

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D070600 – «Геология и разведка месторождений полезных
ископаемых»

Сатибекова Сандугаш Боранбаевна

СОЗДАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД КРОВЛИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КАРАГАНДИНСКОГО БАССЕЙНА

История развития горно-геологических работ Карагандинского каменноугольного бассейна сводится к увеличению глубины разработки. В XX веке средняя глубина разработки составляла около 300 м по вертикали от поверхности, в настоящее время глубина разработки подземным способом составляет 600-700 м.

В дальнейшем намечается увеличение глубины эксплуатации в связи с потребностью в коксовом угле, так как в настоящее время карагандинские угли используются в качестве кокса в металлургии, энергетике, а также как источники природного попутного газа (метана) [4, 5].

Угли Карагандинского бассейна обеспечивают не только внутренние потребности, но и экспорт Казахстана. Для увеличения производственных мощностей требуются внедрение на угольных предприятиях современные технологические схемы и высокопроизводительное горное, транспортное и вспомогательное оборудование. Карагандинский бассейн коксующихся углей разрабатывается подземным способом, поэтому актуальным является рациональное и безопасное ведение добычи для улучшения технических и экономических показателей производства. Совершенствование методов шахтной геологии позволит применять способы активной борьбы с неблагоприятными инженерно-геологическими явлениями, что при все большем внедрении ресурсосберегающих технологий в горной промышленности является одной из основных предпосылок успешной работы современного горного предприятия.

Основной проблемой при эксплуатации угольного месторождения подземным способом является предупреждение обрушения пород кровли угольных пластов. Научно-обоснованное прогнозирование устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна способствует не только полноте освоения запасов, но и обеспечит рациональное и безопасное ведение горных работ. Что в свою очередь необходимо при строительстве новых шахт и увеличении численности работников [6-8].

Опубликован целый ряд трудов по методам прогнозирования устойчивости кровель угольных пластов авторов А.Г. Кобилева, Д.В. Погромского, И. Н. Воронина, В. Т. Глушко, И.П. Жингель, А.З. Широкова, Г. Г. Скворцова и В. В. Фромма, А.А. Колегова, А. Д. Чулкова, Р. П. Исакова, Б. В. Радько, С. И.

Малинина, Б. В. Смирнова, О.С. Алферова, Е. Н. Зубенко, Р.Н. Ненашевой, М. И. Аксененко, В. В. Куликова, В. С. Лазарева и др.

Физико-механические свойства углевмещающих пород и углей Карагандинского угольного бассейна изучены Т.Р. Серикбаевым, И.М. Косенко, М.С. Пудовым, В.Е. Болдыревым, А.Б. Байбатша. Однако необходимо разработать единую методику изучения физико-механических свойств пород кровли и прогноза устойчивости для Карагандинского бассейна.

Основание и исходные данные для разработки темы. Основанием для разработки темы диссертационной работы служит инженерно-геологическое обеспечение устойчивости пород кровли угольных пластов при увеличении мощности лав. Исходными данными являются данные натуральных и лабораторных экспериментов по изучению инженерно-геологических условий шахтных полей Карагандинского каменноугольного бассейна – важнейшей угольной базы Казахстана. Работа основана на изучении и анализе фондовых материалов предыдущих лет и литературного обзора, натуральных наблюдений в шахтах, кернового и каменного материала из разреза разведочных скважин и горных выработок, результатов экспериментов во время научно-исследовательской работы автора с 2010 по 2019 гг. Отобран керновый материал для проведения лабораторных исследований. Изготовлены шлифы из основных типов углевмещающих пород. Всего изучены 55 керновых и 10 монолитных проб горных пород, проанализированы каротажные диаграммы 92 разведочных скважин, описаны под микроскопом 22 шлифа. Автором проведены наблюдения за поведением кровли горных выработок для выявления горнотехнических и геологических факторов и эксперименты по определению петрографических (вещественный состав, структура и текстура, отражательная способность витринита) особенностей и физико-механических свойств (плотность, пределы прочности на сжатие и растяжение, динамические константы) в лабораториях во время обучения и прохождения стажировки в лаборатории State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing) в г. Пекин (КНР).

