сцепление – 0,001 МПа, углы внутреннего трения – 31–34°.

Горелые породы встречаются в местах выгорания пластов Кемеровского и Волковского карьеров и представляют обожженные в процессе подземных пожаров песчаники, алевролиты, иногда глины и суглинки. Цвет пород розовый до кирпично-красного. Плотность частиц горелых пород – 2,70–2,73 г/см³, естественная влажность колеблется от 6,2 до 16,5 %, сцепление горелых пород – 0,001–0,0025 МПа, угол внутреннего трения – 34–48°.

Моховский карьер расположен в центральной части Кузбасса и отрабатывает угли кольчугинской серии. Углевмещающими породами в данном случае служат песчаники и алевролиты, которые и слагают борта действующих карьеров.

Песчаники в массиве имеют плотность 2,12 г/см³, естественную влажность 8,62 %, сцепление 0,0061 МПа.

Алевролиты, как и песчаники, в массиве характеризуются низкими значениями прочностных показателей. Так, сцепление пород в бортах карьеров ниже, чем в куске, в 300 раз, а коэффициент структурного ослабления для алевролитов равен 0,003.

Выполненные в пределах угольных карьеров Кузбасса исследования позволили установить коэффициенты структурного ослабления пород (табл. 4.3), которые использовались при расчетах устойчивости бортов карьеров.

Таблица 4.3

Расчетные характеристики физико-механических свойств горных пород Кузбасса

Тип угольных месторождений	Расчетные характеристики	Породы, не затронутые выветриванием										Аргиллиты	Угли				
		Песчаники			Алевролиты			Угли									
		с глинистым цементом	с карбонатным цементом	с глинистым карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинистым карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с карбонатным цементом						
3	4	5	6	7	8	9	10										
1	2																
Отложения кольчугинской серии																	
II-a	R_b	2,34	2,38	2,36	2,40	2,38	2,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,24
	φ_b	39	36	42	32	31	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32
	C_p	7,92	14,86	15,15	6,18	10,97	15,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,63
II-б ₁	R_b	2,30	2,36	2,36	2,34	39	2,41	2,34	2,34	2,41	2,34	2,41	2,34	2,34	2,41	2,34	1,24
	φ_b	34	32	36	30	15,9	41	35	35	41	35	41	35	35	41	35	32
	C_p	19,4	15,2	21,2	9,21	2,53	24,0	7,43	7,43	24,0	7,43	24,0	7,43	7,43	24,0	7,43	4,63
IV-a ₁	R_b	2,39	2,39	2,43	2,45	34	2,56	2,43	2,43	34	2,56	2,43	2,43	2,43	34	2,43	1,28
	φ_b	30	39	38	33	12,8	34	35	35	12,8	34	35	35	35	12,8	35	35
	C_p	7,08	17,6	22,4	8,1	2,40	18,6	11,25	11,25	2,40	18,6	11,25	11,25	11,25	2,40	11,25	1,64
II-б ₂	R_b	2,32	2,33	2,36	2,36	36	2,40	2,34	2,34	36	2,40	2,34	2,34	2,34	36	2,34	1,24
	φ_b	39	41	40	33	16,15	38	36	36	16,15	38	36	36	36	16,15	36	32
	C_p	9,27	13,5	15,40	10,16	2,48	24,0	8,40	8,40	2,48	24,0	8,40	8,40	8,40	2,48	8,40	4,63
IV-a ₂	R_b	2,33	2,42	2,44	2,49	39	2,50	2,48	2,48	39	2,50	2,48	2,48	2,48	39	2,48	1,26
	φ_b	35	37	40	32	9,04	41	38	38	9,04	41	38	38	38	9,04	38	30
	C_p	10,8	12,6	22,6	6,28	2,43	13,0	7,15	7,15	2,43	13,0	7,15	7,15	7,15	2,43	7,15	6,83
V-a	R_b	2,48	2,48	2,49	2,47	36	2,48	—	—	36	2,48	—	—	—	36	—	—
	φ_b	40	38	35	39	15,42	38	—	—	15,42	38	—	—	—	38	—	—
	C_p	11,43	19,3	20,5	10,55	—	26,47	—	—	—	26,47	—	—	—	—	—	—
Отложения балахонской серии																	
III-a	R_b	2,41	2,5	2,52	2,45	2,46	2,48	2,32	2,32	2,46	2,48	2,32	2,32	2,32	2,46	2,48	1,24
	φ_b	41	38	39	35	34	38	36	36	34	38	36	36	36	34	38	34
	C_p	6,4	16,0	24,0	6,60	14,82	17,00	16,30	16,30	6,60	14,82	17,00	16,30	16,30	6,60	14,82	10,2
I-a	R_b	2,46	2,46	2,48	2,43	2,44	2,46	—	—	2,44	2,46	—	—	—	2,46	—	1,27
	φ_b	41	42	39	35	38	—	—	38	—	—	—	—	—	—	—	—
	C_p	9,98	18,28	26,0	8,68	17,82	19,70	—	—	8,68	17,82	19,70	—	—	8,68	17,82	3,75
V-a	R_b	2,5	2,48	2,49	2,49	2,50	2,49	—	—	2,50	2,49	—	—	—	2,49	—	1,31
	φ_b	36	34	35	37	34	33	—	—	34	33	—	—	—	33	—	33
	C_p	12,5	14,8	24,0	8,58	28,7	21,75	—	—	8,58	28,7	21,75	—	—	8,58	21,75	3,20

Продолжение табл. 4.3

Тип угольных месторождений	Расчетные характеристики	Породы, затронутые выветриванием										Четвертичные отложения	
		Песчаники			Алевролиты			Аргиллиты	Угли	17	18	19	20
		с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом						
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		Отложения колытугинской серии											
II-a	P _b	2,19	2,23	2,28	2,22	2,19	2,26	—	1,24	1,97	1,99		
	Ф _b	34	36	39	32	33	34	—	27	19	19		
	C _b	4,98	4,89	10,71	2,77	5,94	8,20	—	2,48	3,38	4,10		
II-б ₁	P _b	2,23	—	—	2,28	—	2,33	2,24	1,24	1,99	1,95		
	Ф _b	34	—	—	33	—	39	32	27	11	15		
	C _b	6,05	—	—	5,94	—	12,0	2,52	2,43	4,81	2,11		
IV-a ₁	P _b	2,45	2,49	2,52	2,36	2,46	2,49	2,11	1,28	2,02	1,97		
	Ф _b	31	35	35	29	38	39	21	33	19	19		
	C _b	4,08	7,6	10,2	4,62	7,4	8,8	2,20	1,06	3,22	1,36		
II-б ₂	P _b	2,27	2,35	2,41	2,16	2,30	2,39	36	1,33	21,1	1,99		
	Ф _b	35	40	40	33	32	34	5,7	31	16,30	18		
	C _b	7,7	10,4	15,4	7,6	10,2	15,2	2,45	3,37	4,25	3,70		
IV-a ₂	P _b	2,40	—	—	2,40	2,42	2,47	35	1,23	1,94	2,03		
	Ф _b	35	—	—	33	33	36	5,85	28	9	11		
	C _b	5,90	—	—	5,6	5,6	5,25	—	7,50	4,04	4,16		
V-a	P _b	2,51	2,50	2,50	2,56	—	2,56	—	—	—	—		
	Ф _b	33	39	35	32	—	35	—	—	—	—		
	C _b	7,36	21,1	26,9	8,06	—	18,7	—	—	—	—		
		Отложения балахонской серии											
III-a	P _b	2,40	2,45	2,49	2,36	2,35	—	—	1,22	2,08	1,98		
	Ф _b	31	40	41	31	40	—	—	30	33	24		
	C _b	4,00	7,40	14,40	4,05	7,32	—	—	1,22	4,90	2,90		
I-a	P _b	2,38	2,46	2,45	2,39	2,39	—	—	—	—	—		
	Ф _b	35	42	42	34	40	—	—	—	—	—		
	C _b	4,30	7,40	16,20	6,06	10,20	—	—	—	—	—		

Окончание табл. 4.3

Тип угольных месторождений	Расчетные характеристики	Породы, затронутые выветриванием						Четвертичные отложения				
		Песчаники			Алевролиты			Угли	Глины	Суглинки		
		с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом	с глинистым цементом	с глинисто-карбонатным цементом	с карбонатным цементом					
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
V-a	ρ_b	2,45	–	2,50	2,51	2,56	–	–	–	–	–	1,99
	ϕ_b	38	–	39	37	38	–	–	–	–	–	15
	C_b	9,2	–	16,0	6,0	11,9	–	–	–	–	–	2,11

Примечание. В таблице приведены расчетные значения плотности ρ_b ($г/см^3$), угла внутреннего трения ϕ_b , град, и удельного сцепления C_b $кгс/см^2$. Расчетные значения сцепления даны с учетом коэффициента структурного ослабления 2.34.

4.4. Оценка устойчивости бортов карьеров Кузбасса

4.4.1. Анализ существующих методов оценки устойчивости склонов и бортов карьеров

Анализ существующих методов оценки устойчивости откосов и бортов карьеров показал, что данному вопросу посвящены многочисленные теоретические и прикладные исследования российских и зарубежных авторов [20, 30, 31, 38]. Разработанные методы оценки устойчивости откосов отличаются как по строгости математического обоснования, так и по граничным условиям изменения. Все существующие методы оценки устойчивости бортов карьеров делятся на две группы: расчетные методы и методы моделирования.

В свою очередь расчетные методы делятся на аналитические, графические и графоаналитические. Перечисленными методами расчеты могут вестись как с учетом, так и без учета напряженного состояния. Причем в одних случаях учитываются поверхности скольжения, в других расчеты выполняются без определения поверхности скольжения. Наряду с отмеченными методами авторы рассматриваемой классификации выделяют еще две группы:

- 1) методы, основанные на представлении массива горных пород как однородной, изотропной среды;
- 2) методы, учитывающие анизотропию механических свойств и структуру массивов горных пород.

Анализ существующих методов расчетов устойчивости бортов позволил объединить их в четыре группы:

- 1) методы предельного напряженного состояния;
- 2) методы, учитывающие наличие поверхностей скольжения;
- 3) методы, учитывающие структурные ослабления массива и анизотропию его механических свойств;
- 4) упрощенные схемы расчета устойчивости откосов.

В свою очередь первая группа методов делится на две подгруппы:

- а) методы, основанные на представлении о массиве горных пород как однородной изотропной среде;
- б) способы, учитывающие неоднородность строения массива горных пород и анизотропию их физико-механических свойств.

Вторая группа методов также включает две подгруппы:

- а) методы расчета, основанные на принятии плоской поверхности скольжения;
- б) методы расчета, основанные на принятии круглоцилиндрической поверхности скольжения.

Третья и четвертая группы методов нами на подгруппы не делятся. Ниже дается характеристика перечисленных методов устойчивости откосов в соответствии с принятой классификацией.

В первую группу входят методы В.В. Соколовского, С.С. Голушкевича.

Сущность метода В.В. Соколовского заключается в решении системы дифференциальных уравнений равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0;$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \gamma$$

совместно с условием предельного равновесия. В связи с тем, что решение этой системы непосредственным интегрированием трудоемко, применяется численное решение в безразмерных переменных

$$x^1 = \frac{x}{l}; y^1 = \frac{y}{l}; \sigma^1 = \frac{\sigma}{\gamma l}.$$

Совместное решение этих систем позволило В.В. Соколовскому получить дифференциальные уравнения кривых скольжения, что дает возможность осуществлять последовательное определение координат точек поверхности скольжения и построить поверхность скольжения. Достоинствами данного метода являются довольно строгое математическое обоснование и высокая точность расчетов. Однако этот метод, по мнению Г.Л. Фисенко [37], имеет и свои недостатки. Он трудноприменим в случае расчетов устойчивости бортов, сложенных слоистой толщей, а получаемый равноустойчивый вогнутый профиль приводит к «значительному увеличению объема вскрыши в сравнении с откосами выпуклого профиля и плоскими». Кроме этого, вследствие выполаживания вертикального откоса при разработке месторождений карьерами снижается та точность, которая достигается при расчетах по методу В.В. Соколовского. И наконец, громоздкость вычислений затрудняет его применение для практических целей. Метод С.С. Голушкевича, в отличие от вышерассмотренного, является графическим и позволяет определить поверхность предельного напряженного состояния с помощью логарифмического лекала, криволинейная часть которого определяется уравнением [6]

$$r = A \cdot 1^{-2\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

где A – главный размер лекала, равный 35–40 см; ε – величина угла между смежными радиусами, выходящими из полюса; α – угол внутреннего трения данной породы.

Исследования, выполненные С.С. Голушкевичем, показали, что влияние объемных сил на форму кривой скольжения в области предельного напряженного состояния незначительно. Направление поверхностей скольжения в области максимальных напряжений определяется исходя из свойств предельного круга напряжений, а методика выполнения построений изложена в работе С.С. Голушкевича. К данной группе относятся также способы Н.И. Голованова и А.М. Сенкова, которые учитывают неоднородность строения массива горных пород и анизотропию их физико-механических свойств.

Способ Н.И. Голованова основан на представлении, что равнопрочный свободный откос в связных породах состоит из трех характерных участков: верхнего вертикального, среднего криволинейного и нижнего плоского, наклоненного под углом α к горизонту. Расчет выполняется по следующей схеме: массив горных пород разбивается на ряд слоев, в пределах которых прочностные характеристики изменяются незначительно. Расчетные характеристики φ и C для каждого слоя устанавливаются при бытовой нагрузке. Далее определяется высота вертикальной части откоса по формуле

$$h_0 = \frac{2C \cos \varphi}{\gamma(1 - \sin \varphi)},$$

где φ – угол внутреннего трения пород, град; C – сцепление пород, т/м²; γ – объемная масса пород, т/м³.