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы. С развитием горных работ на больших глубинах, усложнением горно-геологических условий, а также в связи с подработкой выработками застроенных территорий возникла необходимость в более полном изучении инженерно-геологического состояния угольного массива. При увеличении глубины разработки шахтным способом поддержание кровли выработанного пространства и её устойчивость являются важным показателем для безопасного и рационального ведения добычных работ. Вопросы устойчивости пород кровли угольных пластов являются проблемами экономической значимости для угольных предприятий, так как простои в работе очистных лав, оснащенных механизированными крепями, связаны с внезапным обрушением пород кровли горных выработок и поломкой частей крепи, находящихся в зонах повышенного горного давления. Поэтому обоснование устойчивости углевмещающих пород в очистных выработках обеспечит высокие темпы развития добычных работ,

устранение аварийных ситуаций и поддержания подготовительных выработок в течение выемки угля и без необходимости проведения ремонтных работ для частей механизированного комплекса [9].

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработке, патентных исследованиях и выводы из них определяются полнотой исследования инженерно-геологических условий шахтных полей бассейна. По проблеме устойчивости проведен литературный и патентный обзор отечественных и зарубежных ученых. Выбраны современные методы изучения в лабораториях, оснащенные оборудованностями, отвечающими требованиям науки и техники настоящего времени. Проведены шахтные наблюдения за поведением кровли выработок.

Научно-технический уровень диссертационной работы определяется новизной полученных результатов, перспективностью использования результатов и завершенностью проведенных исследований. Разработанная методика оценки физико-механических свойств включает в себя комплексный подход при решении проблемы устойчивости пород кровли горных выработок.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных приборов, прошедшие метрологическую проверку для проведения инженерно-геологических исследований на современных сертифицированных лабораториях «Инновационной геолого-минералогической лаборатории» КазННТУ имени К.И. Сатпаева, State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing) в г. Пекин (КНР), ТОО «Центргеоланалит» (г. Караганда).

Физико-механические свойства углевмещающих пород определены системой тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000), системой прямого сдвига Digital Rock (RDS-100) и машиной для определения пористости, построенной SKL; для определения петрологических особенностей угля и углевмещающих пород использованы микрофотометр Leitz 307-107.002 и микроскопы Leica DM2700, ПОЛАМ Л-213М; результаты сгенерированы VMware Workstation Pro в системе Linux, построены числовые модели на базе программы MATLAB 2018.

Определение степени метаморфизма углей и классификация углей проводилось согласно ГОСТ 12113-94, ГОСТ 25543-88, ASTM D388, ASTM D2798.

Единицы измерения в диссертационной работе соответствуют метрологическим правилам и нормам Международной системы единиц СИ.

Актуальность темы. Существенное влияние на снижение затрат при угледобыче оказывают неблагоприятные горно-геологические факторы, осложняющие работу очистных забоев. Оценка этих факторов, предотвращение осложнений напрямую зависит от достоверности выявления горно-геологических факторов, влияющих на отработку запасов угля. Шахтные поля Карагандинского каменноугольного бассейна характеризуются сложным геологическим строением, изменчивостью качественных показателей угля и

физико-механических свойств углевмещающих пород по площади и латерали. Поэтому должны быть более детально изучены состав и физико-механические свойства углевмещающих пород.

Научные основы выявления геологических основ формирования строения, литологического состава и физико-механических свойств, общего состояния горного массива и постдиагенетические изменения углей и углевмещающих пород приобретают актуальность для развития и совершенствования технологии добычи. На основе анализа вышесказанного можно сделать количественную оценку физико-механических свойств, которая дает возможность прогнозировать устойчивость пород кровли угольных пластов в очистных выработках.

Новизна темы.

- впервые установлена зависимость состава и свойств углевмещающих пород Карагандинского бассейна от петрофонда осадочного бассейна, условий формирования и морфологии угольных пластов, литогенетических и фациальных типов пород, которые оказывают влияние на состояние пород в кровле подземных очистных выработок;

- метод Apex-Shifted Radon Transform (ASRT - Метод дифракционной экстракции с использованием модифицированного с перемещением точки вершины преобразования радона), который определяет расположение точек дифракции и Double-Branch Radon Transform (метод с сохранением полярности двухвекторного преобразования радона), который сохраняет полярность дифракции. Эти методы используются для выявления геологических блоков пород в кровле угольных пластов [10].

- выведены многомерные корреляционные уравнения для оценки физико-механических свойств углевмещающих пород по данным каротажных диаграмм разведочных скважин методами кажущегося сопротивления и кавернометрии и исследований петрографических особенностей в лабораториях;

- впервые создана геолого-геофизическая модель оценки физико-механических свойств и разработаны научные основы прогноза устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна с выделением их классов в очистных выработках.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Автор принимает активное участие в выполнении проектов программно-целевого финансирования № BR05233713 «Комплексное геологическое изучение недр для развития ресурсной базы и разработки новых источников рудного сырья Казахстана» (на 2018-2020 гг.) и № U1261203 «Объединенный проект по углю Национального фонда естествознания» (КНР) на 2018-2020 гг.

Цель работы - создание геолого-геофизической модели физико-механических свойств и прогноза устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна с применением комплекса геологических и геофизических методов и учетом особенностей геологического строения углевмещающего массива.

Идея работы заключается в использовании для определения физико-механических свойств и прогнозирования устойчивости кровли горных выработок отражательной способности витринита (R_0) углей, геофизического параметра ρ_k – электрическое кажущееся сопротивление горных пород, отражающее геофизические поле; d – диаметр скважины, отражающий состояние стенок скважины от момента перебурки до снятия кавернограммы.

Объектом исследования является Карагандинский угольный бассейн, разрабатываемый подземным способом.

Предметом исследования являются инженерно-геологические условия, влияющие на устойчивость пород кровли угольных пластов в очистных выработках.

Задачи исследований, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом:

1. Изучение инженерно-геологических условий Карагандинского каменноугольного бассейна. Выявление неблагоприятных горно-геологических факторов при прогнозировании устойчивости кровли горных выработок шахт.

2. Анализ методов, принципов и средств оценки физико-механических свойств горных пород по предыдущим исследованиям.

3. Проведены исследования физико-механических свойств, изучение петрографических особенностей углевмещающих пород в лабораториях.

4. Создание методики оценки физико-механических свойств типичных пород кровли угольных пластов седиментационного бассейна геофизическими методами исследования скважин.

5. Разработка геолого-геофизической модели устойчивости пород кровли угольных пластов по разведочным данным.

6. Разработать рекомендации для управления горным давлением, экономически эффективной и безопасной добычной технологии, и выбора типов механизированной крепи, обеспечивающих поддержание кровли во время очистных работ в лавах.

Методологическая база исследований состоит из следующих основных методов и анализов:

– определение состава, строения, структурно-текстурных особенностей углевмещающих пород на поляризационных микроскопах ПОЛАМ Л-213М, Leica DM2700;

– определение степени метаморфизма угля по отражательной способности витринита на микрофотометре Leitz 307-107.002;

– испытание образцов углевмещающих пород на трехосное сжатие и растяжение системой тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000), системой прямого сдвига Digital Rock (RDS-100)

– определение пористости на приборе, сконструированной SKL;

– геологическое и сейсмическое моделирование по экспериментальным данным с использованием скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн на базе программного обеспечения VMware Workstation Pro в системе Linux, построение числовой модели на базе программы MATLAB 2018;

– интерпретация геофизических диаграмм электрического метода кажущегося сопротивления для определения физико-механических свойств;

– на основе математической статистики выведение многомерной математической геолого-геофизической модели физико-механических свойств для аргиллитов, алевролитов, песчаников;

На основе геолого-геофизической модели построена прогнозная карта устойчивости пород кровли горных выработок и разработаны рекомендации для рационального ведения горных работ.