Вычисляются средневзвешенные значения объемных масс выделенных слоев с учетом вышележащей толщи. Затем для каждого слоя определяется поверхность равнопрочного откоса, что осуществляется с использованием графика Н.И. Голованова с серией кривых, удовлетворяющих условиям предельного равновесия откосов при различных значениях φ , но при

постоянных значениях γ и C , равных единице. Задаются различные значения ординат, определяется абсцисса при заданных значениях расчетного угла внутреннего трения, и производится перерасчет координат на реальные условия. После этого вычерчиваются контуры откосов отдельных слоев, а также поверхность равнопрочного откоса для всего массива. Преимуществом данного метода являются простота и возможность применения его как для однородного, так и для многослойного массива.

Расчет по методу многослойного откоса можно также вести с использованием таблиц и графиков И.С. Мухина и А.И. Сраговича [17] в такой последовательности: весь массив пород, слагающих борта по высоте, делится на слои, в пределах которых можно считать, что прочностные характеристики не изменяются. Затем определяются расчетные характеристики для каждого выделенного слоя.

Построение откоса осуществляется для каждого слоя, начиная от нижнего основания откоса, по методике, подробно изложенной в работе [17]. С этой целью проводят координатные оси x и y так, чтобы вертикальная ось x проходила через точку основания откоса. Далее находят безразмерные координаты y_1 и x_1 . В результате выполненных расчетов и построений получают поверхность равнопрочного откоса с заданным коэффициентом запаса устойчивости.

По способу А.М. Сенкова, как и в предыдущем случае, весь массив пород делится на слои, в пределах которых механические характеристики меняются незначительно. Для каждого выделенного слоя определяют обобщенные и расчетные значения объемной массы, угла внутреннего трения и сцепления.

Задаются значениями ординат (y) и вычисляют соответствующие значения абсциссы по формуле

$$x = -\xi a - y \operatorname{tg} \varphi,$$

где

$$a = \frac{2C(1 + \sin \varphi)}{\gamma(1 - \sin \varphi)}; \quad \xi = \frac{h}{2} - \frac{1}{1^m}; \quad m = \frac{y}{a}.$$

Величины ξ и m можно определить графически [32]. После определения координат строят контур устойчивого откоса. Проверку расчетной высоты на устойчивость ведут по формуле

$$h_1 \leq 2C \cdot \cos \varphi / \gamma(1 - \sin \varphi).$$

Если h_1 получится меньше или равно фактической мощности слоя, то полученный путем расчета откос будет устойчивым.

Вторую группу составляют методы, учитывающие наличие поверхностей скольжения. В данной группе выделяются:

- а) методы расчета, основанные на принятии плоской поверхности скольжения;
- б) методы расчета, основанные на принятии плоской круглоцилиндрической поверхности скольжения.

К первой подгруппе относятся методы П.М. Цимбаревича, Н.М. Орнатского, Хеннеса, ко второй подгруппе – методы Филлениуса, Н.П. Пузыревского, П.И. Кожевникова, Н.М. Маслова, полуграфический метод Г.Л. Фисенко и др.

По методу П.М. Цимбаревича, согласно расчетной схеме, поверхность скольжения является плоской, а уравнение равновесия имеет следующий вид:

$$Q \cdot \sin \theta = C(AS) + Q \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где Q – вес призмы обрушения; C – сцепление пород; φ – угол внутреннего трения; θ – угол наклона поверхности скольжения. Предельная высота откоса в данном случае вычисляется по известной формуле

$$H = \frac{2C \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\gamma \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}}$$

Свой метод П.М. Цимбаревич рекомендует как для однородной, так и для слоистой среды.

В методе Н.В. Орнатского поверхность скольжения для невысоких откосов принимается плоской, а выведенная им формула имеет тот же вид, что и формула П.М. Цимбаревича:

$$H = \frac{2C \sin W \cdot \cos \varphi}{\gamma \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}},$$

где H – предельная высота откоса; C – сцепление пород; γ – объемная масса; φ – угол внутреннего трения; W – угол наклона поверхности скольжения. Н.В. Орнатский рекомендует производить расчет по частям, в результате чего откос криволинейного очертания получается круче, чем по методу П.М. Цимбаревича.

Метод Н.П. Пузыревского заключается в определении поверхности скольжения на основании выведенного им уравнения кривой скольжения

$$r = \frac{1 + \sin \varphi}{1 + \sin(\omega - \varphi)},$$

где r – радиус-вектор кривой скольжения, проведенный из начала координат к некоторой точке t , находящейся на подошве фундамента; φ – угол внутреннего трения пород; ω – угол наклона радиуса вектора к горизонтали 180° .

Кривую скольжения можно получить, подставляя в вышеприведенное уравнение угол внутреннего трения пород и различные значения ω .

К рассматриваемой группе относятся метод площадей Н.Н. Маслова, способ Н.П. Кожевникова, полуграфический метод Г.Л. Фисенко [32].

Третью группу составляют расчетные схемы ВНИМИ, метод Л.Н. Бернацкого, способы Ю.Н. Малюшицкого, Л.В. Савкова. В отличие от вышеописанных методы рассматриваемой группы наиболее полно учитывают структурные особенности массива горных пород, а также анизотропию их физико-механических свойств.

Метод Л.Н. Бернацкого заключается в том, что рассматривается равновесие призмы упора и призмы активного давления, для чего используется формула

$$P_1 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' - \beta) \geq P_2 \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi' / 2) - 2C \cdot S \cdot \sin(45^\circ - \varphi' / 2),$$

где P_1 и P_2 – веса призм; C – сцепление; φ' – угол внутреннего трения; S' – длина поверхности обрушения.

Способ Ю.Н. Малюшицкого представляет собой видоизмененный метод Л.Н. Бернацкого и рекомендован для расчета предельного угла откоса бортов и уступов, содержащих в своем разрезе ослабленные контакты песчаных и глинистых пород с резко пониженной сопротивляемостью сдвигу. Метод Ю.Н. Малюшицкого, как отмечает Г.Л. Фисенко, «нельзя использовать при расчетах глубоких карьеров, в то время как для карьеров глубиной 50–60 м получают вполне удовлетворительные результаты» [37].

Метод многоугольника, по мнению Г.Л. Фисенко, следует применять в тех случаях, когда в массиве пород имеется ряд поверхностей ослабления, по которым сопротивление сдвигу значительно меньше, чем по другим направлениям. В этом случае поверхность скольжения может частично или полностью проходить по ослабленным контактам и иметь вид ломаной линии. Расчет устойчивости откоса производится по условию предельного равновесия методом многоугольника сил, который строится для каждого блока породы с учетом реакций со стороны смежных блоков.

Как отмечает Г.Л. Фисенко, точность расчета методом многоугольника сил зависит от расположения границ между смежными блоками и от направления реакции между ними. Чаще всего границы между блоками принимаются вертикальными, а реакции между ними – горизонтальными, погрешности расчета при этом незначительны. Анализ методов расчета устойчивости откосов показал, что значительный вклад в их усовершенствование и разработку внесли ученые ВНИМИ под руководством Г.Л. Фисенко. Подробная характеристика расчетных схем ВНИМИ приводится в работе Г.Л. Фисенко, поэтому отпадает необходимость в их детальном рассмотрении. Отметим лишь, что схемы применяются для определения предельной высоты вертикального откоса.

По схеме III расчет предельной высоты устойчивого откоса ведется с использованием формулы

$$H = \frac{C' \cdot \cos \varphi'}{\gamma \cdot \cos \beta \cdot \sin(\beta - \varphi')(1 - \sqrt{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \beta})},$$

где C – сцепление по поверхности ослабления; φ – угол внутреннего трения по поверхности ослабления; γ – объемная масса пород; β – угол падения слоев или поверхностей ослабления; α – угол наклона борта; H – высота борта.

Схема IV применяется в случае наличия падающих в сторону выемки под углом $\beta > \varphi'$ слоев пород, которые не подрезаются горной выработкой. Условие предельного равновесия в данном случае описывается выражением

$$a H \gamma (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \psi') = a \sin \alpha \cdot 2C \cdot \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi/2),$$

где a – площадь призмы активного давления; $2C \cdot \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi/2)$ – временное сопротивление сжатию пород.

Решение выражения относительно H позволяет получить эту величину:

$$H = 2C/\gamma \cdot \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi/2) (1/1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \psi')$$

$$\text{или } H = H_{90} (1/1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \psi').$$

В случае отсутствия поверхностей ослабления Г.Л. Фисенко рекомендует применять V схему, согласно которой поверхность скольжения принимается круглоцилиндрической. При заданных значениях объемного веса, угла внутреннего трения и сцепления по графику ориентировочно для заданной глубины определяется угол наклона. Затем осуществляется построение расчетной поверхности скольжения по методике, описанной в работе Г.Л. Фисенко. Участок откоса, ограниченный линией откоса и поверхностью скольжения, разбивается на ряд элементарных полос. Вес полученных элементарных блоков раскладывается на касательные и нормальные составляющие. Зная длину расчетной поверхности скольжения, можно произвести сравнение сил, удерживающих откос и сдвигающих его. Расчет выполняется не менее трех раз, что позволяет определить угол наклона борта в предельно-напряженном состоянии.

Схема VI применяется для тех же геологических условий, что и схема V, с той лишь разницей, что борт строится выпуклой формы.

Схема VII используется для расчета устойчивости откосов, в основании которых залегают более слабые породы, чем вышележащие. При расчетах устойчивости по VII схеме используются показатели общего сопротивления сдвигу. Поверхность скольжения в верхней части наклонена под углом $(45^\circ + \varphi/2)$, а в нижней выходит в подошву откосов под углом $(45^\circ - \varphi/2)$ на некотором расстоянии от его нижней точки. С целью оценки сил, удерживающих и сдвигающих откос, производится их алгебраическое сложение – графически или в табличной форме.

Среди всех расчетных схем ВНИМИ наибольший интерес применительно к инженерно-геологическим условиям Кузнецкого бассейна представляют VIII, IX и X схемы, учитывающие в наибольшей степени наличие поверхностей ослабления.

Согласно схеме VIII расчет выполняется методом многоугольника сил при наличии нескольких неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления. Схема IX применяется в случае горизонтального залегания слоев, а также при падении слоев под пологими углами в сторону выемки или в сторону массива. Одним из условий применения данного метода является то, чтобы угол между поверхностью откоса и наслоением составлял не менее $(90^\circ - \varphi)$, где φ – угол сдвига по контактам слоев. X расчетная схема ВНИМИ применяется при крутопадающих в сторону выемки поверхностях ослабления, а XI – в случае залегания пород в форме синклиналиальных складок. Достоинством расчетных схем ВНИМИ является то, что многие из них учитывают структурные особенности массива и анизотропию физико-механических свойств горных пород, что наряду с простотой расчетов позволяет рекомендовать их для более широкого применения при оценке устойчивости откосов.

Способ Л.В. Савкова разработан с учетом наличия поверхностей ослабления в массиве горных пород [30]. Причем расчетные формулы для определения высоты борта карьера выведены для двух случаев. В первом случае угол наклона борта (α) равен углу наклона одной из систем плоскостей ослабления (β). Предельная высота карьера определяется по формуле

$$H = A + \sqrt{(H_0 - A_2) + H_0 B},$$

где

$$A = \frac{C \cdot \cos \varphi'}{\gamma \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \varphi'_T) \cdot \cos(\beta - \delta - \varphi')};$$

$$B = \frac{2 \cdot \cos \varphi'_T \cdot \sin \delta - C'_T}{\gamma \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \varphi'_T)},$$

где $H_0 = A - B/2$; C – расчетное значение сцепления горных пород, определенное по поверхностям ослабления, падающим под углом δ ; φ' – расчетное значение угла внутреннего трения пород, определенного по поверхностям ослабления, падающим под углом δ ; γ – расчетное значение объемного веса, т/м³; C'_T – расчетное значение сцепления горных пород, определенное по поверхностям ослабления, падающим под углом β ; φ'_T – расчетное значение угла внутреннего трения, определенное по поверхностям ослабления, падающим под углом β .

Ширина возможной зоны обрушения определяется по формуле

$$r = \frac{(H - H_0) \cdot \sin(\beta - \delta)}{\sin \beta \cdot \sin \delta}.$$

По схеме II расчет выполняется в том случае, когда угол наклона борта не равен углу наклона одной из плоскостей ослабления ($\beta > \alpha > \delta$). В данном случае расчет предельной высоты устойчивого борта карьера ведется по формуле

$$H_1 = A + \sqrt{A^2 + H_0(H_0B + 1 - 2A)},$$

$$\text{где } A = \frac{C \cdot \cos \varphi \cdot \cos \varphi'_T}{\gamma(\text{ctg} \delta - \text{ctg} \alpha) \cdot \sin(\beta - \varphi'_T) \cos(\beta - \delta + \varphi') \sin \delta}; \quad B = \frac{\sin(\beta - \delta) \sin \alpha}{\sin(\alpha - \delta) \sin \beta};$$

$$f = \frac{2C'_T \cdot \cos \varphi_T}{\gamma(\text{ctg} \delta - \text{ctg} \alpha) \cdot \sin(\beta - \varphi'_T) \sin \beta}; \quad H_0 = \frac{2A - f}{2B}; \quad \varphi' \text{ и } C' - \text{расчетные значения угла внутрен-$$

него трения и сцепление пород по системе трещин, падающих под углом δ ; φ'_T и C'_T – расчетные значения угла внутреннего трения и сцепления пород по системе трещин, падающих под углом β ; α – угол наклона борта.

4.4.2. Обоснование методов расчета устойчивости бортов карьеров применительно к инженерно-геологическим условиям Кузбасса

Применение тех или иных расчетных схем при оценке устойчивости бортов карьеров Кузбасса обусловлено особенностями инженерно-геологического строения региона.

Для Присалаирской зоны линейной складчатости (подзона интенсивной линейной складчатости), характеризующейся довольно сложным тектоническим строением, наличием различных типов тектонических нарушений, повышенной трещиноватостью пород и крутым их падением, наиболее подходящим следует считать метод многоугольника сил, IV, VIII, X схемы ВНИМИ и способ Л.В. Савкова. Перечисленные методы в наибольшей степени отражают особенности инженерно-геологического строения угольных месторождений, распространенных в Присалаирской зоне.

В подзоне пологой линейной складчатости тектоническая напряженность заметно уменьшается. Брахисинклинальные складки, как правило, асимметричны с крутым западным (до $45-70^\circ$) и пологим восточным крыльями. В западной части подзоны в бортах карьеров, кроме угленосных отложений кольчугинской серии, окажутся сильнообводненные и слаболитифицированные породы юры, в значительной мере осложняющие разработку месторождений карьерами. Рекомендуются использовать для рассматриваемой подзоны методы многослойного откоса, способ А.М. Сенкова, V и IX схемы ВНИМИ, а также способ Л.В. Савкова.

Приколывань-Томская зона линейной складчатости и разрывов характеризуется довольно сложным тектоническим строением. Горные породы собраны в брахисинклинальные складки с углами падения крыльев $70-90^\circ$. В бортах карьеров окажутся преимущественно отложения балахонской серии, которые в зонах тектонических разломов интенсивно нарушены и характеризуются низкой прочностью. Для месторождений этой зоны при оценке устойчивости бортов могут быть использованы VIII и X схемы ВНИМИ, а также способ Л.В. Савкова. Последний следует применять в случае наличия поверхностей ослабления.

Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий существенно отличается от зон линейной складчатости более слабой дислоцированностью осадков и разнообразной ориентировкой осей складок. Весьма характерным является резко выраженное асимметричное строение складок. В отдельных случаях падение крыльев складок достигает $70-80^\circ$, хотя чаще всего составляет $25-30^\circ$. В бортах карьеров описываемой зоны окажется многослойная толща, представленная угленосными отложениями кольчугинской серии и породами четвертичного возраста. Отмеченные особенности строения описываемой зоны позволяют в каче-

стве расчетных рекомендовать метод многослойного откоса, способ А.М. Сенкова, V, VIII, IX схемы ВНИМИ.

Пригорношорская и Прикузнецко-Алатауская зоны моноклиналей являются самыми простыми в тектоническом отношении и характеризуются преимущественно моноклиналильным залеганием пород под углами 5–20° с падением от краевых частей к центру бассейна. В пределах отмеченной зоны отложения представлены породами балахонской и частично кольчугинской серий. С учетом особенностей инженерно-геологического строения угольных месторождений рассматриваемой зоны для оценки устойчивости бортов в наибольшей степени подходит метод многослойного откоса, V и IV схемы ВНИМИ. Оценка устойчивости бортов карьеров Кузбасса осуществлялась с использованием рекомендованных для различных инженерно-геологических зон методов и с применением ЭВМ БЭСМ-4.

4.4.3. Выбор расчетных показателей физико-механических свойств горных пород

Выбор расчетных показателей физико-механических свойств горных пород является важным завершающим этапом инженерно-геологических исследований, без чего невозможно осуществлять оценку устойчивости оснований сооружений. Поэтому не случайным является тот факт, что разработке научных основ методики выбора расчетных показателей уделяется большое внимание. Предлагаемые различными авторами методы определения расчетных показателей отличаются как по строгости математического обоснования, так и по точности расчетов. Среди них наиболее точным и математически обоснованным является метод гарантированных значений, используемый в инженерно-геологической практике в варианте И.С. Комарова [12]. Подробный анализ существующих методов выбора расчетных показателей дается в работе Н.В. Коломенского [11], который рекомендует учитывать следующие факторы при выборе расчетных показателей: класс капитальности сооружения, а также инженерно-геологические условия возведения и работу сооружения. Особенно большое значение приобретает рассматриваемый вопрос при оценке устойчивости бортов крупных карьеров. Даже незначительные ошибки при определении расчетных показателей могут привести в данном случае к весьма опасным последствиям, развитию крупных деформаций в бортах карьеров. Следует отметить, что при оценке устойчивости бортов карьеров нет единой методики определения расчетных показателей. Одни авторы рекомендуют брать средневзвешенные значения, другие, используя средние значения [36], предлагают учитывать при расчетах величину сцепления в массиве и вводить в прочностные показатели, полученные по отдельным образцам, коэффициент структурного ослабления. Углы внутреннего трения рекомендуется принимать по данным лабораторных испытаний на срез или по табличным данным. При наличии поверхностей ослабления учитываются углы внутреннего трения и сцепления по ослабленным контактам.

При определении расчетных показателей физико-механических свойств с целью оценки устойчивости бортов карьеров следует исходить из того, что генеральный угол наклона борта зависит:

- 1) от факторного коэффициента, учитывающего технологические особенности разработки месторождения открытым способом (производство буровзрывных работ на карьерах, увлажнение пород при гидромониторном способе обработки, работа горнотранспортного оборудования, переувлажнение пород в периоды ливневых дождей и т. д.). Этот коэффициент чаще всего принимается по аналогии;

- 2) геологической структуры месторождения, условий залегания пород, мощности выделенных инженерно-геологических слоев, наличия поверхностей ослабления и физико-механических свойств пород.

Предварительно производилось расчленение массива горных пород на инженерно-геологические тела с использованием многочисленных данных о составе, текстурно-структурных особенностях и физико-механических свойствах пород с учетом стадий их катагенетических преобразований. Для каждого выделенного инженерно-геологического тела (элемента) выяснялись закономерности пространственной изменчивости свойств пород с глубиной. В случае наличия стационарного режима изменчивости по глубине осуществлялось обобщение физико-механических свойств для выделенных тел. Если же физико-механические свойства подчинялись нестационарному режиму изменчивости, производилось разбиение массива горных пород на отдельные инженерно-геологические тела, в пределах которых объемная масса, угол внутреннего трения и сцепление подчинялись стационарному режиму изменчивости.

Таким образом, выяснение закономерностей пространственной изменчивости является одним из основных условий, которое необходимо выполнить, чтобы произвести выбор расчетных показателей. В дальнейшем осуществлялась статистическая обработка частных значений показателей с обязательной проверкой характера и установлением закона распределения, а также определением основных статистических параметров. В качестве расчетного значения удельного веса при оценке устойчивости бортов карьеров использовалось ее среднее значение. Последнее обусловлено тем, что в процессе разработки месторождений открытым способом изменение объемной массы, как показали наши исследования, часто не превышает точности определения этого показателя.

Совсем другое дело обстоит с прочностными показателями, особенно сцеплением, которое в процессе разработки месторождений и в результате воздействия многообразия естественных и искусственных факторов изменяется весьма существенно. В нашем случае показатели сопротивления сдвигу на образцах полускальных и скальных пород определялись по номограммам, построенным на основании решения известного уравнения М.М. Протоdjякова [27]. При определении этих показателей учитывалась величина возможного снижения бытовых нагрузок в период строительства и эксплуатации карьеров. В качестве расчетных показателей угла внутреннего трения принимались нижняя доверительная граница выборочного среднего при доверительной вероятности, равной 0,95. Выбор доверительной вероятности при определении расчетных показателей осуществлялся исходя из рекомендаций Н.В. Коломенского [11], а также с учетом стадии исследований и капитальности сооружений. В значения показателей сцепления вводится, кроме этого, величина коэффициента структурного ослабления, который определялся нами для карьеров Кузбасса в процессе натуральных испытаний. Следует отметить, что расчетные показатели физико-механических свойств вычислялись для всех инженерно-геологических разновидностей горных пород Кузбасса с учетом стадий их катагенетических преобразований и принадлежности к тем или иным инженерно-геологическим зонам бассейна и типам месторождений (табл. 4.3).

4.4.4. Расчеты устойчивости бортов карьеров

Расчеты устойчивости бортов карьеров Кузбасса выполнены с применением расчетных схем, наиболее полно учитывающих инженерно-геологические условия угольных месторождений, в том числе их структурные особенности, геологическое строение и тектонику. В случае пологого или горизонтального залегания горных пород, характеризующихся явно выраженной анизотропией физико-механических свойств, расчеты устойчивости бортов проводились с применением метода многослойного откоса. Результаты расчетов приведены в табл. 4.4, 4.5.

Таблица 4.4

Результаты расчетов устойчивости бортов карьеров Кузбасса

Тектонические зоны Кузбасса	Типы угольных месторождений	Угольные месторождения или карьеры	Расчетные схемы ВНИМИ	Глубина карьеров, м	Углы падения слоев, град	Углы наклона бортов, град	
						при $k = 1,0$	при $k = 1,3$
Подзона пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса	II-a	Моховское	IX	50	-10	50	38
				100	-10	45	35
	II-б ₁	Уропское	IX	100	+30	51	39
					-30	47	36
				150	+30	46	35
				200	+30	42	32
II-б ₂	Караканское	IX	200	+20	48	37	
			250	+20	45	35	
			100	-10	47	36	
Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий	IV-a	Талдинское	IX	150	-10	43	33
				200	-10	40	31
				250	-10	39	30
	I-a ₁	Ерунаковское Южное	IX	100	-10	46	35
				150	-10	40	31
				100	-50	50	38
Подзона интенсивной линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса	I-a ₂	Ананьинское	X	150	-50	46	35
				50	+40	51	39
				100	+20	60	46
					-20	49	38

Окончание табл. 4.4

Тектонические зоны Кузбасса	Типы угольных месторождений	Угольные месторождения или карьеры	Расчетные схемы ВНИИМИ	Глубина карьеров, м	Углы падения слоев, град	Углы наклона бортов, град		
						при $k = 1,0$	при $k = 1,3$	
Прикольвань-Томская зона линейной складчатости и разрывов	III-a	Глушинское	IX	150	-40	42	33	
				150	+20	49	38	
					-20	44	34	
				IX	200	+20	46	35
					100	-5	51	39
					150	-5	47	36
Пригорношорская зона моноклиналей	V-a ₁	Томусинское	IX	200	-5	44	34	
				100	+10	62	48	
					-10	60	46	
				IX	150	+10	55	42
						-10	53	41
					200	+10	50	38
V-a ₂	Сибиргинское		IX		-10	48	37	
				250	+10	46	36	
					-10	45	35	

Результаты расчета устойчивости бортов карьера

Типы угольных месторождений	Угольные карьеры	Глубина карьеров, м	Углы наклона бортов, град	
			при $k = 1,0$	при $k = 1,3$
Метод многослойного откоса				
II-a	Моховский	102	47	36
II-б ₁	Уропский Северный	269	42	32
II-б ₂	Караканский	190	46	35
	Талдинский	197	43	33
IV-a	Ерунаковский Южный	208	44	34
V-a	Томусинский	263	46	35
	Сибергинский	307	48	37
Способ Л.В. Савкова				
III-a	Кедровский	100	42	32
		150	35	27
		200		25
	Латышевский	150	38	29
		200	34	26

Из данных таблиц видно, что наименьшие значения углов наклона бортов при коэффициенте запаса 1,3 получены для Уропского месторождения (32°), наибольшие – для Сибергинского (37°). Это объясняется тем, что горные породы Сибергинского месторождения обладают самой высокой прочностью, что обусловлено высокой степенью катагенетических преобразований угленосных отложений, которые менее всего были нарушены дизъюнктивной тектоникой.

В то же время горные породы Уропского месторождения находятся на более низких стадиях катагенетических преобразований и вследствие того, что развиты в Присалаирской зоне пологой линейной складчатости, характеризуются большей нарушенностью. Благодаря этому они имеют довольно низкие значения прочностных показателей и характеризуются сравнительно невысокой устойчивостью в бортах карьеров.

Расчет по схеме ВНИМИ выполнялся нами в тех случаях, когда слои, слагающие борта карьеров, имели горизонтальное залегание или пологие углы падения (до 30°) в сторону выемки или массива. Такое строение имеют Томусинское, Сибергинское, Талдинское, Моховское, Караканское месторождения, а также Кедровский, Хорошеборский, Латышевский карьеры.

Х схема ВНИМИ применялась нами при расчетах устойчивости бортов карьеров, имеющих ряд крутопадающих в сторону выемки поверхностей ослабления. Такие массивы горных пород пользуются довольно широким распространением в Кузбассе, особенно в Присалаирской и Приколывань-Томской зонах интенсивной линейной складчатости и разрывов.

С целью упрощения расчетов использовались таблицы и графики П.Д. Козленко, приведенные в работе Г.Л. Фисенко [38].

Результаты расчетов показали (см. табл. 4.4), что общие углы наклона бортов в пределах Глушинского, Киселевского и Ананьинского месторождений отличаются существенно, что обусловлено большим влиянием степени тектонической нарушенности месторождений и физико-механических свойств на углы наклона бортов.

Способ Л.В. Савкова позволяет выполнять расчеты при наличии поверхностей ослабления. Расчеты, выполненные данным методом, показали самые низкие значения углов наклона бортов (табл. 4.5).

4.4.5. Классификация угольных месторождений Кузбасса по степени устойчивости пород в бортах карьеров

Проведенные инженерно-геологические исследования на территории Кузнецкого бассейна и выполненные расчеты устойчивости бортов карьеров позволили произвести классифицирование угольных месторождений и участков действующих карьеров по степени устойчивости пород в их бортах (табл. 4.6).

В соответствии с предложенной классификацией выделено 5 групп угольных месторождений, характеризующихся близкими геолого-тектоническими признаками, степенью нарушенности пород дизъюнктивной тектоникой, а следовательно, и устойчивостью в бортах карьеров различных геолого-генетических комплексов пород.

Наиболее типичными месторождениями первой группы являются Сибергинское и Томусинское, характеризующиеся довольно высокой устойчивостью пород в бортах карьеров. Углы наклона бортов составляют здесь 37–42° при глубине карьеров 150–200 м, коэффициенте запаса 1,3 и условии предварительного осушения пород.