Положения, выносимые на защиту

1. Геологические условия формирования состава, свойств и состояния углевмещающих пород связаны с петрофондом питающих провинций, фациальными особенностями седиментационного бассейна и степенью постдиагенетических преобразований осадков. Степень постдиагенетических изменений горных пород можно оценить количественно по отражательной способности витринита углей. Установлена зависимость между метаморфизмом углей, петрографическими особенностями, физико-механическими свойствами и устойчивостью углевмещающих пород.

2. Создана геолого-геофизическая модель физико-механических свойств и устойчивости углевмещающих пород по данным геофизических методов исследований буровых скважин (каротажа). Связь физико-механических свойств пород кровли угольных пластов с геофизическими параметрами описывается многомерными математическими уравнениями, которые учитывают генетические и эпигенетические факторы формирования угольного массива.

3. Разработанная геолого-геофизическая модель свойств и состояния углевмещающих пород служит научной основой прогноза устойчивости пород кровли и выбора типа механизированной крепи в лавах. Карта устойчивости пород кровли, построенная по геологоразведочным данным с выделением соответствующих классов кровли по устойчивости в предпроектную стадию, обеспечивает рациональное и безопасное ведение горных работ в лавах.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что результаты исследований позволяют:

- оперативно оценить физико-механические свойства углевмещающих пород с помощью геолого-геофизической модели, которая создана на основе геофизических каротажных диаграмм по литотипам пород;

- использование данной модели обеспечивает оценку свойств горных пород непрерывно по всему разрезу разведочной скважины в естественном их залегании и охватить достаточное количество скважин по шахтному полю. Такой метод является экономически выгодным и достоверность методики подтверждается использованием представительных каротажных диаграмм.

- используя разработанную методику можно моделировать свойства на графических программах для любого участка Карагандинского бассейна.

- рекомендовать управление кровлей лав с учетом геологического строения и физико-механических свойств углевмещающих пород для выбора механизированных крепей.

Публикации и апробации работы. По результатам выполненных научных исследований опубликованы 16 статей и докладов, в том числе 4 работы в международном научном издании, входящим в базу данных компании Clarivate Analytics, Scopus и имеющем ненулевой импакт-фактор и 5 статей в научных изданиях, рекомендуемых Министерством образования и науки РК. Полученные результаты широко апробированы на международных и республиканских научных конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 133 страниц машинописного текста, 19 таблиц, 24 рисунков, списка литературы включающих 100 наименований и 5 приложений.

Во введении представлена общая характеристика диссертационной работы. Определена цель, поставлены задачи для достижения цели, сформулированы актуальность темы, изложены научные положения, выносимые на защиту и практическая значимость диссертации.

В первой главе изложены современное состояние изучения проблемы устойчивости кровли подземных очистных выработок с увеличением глубины отработки, причины и следствия обрушения пород кровли горных выработок, определены факторы, влияющие на устойчивость пород кровли очистных выработок.

Во второй главе представлена особенности геологического строения шахтных полей «имени Костенко», «имени Т. Кузембаева», «Саранская» Карагандинского угленосного района, «Шахтинская» и «Абайская» Шерубайнуринского угленосного района, «имени В.И. Ленина», «Казахстанская», «Тентекская» Тентекского района Карагандинского каменноугольного бассейна. В строении принимают участие породы разнообразного возраста и происхождения.

Инженерно-геологические условия отработки Карагандинского бассейна сложные, это обусловлено структурой бассейна, тектоникой и физико-механическими свойствами углевмещающих пород. Для современного развития горных работ Карагандинского бассейна характерно увеличение глубины отработки. Основным условием для перехода в глубокие горизонты бассейна наряду с геолого-тектоническим строением бассейна является знание о физико-механических свойствах углевмещающих пород.