Средней степенью устойчивости бортов характеризуются массивы горных пород, развитые в пределах угольных месторождений группы Б, а также отдельных типов месторождений группы Г и В.

В то же время для месторождений типа Уропского, представленных угленосными отложениями кольчугинской и тарбаганской серий, среди которых последние характеризуются повышенной обводненностью, общие углы наклона бортов при глубине 150–200 м и коэффициенте запаса 1,3 составляют не более 30–32°.

Близкие значения углов при глубине 150 м получены и для Ананьинского месторождения, хотя в его бортах преобладают отложения балахонской серии. Объяснение этому явлению следует искать в интенсивной нарушенности горных пород Ананьинского месторождения, собранных в кулисообразные складки дизъюнктивной тектоникой и обладающих сравнительно невысокими прочностными показателями, несмотря на то что породы находятся на самой высокой стадии катагенетических преобразований. Это ещё раз подчеркивает роль геотектонического развития в формировании физико-механических свойств пород и устойчивости их в бортах карьеров.

Месторождения группы Д характеризуются различной устойчивостью. В случае спокойного залегания горных пород и углей с углами падения 15–20° в сторону массива углы наклона бортов колеблются в пределах 34–35°, а в зонах развития тектонических нарушений снижаются до 25–27°.

Таблица 4.6

Классификация угольных месторождений Кузбасса по степени устойчивости пород в бортах карьеров

Группы месторождений или карьеров	Типы месторождений	Месторождения	Геолого-генетические комплексы пород, развитые в бортах карьеров	Степень устойчивости бортов карьеров	Рекомендуемые генеральные углы наклона бортов карьеров
Месторождения и угольные карьеры, распространённые в Пригоринощорской зоне моноклиналей	A ₁ A ₂	Сибиргинское Томусинское	Борта карьеров представлены отложениями балахонской серии, характеризирующимися высокой прочностью, а также четвертичными глинами и суглинками	Борта карьеров довольно устойчивые, что обусловлено спокойным тектоническим строением, полуголым залеганием горных пород и углей, а также повышенной их прочностью	Углы наклона бортов карьеров для Сибиргинского месторождения составляют 37–42° при глубине карьеров 150–200 м, коэффициенте запаса 1,3 и условии предварительного осушения пород. На Томусинском при тех же условиях они оказались 34–36°
Месторождения и карьеры, приуроченные к Центральной зоне пологих складок и куполовидных поднятий	B ₁ B ₂	Талдинское Ерунаковское Южное	Борта карьеров сложены отложениями кольчугинской серии, четвертичными глинами и суглинками	Степень устойчивости бортов средняя, а в местах развития зон тектонических нарушений низкая	Углы наклона бортов 31–34° при глубине карьеров 150–200 м, $k = 1,3$. При наличии зон тектонических нарушений расчетные углы наклона не превышают 24–26°
Месторождения, расположенные в подзоне пологой линейной складчатости Присаляирской полосы Кузбасса		Уропско-северное Уропский второй	Отличительной особенностью строения является присутствие в бортах карьеров сильно увлажнённых слабопрочных пород тарбаганской серии, а также пород кольчугинской серии, находящихся на низкой стадии катагенетических преобразований	Степень устойчивости бортов невысокая. Существенное отрицательное влияние на устойчивость бортов будут оказывать подземные воды, приуроченные к отложениям тарбаганской серии	Углы наклона бортов не будут превышать 30–32° при глубине 150–200 м

Окончание табл. 4.6

Рекомендуемые генеральные углы наклона бортов карьеров	Углы наклона составляют 35–38° при глубине 150 м	Углы наклона бортов для глубины 150–200 м составляют 35–38° при $k = 1,3$	Углы наклона карьеров 32–33° при глубине карьеров 100–150 м и падении их в сторону выемки. При падении пород в сторону массива углы увеличиваются до 35–36°	Углы наклона бортов при глубине карьеров 100–150 м составляют 34–35°, а на участках с развитием зон тектонических нарушений снижаются до 25–27°
Степень устойчивости бортов карьеров	Устойчивость бортов средняя	Устойчивость бортов средняя	Устойчивость пород невысокая, что обусловлено значительной тектонической нарушенностью пород	Устойчивость пород в бортах средняя, а на участках развития зон тектонических нарушений низкая
Геолого-генетические комплексы пород, развитые в бортах карьеров	Борта сложены преимущественно породами кольчугинской серии, перекрытыми отложениями четвертичного возраста	В бортах карьеров развиты отложения балахонской серии и четвертичного возраста	В бортах карьеров развиты отложения балахонской серии и четвертичного возраста	В бортах развиты породы балахонской серии и четвертичного возраста
Месторождения	Моховское	Киселевское	Ананьинское	Глушинское Кедровское Хорошеборское
Типы месторождений	B ₂	Г ₁	Г ₂	Д
Группы месторождений или карьеров		Месторождения, приуроченные к подзоне интенсивной линейной складчатости Присалаирской половины Кузбасса	Месторождения, приуроченные к подзоне интенсивной линейной складчатости Присалаирской половины Кузбасса	Месторождения, развитые в Приколювань-Томской зоне интенсивной линейной складчатости

5. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗВЕДКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА, ПОДЛЕЖАЩИХ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ

5.1. Общие вопросы методики инженерно-геологических исследований

Для месторождений Кузнецкого бассейна разработка методики инженерно-геологических исследований осуществлялась с учетом особенностей инженерно-геологического строения региона, закономерностей изменчивости свойств пород, а также стадий геологической разведки.

Геологоразведочные работы на месторождениях полезных ископаемых проводятся обычно в четыре стадии: поиски (поисковая разведка), предварительная разведка, детальная разведка, эксплуатационная разведка.

Перечисленным стадиям геологоразведочных работ соответствуют следующие этапы инженерно-геологических исследований: инженерно-геологические поиски и инженерно-геологическая разведка. Последняя делится на предварительную, детальную и эксплуатационную (табл. 5.1).

Инженерно-геологические поиски проводятся с целью получения всех необходимых данных для разработки комплексных проектов освоения территории, а также обоснования инженерно-геологических исследований на стадии предварительной разведки. Масштаб исследований 1:50 000 и крупнее.

Предварительная инженерно-геологическая разведка выполняется с целью получения предварительной инженерно-геологической характеристики месторождений, намечаемых к открытой разработке, выявления главных направлений изменчивости состава и свойств горных пород, расчленения массива горных пород на инженерно-геологические тела. Одновременно на данном этапе осуществляется районирование территории месторождения, выбираются первоочередные участки строительства карьеров. Кроме этого, дается обоснование проекта и проводится методика опробования на стадии детальной разведки. Масштаб исследований 1:25 000 и крупнее.

Детальная инженерно-геологическая разведка выполняется с целью осуществления прогнозирования инженерно-геологических условий строительства первоочередных карьеров, уточнения границ инженерно-геологических тел, оценки закономерностей изменчивости состава и свойств горных пород.

По результатам исследований на данной стадии разрабатывается инженерно-геологическая классификация горных пород, выбираются достоверные расчетные показатели и производятся расчеты устойчивости бортов проектируемых карьеров и откосов отвалов. Исследования проводятся в масштабах 1:10 000; 1:5000; 1:2000, а результаты используются при утверждении запасов угля высоких категорий в ГКЗ и составлении горнотехнического проекта освоения карьерных полей.

Эксплуатационная инженерно-геологическая разведка проводится по специальной программе и позволяет уточнить и окончательно решить вопросы устойчивости бортов действующих карьеров.

В зависимости от стадий инженерно-геологических исследований к ним предъявляются и различные требования.

Таблица 5.1
Назначение и детальность инженерно-геологических исследований при разведке угольных месторождений

Стадии геологоразведочных работ	Этапы инженерно-геологических исследований	Назначение и детальность инженерно-геологических исследований
Поиски (поисковая разведка)	Инженерно-геологические поиски	Для перспективного планирования и разработки комплексных проектов освоения территории, а также обоснования инженерно-геологических исследований на стадии предварительной разведки. Исследования проводятся в масштабе 1:50 000 и мельче
Предварительная разведка	Предварительная	С целью получения предварительной инженерно-геологической характеристики месторождения, выявления главных направлений изменчивости состава и свойств горных пород, расчленения массива горных пород на инженерно-геологические тела, районирования территории месторождения, выбора первоочередных участков строительства карьеров, обоснования методики опробования и составления проекта инженерно-геологических исследований на стадии детальной разведки. Масштаб 1:25 000 и крупнее
Детальная разведка	Детальная	С целью прогнозирования инженерно-геологических условий строительства первоочередных карьеров, уточнения границ инженерно-геологических тел, оценки закономерностей изменчивости состава и свойств горных пород, разработки инженерно-геологической классификации пород, выбора достоверных расчетных показателей и проведения расчетов устойчивости бортов проектируемых карьеров и откосов отвалов. Исследования проводятся в масштабе 1:10 000; 1:5000; 1:2000, а результаты используются при утверждении запасов угля высоких категорий в ГКЗ и составлении горнотехнического проекта освоения карьерных полей
Эксплуатационная разведка	Эксплуатационная	С целью получения всей необходимой инженерно-геологической информации для окончательного решения вопросов устойчивости бортов и разработки рабочих чертежей карьеров. Исследования проводятся по специальной программе

На стадии предварительной разведки инженерно-геологические исследования должны обеспечить:

а) получение необходимой инженерно-геологической информации для предварительной инженерно-геологической характеристики месторождений и прилегающих территорий;

б) изучение по разведочным данным общих инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых: геологического и тектонического строения, гидрогеологических и физико-географических условий;

в) полевое изучение физико-механических свойств горных пород косвенными скоростными методами по всем разведочным скважинам в объеме, позволяющем установить основные закономерности изменчивости свойств и выделить инженерно-геологические тела в разрезе;

г) выбор в пределах месторождения первоочередных участков для постановки исследований на стадии детальной разведки;

д) обоснование методики инженерно-геологического опробования в период детальной разведки.

Инженерно-геологические исследования во время детальной разведки должны обеспечить:

а) детальную инженерно-геологическую характеристику и оценку условий строительства карьеров;

б) изучение состава, текстурно-структурных особенностей и физико-механических свойств, позволяющее выяснить условия формирования и природу прочности пород;

в) выяснение закономерностей пространственной изменчивости физико-механических свойств;

г) разработку инженерно-геологической классификации горных пород;

д) выбор достоверных расчетных показателей физико-механических свойств горных пород;

е) выбор методов и проведение расчетов устойчивости бортов с учетом особенностей геологического, тектонического, гидрогеологического, инженерно-геологического строения месторождений;

ж) разработку мероприятий по предотвращению развития неблагоприятных инженерно-геологических явлений в бортах карьеров.

Дальнейшие инженерно-геологические исследования и наблюдения за состоянием бортов карьеров проводятся в период эксплуатационной разведки. Основными требованиями к этим исследованиям должны быть обеспечение нормальной работы карьеров и предотвращение развития неблагоприятных инженерно-геологических явлений. Исследования на данной стадии должны проводиться специальными научно-исследовательскими институтами, занимающимися проектированием угольных карьеров, а также карьероуправлениями. С учетом особенностей инженерно-геологического строения Кузбасса, целей, задач и требований, предъявляемых к исследованиям, ниже освещаются основные положения методики инженерно-геологических исследований угольных месторождений Кузнецкого бассейна.

5.2. Инженерно-геологические исследования в период предварительной разведки

Методика инженерно-геологических исследований на стадии предварительной разведки рассматривается в работах [2, 18, 22]. Большое значение на этой стадии приобретают вопросы методики инженерно-геологического опробования и обоснования количества инженерно-геологических скважин и образцов для лабораторных исследований. Инженерно-геологическое опробование на данной стадии, по нашему мнению, должно ограничиваться выполнением комплекса полевых исследований, включающих изучение состава, текстурно-структурных особенностей и трещиноватости пород по керновым образцам, а также изуче-

ние физико-механических свойств горных пород с помощью скоростных электрофизических и геофизических методов.

В процессе предварительной разведки ведется также изучение геологического строения, тектоники, гидрогеологических условий по специальным программам, а результаты используются в дальнейшем при инженерно-геологической оценке территории. Для такой оценки могут использоваться составленные нами прогнозные карты инженерно-геологических условий, позволяющие получить предварительную инженерно-геологическую характеристику и дать прогнозную оценку устойчивости и поведения пород в бортах карьеров. Однако следует отметить, что основной объем исследований на данной стадии должен выполняться непосредственно в полевых условиях. С целью обоснования возможности применения электрофизических, сейсмоакустических и радиоактивных методов нами были проведены специальные экспериментальные исследования, позволившие установить корреляционные связи между диэлектрической проницаемостью, тангенсом угла диэлектрических потерь, скоростью распространения упругих волн и объемной массой, пористостью, временным сопротивлением сжатию и разрыву горных пород Кузбасса (табл. 5.2, 5.3, 5.4).

Для изучения диэлектрических свойств горных пород Кузбасса исследования рекомендуется проводить в диапазоне частот 10^1-10^2 и 10^5-10^7 Гц, т. к. в данном диапазоне частот получены наибольшие значения коэффициентов корреляции, характеризующих связь между диэлектрическими и физико-механическими свойствами пород. Полученные в процессе исследований уравнения регрессии могут использоваться для определения временного сопротивления сжатию песчаников и алевролитов кольчугинской серии, находящихся на ранних стадиях катагенетических преобразований. Весьма перспективным для изучения физико-механических свойств и состояния горных пород следует считать сейсмоакустические методы. Среди последних при изучении свойств горных пород по керновым образцам разведочных скважин наиболее эффективным следует считать ультразвуковой метод с использованием переносного прибора УКБ-1М.

Определение плотности горных пород может осуществляться с помощью переносного гамма-плотномера конструкции Томского политехнического института. Полученная нами зависимость между скоростью распространения коллимированного гамма-излучения и плотностью образцов различной толщины (рис. 5.1) позволяет быстро и достаточно точно определить плотность пород.

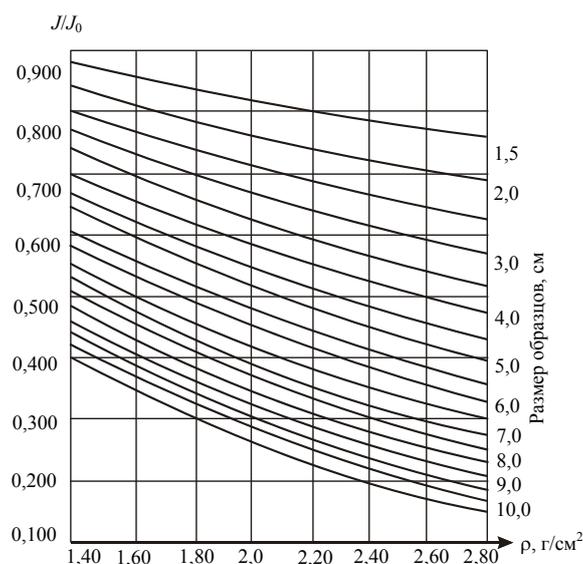


Рис. 5.1. Номограмма для определения плотности пород методом гамма-просвечивания

Таблица 5.2
Связь между тангенсом угла диэлектрических потерь и временным сопротивлением сжатия пород Кузбасса

Частота, на которой измерялись диэлектрические свойства, Гц	Типы пород								
	Песчаники				Алевролиты				
	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции
20	$\operatorname{tg}\alpha = 13,78 \sigma_{\text{сж}} + 1812,12$	0,853	0,048	$\operatorname{tg}\alpha = 19,91 \sigma_{\text{сж}} + 393,3$	0,816	0,0728			
40	$\operatorname{tg}\alpha = 10,88 \sigma_{\text{сж}} + 1743,3$	0,791	0,066	$\operatorname{tg}\alpha = 18,00 \sigma_{\text{сж}} + 27,5$	0,813	0,073			
70	$\operatorname{tg}\alpha = 7,98 \sigma_{\text{сж}} + 2056,4$	0,759	0,074	$\operatorname{tg}\alpha = 15,55 \sigma_{\text{сж}} + 215,3$	0,806	0,076			
100	$\operatorname{tg}\alpha = 6,14 \sigma_{\text{сж}} + 2338,47$	0,605	0,112	$\operatorname{tg}\alpha = 13,79 \sigma_{\text{сж}} + 189,3$	0,855	0,058			
200	—	—	—	$\operatorname{tg}\alpha = 8,58 \sigma_{\text{сж}} + 1491,14$	0,686	0,115			
$5 \cdot 10^{10}$	$\operatorname{tg}\alpha = 6,09 \sigma_{\text{сж}} + 818,7$	0,703	0,089	—	—	—			
				$\operatorname{tg}\alpha = 4,231 \sigma_{\text{сж}}$					
10^5	$\operatorname{tg}\alpha = 7,18 \sigma_{\text{сж}} + 264,96$	0,836	0,053	—	—	—			
$3 \cdot 10^6$	$\operatorname{tg}\alpha = 3,45 \sigma_{\text{сж}} + 919,04$	0,640	0,104	$\operatorname{tg}\alpha = 3,37 \sigma_{\text{сж}} + 408,20$	0,659	0,145			

Таблица 5.3
Связь между диэлектрической проницаемостью и временным сопротивлением сжатия пород Кузбасса

Частота, на которой измерялись диэлектрические свойства, Гц	Типы пород								
	Песчаники				Алевролиты				
	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции
20	$\varepsilon = 3,20 \sigma_{сж} + 253,7$	0,891	0,036	$\varepsilon = 2,65 \sigma_{сж} + 52835$	0,743	0,0976			
40	$\varepsilon = 2,97 \sigma_{сж} + 196,3$	0,878	0,040	$\varepsilon = 2,68 \sigma_{сж} + 317,9$	0,753	0,094			
70	$\varepsilon = 2,936 \sigma_{сж} + 399,5$	0,611	0,110	$\varepsilon = 2,81 \sigma_{сж} + 223,0$	0,737	0,099			
100	$\varepsilon = 2,89 \sigma_{сж} + 83,43$	0,892	0,035	$\varepsilon = 2,59 \sigma_{сж} + 228,7$	0,727	0,103			
200	$\varepsilon = 2,81 \sigma_{сж} + 40,3$	0,875	0,041	–	–	–			
500	$\varepsilon = 2,55 \sigma_{сж} + 48,49$	0,905	0,031	$\varepsilon = 2,54 \sigma_{сж} + 159$	0,771	0,088			
10 ¹	$\varepsilon = 2,42 \sigma_{сж} + 95,4$	0,876	0,041	–	–	–			
2·10 ⁴	$\varepsilon = 1,43 \sigma_{сж} + 99,0$	0,603	0,112	$\varepsilon = 1,64 \sigma_{сж} + 98,8$	0,523	0,158			
5·10 ⁷	$\varepsilon = 1,07 \sigma_{сж} + 84,6$	0,625	0,107	$\varepsilon = 1,38 \sigma_{сж} + 155$	0,585	0,143			
10 ⁴	$\varepsilon = 1,35 \sigma_{сж} + 69,3$	0,870	0,0428	–	–	–			
2·10 ⁴	$\varepsilon = 1,66 \sigma_{сж} + 102,8$	0,751	0,154	–	–	–			
5·10 ⁴	$\varepsilon = 0,78 \sigma_{сж} + 192,6$	0,734	0,081	$\varepsilon = 1,56 \sigma_{сж} + 170,2$	0,788	0,082			
10 ⁵	$\varepsilon = 0,64 \sigma_{сж} + 34,6$	0,778	0,069	–	–	–			

Таблица 5.4

Результаты исследования связи между скоростью распространения упругих волн и физико-механическими свойствами горных пород кольчугинской и балахонской серий

Месторождения	Типы пород	Парные корреляционные связи	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции	$r/\Delta r$
Бачатское	Песчаники балахонской серии с массивной однородной текстурой	$\rho_0 = f(v)$	$\rho_0 = 2,32 + 0,000055$	0,625	0,076	8,20
		$\sigma_{сж} = f(v)$	$\sigma_{сж} = 0,283 v - 216,4$	0,733	0,060	12,2
		$\sigma_p = f(v)$	$\sigma_p = 0,0242 v - 6,75$	0,603	0,082	7,30
	Песчаники балахонской серии со слоистой текстурой	$\rho_0 = f(v)$	$\rho_0 = 2,207 + 0,0000835 v$	0,750	0,061	12,10
		$\sigma_p = f(v)$	$= 0,017 v - 9,74$	0,546	0,096	5,50
		$\rho_0 = f(v)$	$\rho_0 = 2,242 + 0,000073$	0,819	0,045	18,0
Киселевское	Алевролиты темно-серые, массивные	$\sigma_{сж} = f(v)$	$\sigma_{сж} = 0,185 v - 75$	0,73	0,077	9,50
		$\sigma_p = f(v)$	$\sigma_p = 0,292 v - 35$	0,73	0,076	9,40
		$\rho_0 = f(v)$	$\rho_0 = 2,048 + 0,0000114 v$	0,74	0,087	8,50
	Алевролиты черные, углистые	$\sigma_{сж} = f(v)$	$\sigma_{сж} = 0,221 v - 341$	0,81	0,072	11,20
		$V = (\sigma_p)$	$v = 2,4136 (\sigma_p) + 2469,8578$	0,521	0,1670	3,12
		$\rho_0 = f(v)$	$= 0,0001 v + 2,1954$	0,504	0,0997	5,05
Караканское	Песчаники кольчугинской серии	$n = f(v)$	$= 24,5185 - 0,0036 v$	0,530	0,1038	5,11
		$v = f(n)$	$v = 3492,5461 - 61,6388 n$	0,512	0,1537	3,33
		$v = f(\sigma_{сж})$	$v = 2,2652 \sigma_{сж} + 2028,67$	0,542	0,1411	3,84
	Алевролиты кольчугинской серии	$v = f(\sigma_p)$	$v = 29,3344 \sigma_p + 1872,26$	0,566	0,1307	4,33

Таким образом, основные параметры физико-механических свойств горных пород (объемная масса, пористость, временное сопротивление сжатию и разрыву) в период предварительной разведки могут быть получены косвенными способами с использованием скоростных методов. Временное сопротивление разрыву, угол внутреннего трения и сцепление рекомендуется определять по временному сопротивлению сжатию (табл. 5.5, 5.6). Используя результаты полевого изучения физико-механических свойств пород, документации горных выработок, а также данные изучения состава, следует произвести расчленение массивов горных пород на инженерно-геологические тела с заданной точностью.

Таким образом, на стадии предварительной разведки угольных месторождений Кузбасса с помощью косвенных (скоростных) методов можно дать предварительную инженерно-геологическую характеристику и оценку условий строительства карьеров, произвести расчленение массива горных пород на инженерно-геологические тела, выявить основные закономерности изменчивости физико-механических свойств.

5.3. Инженерно-геологические исследования на стадии детальной и эксплуатационной разведки

Инженерно-геологические исследования, выполняемые в период детальной разведки, имеют свои особенности и существенно отличаются от таковых, выполняемых на стадии предварительной разведки. Это обусловлено различиями в целевом назначении исследований на этих стадиях, методах и объемах получения инженерно-геологической информации. Результаты инженерно-геологических исследований, выполняемых на стадии детальной разведки, используются при утверждении запасов угля высоких категорий в ГКЗ, а также при проектировании и строительстве карьеров. В связи с этим инженерно-геологические исследования должны обеспечить всей необходимой информацией для детальной и всесторонней оценки условий строительства карьеров, выбора надежных расчетных показателей и проведения расчетов устойчивости бортов. При опробовании массивов горных пород на данной стадии большое значение имеет установление границы области воздействия сооружения на горные породы. Применительно к разведке угольных месторождений границы намечаемого карьерного поля устанавливаются с учетом общего геолого-структурного положения месторождения, глубины залегания и мощности угольных пластов, коэффициентов вскрыши, качества угля, которые в совокупности и определяют экономическую целесообразность разработки месторождений открытым способом. Глубина зоны воздействия ограничивается глубиной залегания угольных пластов, намечаемых к отработке открытым способом. Таким образом, к моменту выполнения исследований на стадии детальной разведки должны быть известны границы проектируемого карьерного поля, установлены общие закономерности изменчивости показателей, полученных на стадии предварительной разведки с помощью скоростных методов, а также выделены инженерно-геологические тела и построены инженерно-геологические разрезы.

Одной из актуальнейших задач при выполнении инженерно-геологических исследований на стадии детальной разведки является обоснование оптимального количества проб и шага опробования в пределах различных по инженерно-геологическим условиям типов угольных месторождений. Решение данной задачи применительно к условиям Кузнецкого угольного бассейна осуществлялось с учетом результатов выполненных нами инженерно-геологических исследований и установленных закономерностей изменчивости свойств горных пород.

Таблица 5.5
Связь между временным сопротивлением сжатию и разрыву горных пород балахонской серии угольных месторождений Кузбасса

Типы пород	Месторождения	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции
Алевролиты с глинистым цементом	Киселевское	$\sigma_p = 0,101 \sigma_{сж} + 5,17$	0,90	0,020
Песчаники с глинистым цементом		$\sigma_p = 0,108 \sigma_{сж} - 18,08$	0,81	0,388
Песчаники с глинисто-карбонатным цементом		$\sigma_p = 0,138 \sigma_{сж} - 209$	0,85	0,041
Песчаники с карбонатным цементом		$\sigma_p = 0,128 \sigma_{сж} - 135,18$	0,77	0,074
Алевролиты с глинистым цементом	Томусинское	$\sigma_p = 0,085 \sigma_{сж} + 99,5$	0,73	0,065
Песчаники с глинисто-карбонатным цементом		$\sigma_p = 0,068 \sigma_{сж} + 206,8$	0,86	0,05
Алевролиты с глинистым цементом	Сибиргинское	$\sigma_p = 0,106 \sigma_{сж} - 16,1$	0,99	0,02
Песчаники с карбонатным цементом		$\sigma_p = 0,133 \sigma_{сж} - 207,8$	0,62	0,15

Таблица 5.6
Связь между временным сопротивлением сжатию и разрыву горных пород кольчугинской серии угольных месторождений Кузбасса

Типы пород	Месторождения	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции
Алевриты с глинистым цементом	Караканское Восточное	$\sigma_p = 0,116 \sigma_{сж} - 41,3$	0,95	0,22
Алевриты с глинисто-карбонатным цементом		$\sigma_p = 0,086 \sigma_{сж} + 58,3$	0,91	0,04
Алевриты с карбонатным цементом		$\sigma_p = 0,126 \sigma_{сж} - 77,7$	0,96	0,17
Песчаники с карбонатным цементом	Караканское	$\sigma_p = 0,156 \sigma_{сж} - 187$	0,95	0,03
Алевриты с глинисто-карбонатным цементом	Уропское	$\sigma_p = 0,090 \sigma_{сж} + 77,6$	0,80	0,08
Песчаники с глинисто-карбонатным цементом		$\sigma_p = 0,041 \sigma_{сж} + 215$	0,61	0,22
Алевриты с глинисто-карбонатным цементом	Сибиргинское	$\sigma_p = 0,006 \sigma_{сж} + 199,5$	0,72	0,09

Методологической основой при этом служили работы [11, 12, 20]. Обоснование количества необходимых испытаний с целью получения обобщенных и расчетных значений показателей физико-механических свойств дано для различных типов горных пород с учетом степени их катагенетических преобразований и принадлежности к различным инженерно-геологическим зонам Кузнецкого бассейна. При этом в соответствии с рекомендациями И.С. Комарова [12] оптимальное количество проб устанавливалось по величине коэффициента изменчивости и заданных значений доверительной вероятности (0,95) и показателя точности. Значения коэффициентов изменчивости предварительно были получены для всех показателей и типов горных пород угленосных отложений Кузбасса с учетом стадий их катагенеза и принадлежности к различным геотектоническим зонам. Для отдельных типов пород оптимальное количество проб устанавливалось также по выборочной дисперсии и выборочному коэффициенту изменчивости.

Наименьшее количество испытаний (10–15) в пределах одного карьерного поля и для одного инженерно-геологического типа пород потребуется при определении плотности и объемной массы. Последнее объясняется крайне незначительной изменчивостью этих показателей для всех изученных нами типов пород. Влажность и пористость характеризуются значительно большей изменчивостью, вследствие чего для получения надежных обобщенных значений влажности пород кольчугинской серии потребуется 34–40 испытаний, а пористости – 30–35 определений.

Большое значение при изучении инженерно-геологических условий строительства карьеров имеет обоснование оптимального количества определений временного сопротивления сжатию и разрыву пород, а также угла внутреннего трения и сцепления. От надежности и достоверности получаемых расчетных показателей угла внутреннего трения и сцепления во многом зависит правильное решение вопросов устойчивости бортов карьеров. Даже незначительные ошибки в определении этих показателей могут привести к серьезным последствиям и развитию деформаций в бортах карьеров.

Оптимальное количество проб для получения надежных расчетных показателей угла внутреннего трения и сцепления в период детальной разведки угольных месторождений Кузбасса, определенное по методике И.С. Комарова, составляет для горных пород кольчугинской серии 35–49, балахонской – 40–45.

На стадии эксплуатационной разведки особое внимание должно уделяться изучению массивов горных пород, слагающих борта действующих карьеров, их трещиноватости и физико-механических свойств. Одновременно необходимо осуществлять наблюдения за состоянием бортов действующих карьеров, их устойчивостью, развитием неблагоприятных инженерно-геологических явлений. С этой целью в Кузнецком угольном бассейне должна быть организована инженерно-геологическая служба на действующих карьерах, которая в настоящее время отсутствует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные на территории Кузнецкого угольного бассейна инженерно-геологические исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Среди многообразия природных факторов, оказывающих влияние на устойчивость бортов карьеров Кузбасса, большое значение имеют геотектоническое строение региона, распространение в бортах карьеров различных инженерно-геологических комплексов и типов горных пород, отличающихся по своему составу и свойствам и находящихся на различных стадиях катагенетических преобразований. Наряду с этим немаловажную роль играют такие факторы, как степень обводненности пород и физико-географическая обстановка.

2. Выяснение условий формирования свойств и природы прочности горных пород при исследовании угленосных отложений Кузбасса позволило установить, что наряду с процессами седиментогенеза и диагенеза большое влияние на физико-механические свойства оказали катагенетические преобразования пород. Под влиянием последних произошли изменения в составе и структуре горных пород, наиболее характерной формой проявления которых являются замещение глинистого цемента пород карбонатами, развитие вторичных гидрослюд и серицита. Это приводит к формированию новых типов структурных связей в породах и способствует изменению их физико-механических свойств, особенно прочностных показателей. Начальный момент проявления вторичных замещений обломков пород карбонатным веществом зафиксирован на стадии, соответствующей углям, переходным от длиннопламенных к газовым. Однако наиболее интенсивно он идет, начиная со стадии жирных углей, и на стадии полуантрацитов достигает своего максимума. В широком диапазоне метаморфического ряда можно встретить всевозможные вариации замещения карбонатами обломков: от частичного, еле заметного в виде незначительной коррозии (на ранних стадиях преобразования), до полного замещения с образованием псевдоморфоз. Исследованиями установлено, что чаще всего замещению подвергаются полевые шпаты (кислые и средние плагиоклазы), эффузивы, осадочные породы, а иногда, хотя и значительно реже, кварц. Вновь образованные псевдоморфные обломки представлены доломитом, значительно реже кальцитом. В некоторых вновь образованных обломках доломита встречаются микролиты плагиоклаза, которые являются реликтовыми, а их присутствие свидетельствует о катагенетическом происхождении доломита, возникшего по обломкам эффузивов. На различных стадиях катагенеза в породах усматриваются всевозможные формы замещения эффузивных обломков доломитом. На конечной стадии такого замещения возникают псевдоморфозы микрокристаллического доломита. В отдельных случаях концы доломитовых кристаллов выходят за пределы замещаемого обломка в цемент. Кроме доломита в стадию катагенеза образуется и кальцит, который чаще всего развивается по плагиоклазу и редко по ортоклазу. В конечном счете катагенетические процессы приводят к образованию более прочных структурных связей между обломочными частицами и цементирующей массой. Подтверждением этому служат выявленные в процессе исследований закономерности изменения физико-механических свойств горных пород Кузбасса, которые начинаются со стадии, соответствующей газовой-жирным углям, т. е. с момента интенсивного проявления катагенетических преобразований пород. Вместе с тем установлено, что на формирование физико-механических свойств горных пород Кузбасса наряду с процессами катагенеза большое влияние оказали особенности геотектонического развития бассейна, которые привели к изменению прочности структурных связей горных пород, в то время как физические свойства их не претерпели существенных изменений.

3. Выполненные исследования позволили выявить природу прочности горных пород Кузнецкого угольного бассейна, что имеет огромное значение при прогнозировании поведения пород в бортах карьеров и оценке их устойчивости. На основании корреляционно-

регрессивного анализа установлено влияние гранулометрического, минералогического, химического состава, типа и состава цемента, физических свойств горных пород на их прочность. Исследования показали, что прочность горных пород угленосных отложений Кузбасса в наибольшей степени зависит от состава цемента, стадии катагенетических преобразований и геотектонического строения бассейна. При этом установлено, что наибольшей прочностью обладают обломочные цементированные породы балахонской серии с карбонатным цементом, находящиеся на стадии катагенетических преобразований, соответствующей коксовым углям, и распространенные в Пригорношорской зоне моноклиналей. Наименьшей прочностью среди угленосных отложений Кузбасса отличаются породы тарбаганской серии, стадия преобразования которых соответствует бурогольной стадии углефикации. В отложениях кольчугинской серии наименьшие значения прочностных показателей получены для пород, вмещающих длиннопламенные угли и распространенных в подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса. Исследованиями установлено, что состав обломочной части пород, за исключением обломков осадочных пород и эффузивов, практически не оказывает влияния на их прочность. Возрастание же в породах угленосных отложений Кузбасса обломков осадочных пород приводит к некоторому снижению прочностных показателей, особенно на ранних стадиях катагенетических преобразований, хотя тесной корреляционной связи между прочностью пород и составом обломочной части не обнаружено. Оценивая роль химического состава в формировании прочности, следует отметить, что наибольшее влияние на прочность оказывает содержание в породах SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O . При этом увеличение Fe_2O_3 , MgO приводит к увеличению прочности пород, K_2O и Na_2O – к снижению последней.

4. Изучение закономерностей изменчивости физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса по глубине и вдоль области сноса показало, что физико-механические свойства горных пород кольчугинской и балахонской серий характеризуются стационарным режимом изменчивости по глубине и нестационарным – вдоль области сноса. Показана обусловленность установленных типов изменчивости горных пород Кузбасса процессами катагенетических преобразований и геотектоническим развитием региона.

5. На основании изучения формирования физико-механических свойств, природы их прочности и закономерностей изменчивости в пространстве впервые для Кузнецкого угольного бассейна разработана инженерно-геологическая классификация горных пород. При этом в основу выделения различных категорий пород положены геолого-генетические признаки: литолого-минералогический состав пород, стадия их катагенетических преобразований, состав цемента. Одновременно в классификации учтено влияние геотектонического строения на физико-механические свойства пород.

6. Произведено инженерно-геологическое районирование Кузнецкого угольного бассейна, и разработана типизация угольных месторождений по инженерно-геологическим условиям. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании условий строительства карьеров и оценке устойчивости их бортов.

7. С учетом особенностей инженерно-геологического строения Кузбасса, выявленных закономерностей изменчивости свойств пород и условий их формирования произведена количественная оценка устойчивости бортов. Выполненные исследования позволили произвести классифицирование угольных месторождений по степени устойчивости пород в бортах карьеров, что имеет большое значение при оценке условий строительства карьеров.

8. Разработаны основные положения методики инженерно-геологических исследований при разведке угольных месторождений Кузбасса. На стадии предварительной разведки рекомендуется широкое применение скоростных методов (дизлектрических, сейсмоакусти-

ческих и радиоактивных) для изучения физико-механических свойств горных пород непосредственно в полевых условиях. С учетом выполненных во время предварительной разведки исследований и установленных закономерностей изменчивости свойств пород дано обоснование необходимого количества испытаний на стадии детальной разведки. Показана необходимость организации инженерно-геологической службы на территории Кузнецкого угольного бассейна.

Особенное внимание в процессе дальнейших исследований следует обратить на выяснение роли подземных вод и поровых растворов в катагенетических преобразованиях пород и формировании физико-механических свойств. Важной задачей является также дальнейшее развитие и совершенствование методики инженерно-геологических исследований при разведке угольных месторождений Кузбасса.

Результаты выполненных инженерно-геологических исследований могут быть использованы при прогнозной оценке инженерно-геологических условий угольных месторождений Кузбасса, утверждении строительства и реконструкции угольных карьеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белицкий, А.А.* Закономерность тектонического строения Кузнецкого бассейна / А.А. Белицкий, Э.М. Пах // Основные идеи М.А. Усова в геологии. – М. : Наука, 1960. – С. 459–492.
2. *Болдырев, П.И.* Физико-механические свойства песчаников и алевролитов Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса / П.И. Болдырев, М.И. Аксиненко // Исследования по вопросам горного дела в Кузбассе. – М. : Госгортехиздат. – 1961. – № 9. – С. 42–48.
3. *Воронин, Ю.А.* Теоретические основы описания и классифицирования геологических тел : автореф. ... докт. физ.-мат. наук. – Новосибирск, 1969. – 25 с.
4. *Воронцов, В.В.* Вопросы эпигенеза вмещающих пород угленосной толщи Кузнецкого и Горловского бассейнов / В.В. Воронцов, С.А. Топорец // Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород. – М. : Недра, 1968. – С. 252–284.
5. *Геология* месторождения угля и горючих сланцев СССР. Т. 7 (Кузнецкий, Горловский и другие угольные месторождения Западной Сибири). – М. : Недра, 1969. – 912 с.
6. *Голушкевич, С.С.* Статика предельных состояний грунтовых масс / С.С. Голушкевич. – М. : Гостехтеоретиздат, 1957. – 253 с.
7. *Гречухин, В.В.* Геофизические методы исследования угольных скважин / В.В. Гречухин. – Изд. 2-е. – М. : Недра, 1970. – 309 с.
8. *Иванов, Н.В.* Кузнецкий бассейн. Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород / Н.В. Иванов, Э.М. Пах. – М. : Недра, 1975. – С. 90–98.
9. *Изучение* гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых (методическое руководство) / В.Д. Бабушкин, Д.И. Пересунько, С.Н. Прохоров, Г.Г. Скворцов. – М. : Недра, 1969. – 408 с.
10. *Инженерно-геологические условия* Моховского месторождения / В.Е. Ольховатенко, А.Л. Яценко, А.Т. Яценко, А.А. Краевский // Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Сибири. – Томск : Изд-во ТГУ, 1973. – С. 39–72.
11. *Коломенский, Н.В.* Общая методика инженерно-геологических исследований / Н.В. Коломенский. – М. : Недра, 1968. – 211 с.
12. *Комаров, И.С.* Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях / И.С. Комаров. – М. : Недра, 1972. – 203 с.
13. *Логвиненко, Н.В.* Постдиагенетические изменения осадочных пород / Н.В. Логвиненко. – М. : Наука, 1968. – 92 с.
14. *Ломтадзе, В.Д.* Инженерная геология (инженерная петрология) / В.Д. Ломтадзе. – М. : Недра, 1984. – 511 с.
15. *Малинин, С.И.* Вторичные изменения пород, вмещающих ископаемые угли / С.И. Малинин. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 132 с.
16. *Меньшиков, А.Я.* Особенности формирования физико-механических свойств углевмещающих пород Кузнецкого бассейна (на примере Приколывань-Томской и Присалаирской складчатых зон): автореф. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 1973. – 26 с.
17. *Мухин, И.С.* Построение предохранительных контуров равнодействующих откосов / И.С. Мухин, А.И. Срагович. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – 98 с.
18. *Общая инженерно-геологическая классификация* горных пород и почв / Е.М. Сергеев, В.А. Приклонский, П.П. Панюков, Л.Д. Белый // Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам и методам их изучения. – Т. 2. – М., 1957. – С. 200–225.
19. *Ольховатенко, В.Е.* Генетические основы изучения природы прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса / В.Е. Ольховатенко // Материалы юбилейной научной конференции «Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе». Годичная сессия Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (20–21 марта 2014). – М. : РУДН, 2014. – Вып. 16. – С. 87–92.
20. *Ольховатенко, В.Е.* Инженерная геология угольных месторождений Кузбасса и устойчивость бортов глубоких карьеров / В.Е. Ольховатенко // Труды научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения доктора геолого-минералогических наук, профессора Ф.А. Никитенко. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2011. – С. 34–39.

21. *Ольховатенко, В.Е.* Инженерно-геологическая классификация горных пород угольных месторождений Кузбасса / В.Е. Ольховатенко, Г.И. Трофимова, И.С. Филимонова // *Материалы юбилейной научной конференции «Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе».* Годичная сессия Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (20–21 марта 2014). – М. : ГЕОС, 2014. – Вып. 16. – С. 118–123.
22. *Ольховатенко, В.Е.* Инженерно-геологическая типизация угольных месторождений Кузнецкого бассейна / В.Е. Ольховатенко // *Материалы Международной научной конференции по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии.* – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. – С. 165–170.
23. *Ольховатенко, В.Е.* Инженерно-геологические условия разработки открытым способом угольных месторождений Ерунаковского месторождения Кузбасса и оценка состояния окружающей среды / В.Е. Ольховатенко, Г.И. Трофимова. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 204 с.
24. *Ольховатенко, В.Е.* Инженерно-геологические условия разработки открытым способом Моховского угольного месторождения Кузбасса / В.Е. Ольховатенко, Г.И. Трофимова. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – 80 с.
25. *Ольховатенко, В.Е.* Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Кузнецком угольном бассейне / В.Е. Ольховатенко. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1976. – 211 с.
26. *Ольховатенко, В.Е.* Оценка устойчивости бортов карьеров на Втором участке Уропского месторождения / В.Е. Ольховатенко, А.Т. Яценко, А.А. Краевский // *Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Сибири.* – Томск : Изд-во ТГУ, 1973. – С. 102–108.
27. *Паспорта* прочности горных пород и методы их определения / М.М. Протодяконов, М.Н. Койфман [и др.]. – М. : Наука, 1964. – 76 с.
28. *Рогов, Г.М.* Гидрогеология Кузнецкого бассейна / Г.М. Рогов, Л.А. Соломко. – М. : Геология СССР. – Т. 7, 1969.
29. *Рухин, Л.Б.* Основы литологии (Учение об осадочных породах) / Л.Б. Рухин. – М. : Недра, 1969. – 703 с.
30. *Савков, Л.В.* Определение устойчивых откосов в скальных трещиноватых породах / Л.В. Савков // *Горное дело.* – 1967. – № 11. – С. 37–43.
31. *Сенков, А.М.* Метод последовательных построений при расчете устойчивости земляных откосов карьеров / А.М. Сенков // *Исследование по вопросам горного и маркшейдерского дела.* – М. : Углетехиздат, 1957.
32. *Скворцов, Г.Г.* Инженерно-геологическое изучение глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых при разведке / Г.Г. Скворцов, В.В. Фромм. – М. : Недра, 1970. – 98 с.
33. *Страхов, Н.М.* Основы теории литогенеза / Н.М. Страхов. – Т. I–III. – М., 1962.
34. *Устойчивость* бортов Хорошеборского и Латышевского карьеров Кузбасса / В.Е. Ольховатенко, Г.П. Сенотрусов, А.Л. Яценко, Г.Г. Щербак // *Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Сибири.* – Томск : Изд-во ТГУ, 1973. – С. 202–217.
35. *Файнер, Ю.Б.* История развития Кузнецкой котловины в мезозойскую и кайнозойскую эру: автореф. ... канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск, 1967.
36. *Физико-механические свойства* горных пород Прокопьевско-Киселевского района и их связь с геологическими факторами / М.И. Аксененко [и др.] // *Исследование физико-механических свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением.* – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – С. 68–73.
37. *Фисенко, Г.Л.* Закономерности выветривания и осыпания пород в откосах открытых горных выработок / Г.Л. Фисенко, С.В. Кагермазова // *Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания.* – М. : Изд-во МГУ, 1971. – С. 83–89.
38. *Фисенко, Г.Л.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г.Л. Фисенко. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1965. – 260 с.
39. *Ярг, Л.А.* Изменение физико-механических свойств пород при выветривании / Л.А. Ярг. – М. : Недра, 1974. – 196 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Инженерно-геологическая классификация горных пород угленосных месторождений Кузбасса

Комплексы	Группы	Типы	Инженерно-геологические подтипы	Виды	Разновидности	Физико-механические свойства пород									
						Плотность частиц ρ_s , г/см ³	Плотность ρ_0 , г/см ³	Влажность ω , %	Пористость, %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_r , МПа	ϕ , град	C_r , МПа		
Лагунно-континентальные отложения Балашонской серии (С ₂₋₃ -Р _{1b})	Обломочные сцементированные породы	Песчаники	Песчаники на стадии катагенеза, соответствующей газо-во-жирным углям	С глинистым цементом	НЗВ	2,65	2,46	2,58	9,13	2,70	0,38	44	0,60		
				С глинисто-карбонатным цементом	ЗВ	2,64	2,38	4,02	13,02	2,06	0,35	45	0,41		
				С карбонатным цементом	ЗВ	2,65	2,45	3,18	9,98	4,26	0,69	44	0,93		
			Песчаники на стадии преобразования, соответствующей коксово-жирным углям	С глинистым цементом	НЗВ	2,63	2,48	2,03	7,20	7,55	1,63	38	1,91		
				С глинисто-карбонатным цементом	ЗВ	2,63	2,48	3,07	8,33	5,91	1,06	44	1,20		
				С глинистым цементом	НЗВ	2,68	2,41	2,57	11,26	2,13	0,38	44	0,45		
			Песчаники, вмещающие коксовые угли	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,66	2,50	2,05	8,07	4,09	0,82	40	0,99		
				С карбонатным цементом	ЗВ	2,65	2,29	2,83	16,6	—	—	—	—		
				С глинистым цементом	НЗВ	2,67	2,52	2,03	6,71	7,33	1,29	42	1,66		
			Песчаники, вмещающие огненно-спекающиеся и тощие угли	Песчаники, вмещающие огненно-спекающиеся и тощие угли	С глинистым цементом	НЗВ	2,65	2,54	1,53	6,57	5,89	0,99	41	1,35	
					С глинисто-карбонатным цементом	ЗВ	2,66	2,49	1,95	7,92	5,30	0,91	42	1,26	
					С глинистым цементом	НЗВ	2,63	2,51	1,27	5,33	8,46	1,86	38	2,18	
					С карбонатным цементом	НЗВ	2,65	2,52	1,21	5,26	10,52	2,63	34	2,69	
					С глинистым цементом	ЗВ	2,66	2,52	1,11	5,19	9,72	2,09	36	2,51	
С глинистым цементом	НЗВ	2,65			2,50	1,49	6,57	6,01	0,99	42	1,32				
Песчаники на стадии катагенеза, соответствующей углям марки ПА-А	Песчаники на стадии катагенеза, соответствующей углям марки ПА-А	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,66	2,51	1,27	5,33	8,56	1,89	39	2,10				
		С карбонатным цементом	ЗВ	2,67	2,49	1,70	7,14	7,49	1,75	38	1,83				
		С карбонатным цементом	НЗВ	2,64	2,52	1,22	6,26	10,53	2,65	34	2,79				
		С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,66	2,52	1,96	6,61	6,06	1,09	38	1,65				
Алевролиты, вмещающие газо-жирные угли	Алевролиты	С карбонатным цементом	НЗВ	2,71	2,56	1,02	6,60	7,57	2,10	40	2,25				
		С глинистым цементом	НЗВ	2,67	2,54	1,09	5,82	3,42	1,06	33	1,00				
		С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,66	2,57	0,78	4,59	5,23	1,42	33	1,34				
		С карбонатным цементом	ЗВ	2,63	2,42	1,43	8,59	2,48	0,40	36	0,61				
Алевролиты, вмещающие газо-жирные угли	Алевролиты	С глинистым цементом	НЗВ	2,67	2,63	0,59	4,04	7,57	1,93	38	1,88				
		С глинистым цементом	ЗВ	2,61	2,43	2,63	9,52	2,63	0,34	39	0,51				
				С глинистым цементом	ЗВ	2,55	2,39	3,31	11,82	2,26	0,28	38	0,44		

Продолжение прил. 1

Инженерно-геологические				Физико-механические свойства пород													
комплексы	группы	типы	подтипы	виды	Разновидности	Плотность частиц ρ_s , г/см ³	Плотность ρ_b , г/см ³	Влажность ω , %	Пористость, %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	ϕ , град	C , МПа				
Лагуно-континентальные отложения Балхонской серии (C_{2-3} -P _{1b})	Обломочные цементированные породы	Алевриты	Алевриты на стадии преобразований, соответствующей коксовому углям	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,69	2,44	2,59	9,43	4,62	0,77	41	0,33				
				С карбонатным цементом	ЗВ	2,62	2,39	2,63	10,96	—	—	—	—	—	—		
					НЗВ	2,66	2,47	2,46	9,35	6,75	0,83	40	1,31	—	—		
				С глинистым цементом	НЗВ	2,66	2,30	3,81	12,10	0,76	—	—	—	—	—	—	
					НЗВ	2,63	2,40	3,16	12,20	2,59	0,53	37	0,60	—	—	—	
				С глинисто-карбонатным цементом	ЗВ	2,65	2,35	3,35	19,85	2,09	—	—	—	—	—	—	—
					НЗВ	2,66	2,48	3,05	9,72	2,78	0,58	43	0,61	—	—	—	—
				С глинистым цементом	НЗВ	2,64	2,43	1,40	5,83	5,20	—	—	—	—	—	—	—
					ЗВ	2,61	2,51	1,57	5,44	2,49	—	—	—	—	—	—	—
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,64	2,44	1,07	3,93	11,29	—	—	—	—	—	—	—
					ЗВ	2,60	2,56	1,26	3,08	5,57	—	—	—	—	—	—	—
				С карбонатным цементом	НЗВ	2,67	2,52	1,02	3,91	11,47	—	—	—	—	—	—	—
					НЗВ	2,66	2,48	1,25	5,22	6,02	1,24	38	1,76	—	—	—	—
				С глинистым цементом	ЗВ	2,68	2,47	1,56	8,95	3,47	—	—	—	—	—	—	—
					НЗВ	2,69	2,50	1,36	3,50	11,67	1,87	38	2,07	—	—	—	—
С глинистым цементом	НЗВ	2,68	2,48	1,63	8,90	4,48	—	—	—	—	—	—	—				
	НЗВ	2,69	2,53	1,34	5,06	5,89	0,81	37	1,27	—	—	—	—				
С карбонатным цементом	НЗВ	2,69	2,52	1,45	5,00	8,31	0,97	39	1,39	—	—	—	—				
	НЗВ	2,61	2,49	1,22	5,63	2,09	0,66	31	0,62	—	—	—	—				
С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,60	2,51	0,92	4,21	3,50	1,01	41	1,05	—	—	—	—				
	ЗВ	2,63	2,39	2,10	10,68	1,28	0,26	33	0,33	—	—	—	—				
С карбонатным цементом	НЗВ	2,63	2,51	1,03	6,22	6,23	1,58	35	1,58	—	—	—	—				
	НЗВ	2,54	2,32	2,77	10,45	3,91	0,35	38	0,75	—	—	—	—				
Глинистые отердевшие	Аргиллиты	Аргиллиты, вмещающие коксовые угли	Не выделяются	НЗВ	2,63	2,42	1,88	9,20	—	—	—	—	—				
			Не выделяются	НЗВ	2,60	2,45	1,81	7,90	—	—	—	—	—				
			Не выделяются	НЗВ	2,60	2,45	1,81	7,90	—	—	—	—	—				

Продолжение прил. 1

Инженерно-геологические				Физико-механические свойства пород										
Комплексы	Группы	Типы	подтипы	виды	Разновидности	Плотность частиц ρ_{ch} , г/см ³	Плотность ρ_0 , г/см ³	Влажность ω , %	Пористость, %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	φ , град	C , МПа	
Континентальные отложения кольчугинской серии (P ₂)	Органоенные	Угли каменные	Аргиллиты, вмещающие полуантрациты и антрациты	Не выделяются	НЗВ	2,61	2,48	1,22	5,57	2,29	0,30	33	0,52	
			Угли марки КЖ	Не выделяются	НЗВ ЗВ	1,43 1,46	1,27 1,22	1,31 5,01	17,12 19,31	—	—	—	34 33	0,49 0,47
			Угли марки ПА-А	Не выделяются	НЗВ	1,55	1,43	4,65	12,73	—	—	—	32	0,35
	Обломочные спемтированные породы	Песчанники		Песчаники на стадии преобразований, соответствующей длиннопламенным углям	С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2,65 2,66	2,32 2,23	5,69 8,16	17,50 22,75	1,30 0,46	0,24 0,063	37 45	0,36 0,59
					С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,68	2,36	4,88	15,96	2,90	0,57	41	0,61
					С карбонатным цементом	НЗВ	2,69	2,36	4,21	17,77	4,06	0,76	41	1,04
				Песчаники, вмещающие угли, переходные от длиннопламенных к газовым	С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2,69 2,62	2,34 2,19	4,08 7,21	16,32 21,18	2,65 1,19	0,32 0,20	42 42	0,47 0,34
					С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,64 2,60	2,37 2,23	3,80 5,0	14,32 18,90	2,09 1,70	0,33 0,18	43 42	0,46 0,32
					С карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,66 2,67	2,37 2,28	3,34 3,51	13,7 17,39	4,34 3,17	0,60 0,26	45 —	0,86 —
				Песчаники на стадии преобразований, соответствующей углям марки Г ₁	С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2,62 2,57	2,32 2,27	2,21 2,09	15,8 18,96	2,78 0,88	0,30 0,19	39 42	0,51 0,34
					С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,59 2,61	2,32 2,35	2,23 2,27	14,02 12,81	2,97 2,64	0,41 0,29	40 43	0,63 0,52
					С карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,60 2,68	2,36 2,41	2,29 2,34	12,10 12,00	4,93 3,63	0,72 0,46	42 45	1,07 0,77
С глинистым цементом					НЗВ ЗВ	2,64 2,60	2,38 2,30	2,31 2,21	12,38 17,18	3,63 —	0,56 —	42 —	0,80 —	
			Песчаники на стадии преобразований, соответствующей углям марки Г ₁₁	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,67 2,65	2,41 2,27	2,33 2,18	11,49 17,94	4,97 4,29	0,80 0,73	43 37	1,11 1,01	
				С карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,66 2,65	2,42 2,33	2,35 2,27	11,13 15,12	5,75 —	0,93 —	39 —	1,33 —	

Продолжение прил. 1

Комплексы	Группы	Типы	Инженерно-геологические			Физико-механические свойства пород									
			Подтипы	Виды	Разновидности	Плотность частиц ρ_s , г/см ³	Плотность ρ_b , г/см ³	Влажность ω , %	Пористость, %	$\sigma_{сж}$ МПа	σ_p МПа	ϕ , град	C , МПа		
Континентальные отложения колчугинской серии (P ₂)	Обломочные сцементированные породы	Песчаники	Песчаники на стадии преобразований, соответствующей газо-жирным углям	С глинистым цементом	НЗВ	2,68	2,48	2,35	9,61	1,68	0,33	39	0,41		
					ЗВ	2,68	2,39	2,21	11,10	1,06	0,26	35	0,40		
					НЗВ	2,66	2,47	2,42	9,15	2,95	0,50	41	0,64		
					ЗВ	2,65	2,41	2,35	9,80	2,87	0,46	39	0,79		
					НЗВ	2,68	2,52	2,43	8,67	5,12	1,29	34	1,41		
					ЗВ	2,69	2,46	2,39	7,76	5,02	1,08	36	1,28		
					НЗВ	2,69	2,49	2,39	10,04	2,51	0,57	39	0,50		
					НЗВ	2,69	2,50	2,42	9,29	3,85	0,48	41	0,57		
					НЗВ	2,71	2,53	2,47	8,55	4,24	0,82	39	1,08		
					НЗВ	2,65	2,51	2,48	6,67	5,89	0,99	41	1,35		
					ЗВ	2,66	2,49	2,40	7,92	5,30	0,91	44	1,28		
					НЗВ	2,63	2,51	2,48	5,33	8,46	1,86	38	2,18		
					ЗВ	2,62	2,49	2,46	6,58	6,72	1,61	39	2,06		
					НЗВ	2,65	2,52	2,49	5,26	10,52	2,63	34	2,69		
					ЗВ	2,66	2,50	2,47	5,49	9,79	2,09	36	2,51		
Алевриты	Алевриты на стадии преобразований, соответствующей длиннопламенным углям	С глинистым цементом	НЗВ	2,64	2,34	5,65	16,70	1,59	0,33	36	0,39				
			ЗВ	2,71	2,26	10,34	23,33	0,70	0,29	34	2,25				
			НЗВ	2,66	2,38	4,25	14,27	2,81	0,42	42	0,69				
			ЗВ	2,66	2,41	3,17	10,40	5,01	0,77	45	0,06				
			НЗВ	2,61	2,33	5,25	15,27	2,78	0,31	43	0,54				
			ЗВ	2,65	2,40	4,14	14,01	1,30	0,21	35	0,28				
			НЗВ	2,62	2,24	10,39	23,05	0,69	0,033	43	0,004				
			ЗВ	2,65	2,40	3,73	12,29	2,31	0,36	44	0,31				
			НЗВ	2,68	2,23	9,39	25,78	1,07	0,96	49	0,15				
			ЗВ	2,66	2,41	3,81	10,89	3,89	0,52	45	0,82				
			НЗВ	2,63	2,26	6,29	19,31	2,59	0,36	48	0,47				
			ЗВ	2,63	2,36	4,68	14,80	1,67	0,30	45	0,44				
			НЗВ	2,58	2,16	9,24	22,68	0,74	0,05	40	0,11				
			ЗВ	2,53	2,40	4,59	12,45	3,22	0,35	43	0,70				
			ЗВ	2,59	2,30	5,97	16,03	0,91	0,11	43	0,18				

Продолжение прил. 1

Комплексы	Группы	Типы	Инженерно-геологические				Физико-механические свойства пород						
			подтипы	виды	Разновидности	Плотность частиц $\rho_{сч}$, г/см ³	Плотность ρ_0 , г/см ³	Влажность ω , %	Пористость, %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	φ , град	C , МПа
Континентальные отложения кольчугинской серии (P ₂)	Обломочные сцементированные породы	Алевриты	Алевриты на стадии преобразований, соответствующей углям марки Г ₁₁	С карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,63 2,71	2,41 2,39	3,58 3,30	10,19 18,82	3,80 2,57	0,72 0,39	47 43	1,01 0,56
				С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2,65 2,64	2,36 2,26	3,17 5,88	13,06 19,61	3,20 3,01	0,46 0,44	40 41	0,67 0,68
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,67 2,69	2,39 2,25	3,05 4,89	13,17 19,66	4,70 2,87	0,70 0,37	41 43	1,02 0,56
				С карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,67 2,65	2,44 2,26	3,51 8,50	11,83 19,50	5,85 3,80	0,81 0,63	43 44	1,12 0,73
				С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2,66 2,64	2,45 2,36	3,75 4,16	11,73 15,60	1,67 0,52	0,34 0,21	36 43	0,42 0,25
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,68 2,69	2,53 2,46	3,04 3,58	8,47 12,75	2,81 2,24	0,49 0,41	38 40	0,69 0,64
			Алевриты на стадии преобразований, соответствующей переходным углям от газовых к газово-жирным	С карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,71 2,70	2,56 2,49	2,13 3,42	8,47 14,11	4,58 —	0,73 —	38 —	1,29 —
				С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2,70 2,70	2,48 2,44	3,00 3,58	11,98 12,76	2,14 1,92	29,3 26,3	39 37	0,57 0,37
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,69 2,70	2,50 2,42	3,28 3,67	9,89 12,39	2,69 1,29	48,6 21,5	41 41	0,57 0,28
				С карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2,68 2,66	2,53 2,48	3,44 3,06	8,55 9,37	4,24 2,59	36,9 47,6	44 40	0,89 0,59
				С глинистым цементом	НЗВ	2,85	2,51	1,64	6,28	4,70	7,33	42	1,09
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2,62	2,47	1,18	7,00	8,61	2,08	35	1,86
Глинистые отвердевшие	Аргиллиты	Аргиллиты	Не выделяются	С карбонатным цементом	НЗВ	2,69	2,55	0,96	5,89	9,88	2,03	38	2,51
				Не выделяются	НЗВ ЗВ	2,62 2,62	2,34 2,22	6,70 9,91	17,01 19,33	1,70 0,14	0,17 0,012	33 32	0,38 0,001
			Не выделяются	Не выделяются	НЗВ ЗВ	2,70 2,64	2,31 2,21	5,62 11,8	18,25,2 9	0,58 0,23	0,09 0,03	33 27	0,17 0,04
				Не выделяются	НЗВ ЗВ	2,70 2,64	2,31 2,21	5,62 11,8	18,25,2 9	0,58 0,23	0,09 0,03	33 27	0,17 0,04

Окончание прил. 1

Инженерно-геологические				Физико-механические свойства пород									
комплексы	группы	типы	подтипы	виды	Разновидности	Плотность частиц ρ_s , г/см ³	Плотность ρ_0 , г/см ³	Влажность ω , %	Пористость, %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	φ , град	C , МПа
Континентальные отложения тарбаганской серии (I ₃)	Обломочные сцементированные	Песчаники	Песчаники на стадии, соответствующей бурым углям	Не выделяются	НЗВ ЗВ	2,66 2,71	2,30 2,26	6,43 9,22	18,6 23,38	1,11 0,91	0,13 0,09	42 48	0,21 0,018
			Алевролиты на стадии, соответствующей бурым углям		НЗВ ЗВ	2,4 2,71	2,30 2,29	8,57 10,34	19,74 22,14	1,09 0,89	0,11 0,10	41 42	0,21 0,19
	Органо-глинистые	Аргиллиты	Аргиллиты на стадии, соответствующей бурым углям	Не выделяются	НЗВ	2,61	2,29	7,72	23,05	0,80	0,090	33	0,16
			Угли бурогольной стадии		НЗВ	1,43	1,22	51,4	43,48	0,27	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Инженерно-геологическая классификация четвертичных отложений, горелых и отвальных пород

Инженерно-геологические			Физико-механические свойства пород									
Комплексы	Группы	Типы	Геотектонические зоны	Плотность частиц ρ_s , г/см ³	Плотность ρ_0 , г/см ³	Влажность ω , %	Пористость n , %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	φ , град	C , МПа	
Континентальные отложения четвертичного возраста Q ₃₋₄	Глинистые связные породы	Глины	Подзона интенсивной линейной складчатости Присалаирской зоны	2,66	1,7	1,62	38,94	-	-	17	0,006	
			Подзона пологой линейной складчатости Присалаирской зоны	2,67	1,96	1,62	39,36	-	-	17	0,005	
			Центральная зона пологих складок	2,61	1,97	1,60	38,75	-	-	17	0,005	
			Прикольвань-Гомская зона	2,50	2,08	1,16	33,86	-	-	22	0,049	
	Суглинки			Подзона интенсивной линейной складчатости	2,65	1,97	1,63	39,72	-	-	18	0,005
				Подзона пологой линейной складчатости Присалаирской зоны	2,66	1,99	1,63	38,41	-	-	21	0,004
	Горелые			Центральная зона пологих складок	2,65	2,00	1,87	40,7	-	-	20	0,004
				Прикольвань-Гомская зона линейной складчатости	2,66	1,98	1,65	33,08	-	-	22	0,004
				Центральная зона пологих складок	2,67	2,28	2,15	17,30	1,09	0,31	33	0,27
				Прикольвань-Гомская зона линейной складчатости	2,68 2,50	2,0 1,69	1,77 1,52	30,8 32,7	-	-	36 28	0,19 0,002
	Отваль-ные	Породы особого состава и строения		Прикольвань-Гомская зона линейной складчатости	2,68 2,50	2,0 1,69	1,77 1,52	30,8 32,7	-	-	36 28	0,19 0,002
				Центральная зона пологих складок	2,67	2,28	2,15	17,30	1,09	0,31	33	0,27

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Общие инженерно-геологические условия строительства карьеров в Кузнецком угольном бассейне	5
1.1. Физико-географические условия разработки открытым способом угольных месторождений Кузбасса	5
1.2. Особенности геологического строения Кузнецкого угольного бассейна	8
1.2.1. Общее геотектоническое положение Кузбасса	8
1.2.2. Краткая характеристика основных геолого-генетических комплексов горных пород	9
1.2.3. Тектоника и трещиноватость пород Кузнецкого бассейна	12
1.3. Гидрогеологические условия вскрытия угольных месторождений	15
2. Физико-механические свойства горных пород Кузнецкого угольного бассейна	19
2.1. Условия формирования физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса	19
2.1.1. Физико-географические и фациальные условия осадконакопления угленосных отложений	20
2.1.2. Особенности диагенетического преобразования осадков	23
2.1.3. Вторичные процессы в горных породах угленосных отложений Кузбасса и их роль в формировании физико-механических свойств	25
2.1.4. Изменения физико-механических свойств горных пород на различных стадиях катагенетических преобразований	33
2.1.5. Влияние геотектонического развития Кузбасса в постинверсионный период на физико-механические свойства горных пород	38
2.1.6. Изменение физико-механических свойств горных пород под воздействием процесса выветривания	43
2.2. Некоторые закономерности пространственной изменчивости физико-механических свойств горных пород	52
2.3. О природе прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса	55
2.3.1. Влияние гранулометрического состава горных пород угленосных отложений балахонской и кольчугинской серий на их прочность	56
2.3.2. Влияние состава обломочной части на прочность горных пород	57
2.3.3. Влияние химического состава горных пород на их прочность	58
2.3.4. Влияние состава цемента на физико-механические свойства горных пород	62
2.3.5. Изменение прочностных свойств горных пород под воздействием катагенеза и регрессивного литогенеза	63
2.3.6. Изменение прочностных свойств горных пород под влиянием инженерной деятельности человека	64
2.4. Инженерно-геологическое классифицирование горных пород Кузбасса	66
3. Инженерно-геологическое районирование Кузнецкого угольного бассейна применительно к строительству крупных карьеров	68
3.1. Инженерно-геологическое районирование Кузнецкого бассейна	68
3.2. Типизация угольных месторождений по инженерно-геологическим условиям их разработки	71
3.3. Инженерно-геологическая характеристика основных типов угольных месторождений	73
4. Устойчивость бортов карьеров Кузбасса	94
4.1. Анализ факторов, определяющих поведение пород в бортах карьеров	94

4.2. Исследование устойчивости и деформируемости бортов действующих карьеров Кузбасса	95
4.3. Физико-механические свойства горных пород в бортах действующих карьеров.....	97
4.4. Оценка устойчивости бортов карьеров Кузбасса.....	109
4.4.1. Анализ существующих методов оценки устойчивости склонов и бортов карьеров.....	109
4.4.2. Обоснование методов расчета устойчивости бортов карьеров применительно к инженерно-геологическим условиям Кузбасса.....	115
4.4.3. Выбор расчетных показателей физико-механических свойств горных пород.....	116
4.4.4. Расчеты устойчивости бортов карьеров.....	117
4.4.5. Классификация угольных месторождений Кузбасса по степени устойчивости пород в бортах карьеров	121
5. Особенности методики инженерно-геологических исследований при разведке угольных месторождений Кузбасса, подлежащих открытой разработке	124
5.1. Общие вопросы методики инженерно-геологических исследований.....	124
5.2. Инженерно-геологические исследования в период предварительной разведки	126
5.3. Инженерно-геологические исследования на стадии детальной и эксплуатационной разведки.....	131
Заключение	135
Библиографический список.....	138
Приложение 1. Инженерно-геологическая классификация горных пород угленосных месторождений Кузбасса	140
Приложение 2. Инженерно-геологическая классификация четвертичных отложений, горелых и отвальных пород	147

Научное издание

Валентин Егорович Ольховатенко

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА

Редактор Т.С. Володина
Технический редактор А.В. Володина

Подписано в печать 31.10.2014.
Формат 84×108/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 15,75. Уч.-изд. л. 13,26. Тираж 500 экз. Зак. № 360.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.