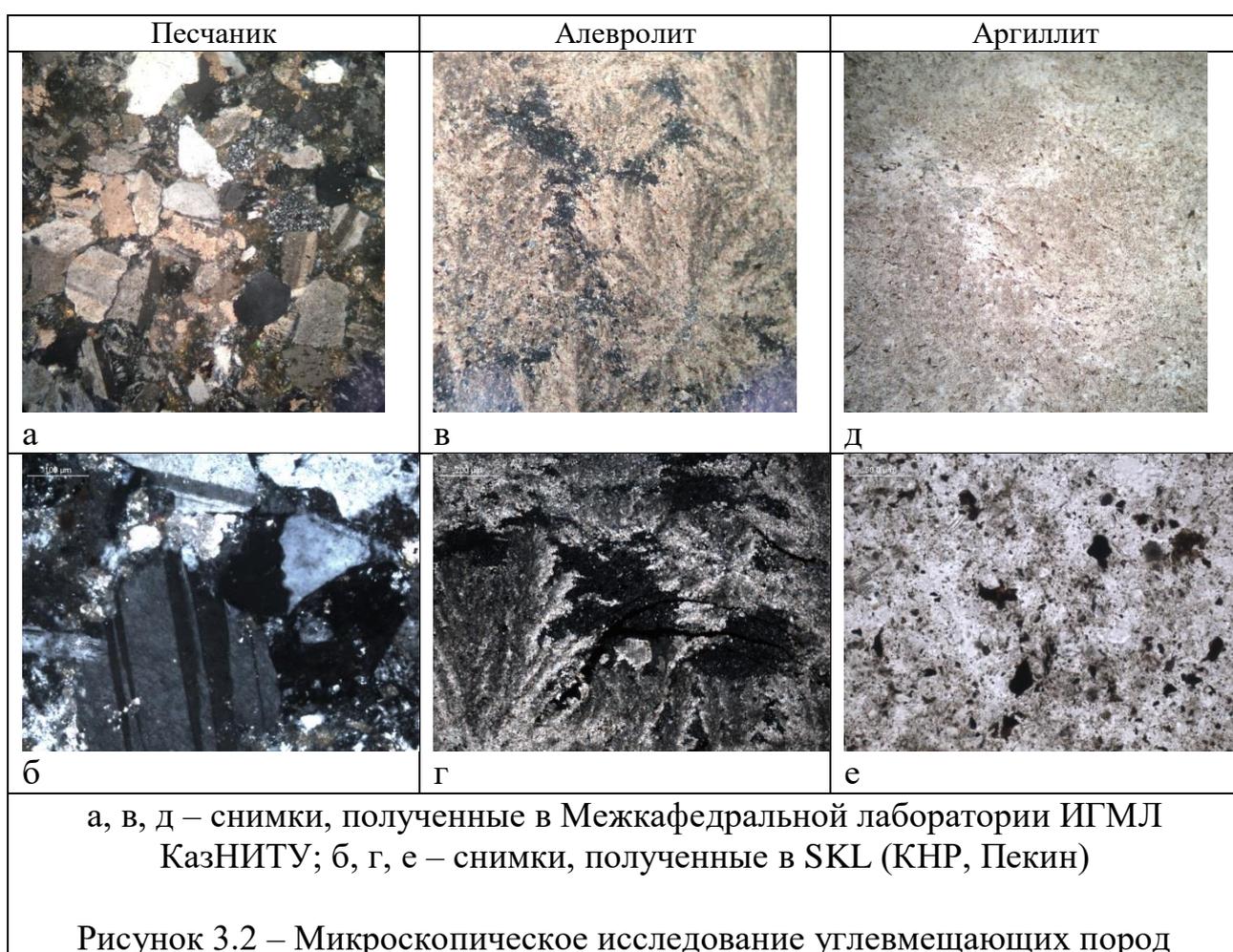
В третьей главе представлена методика проведения инженерно-геологических исследований с целью определения основных показателей, влияющих на устойчивость пород кровли горных выработок.

Для определения основных показателей, влияющих на устойчивость пород кровли угольных пластов Карагандинского бассейна, были проведены комплексные исследования [25, 26]. Целевым назначением исследований было:

- наблюдение за поведением кровли угольных пластов в очистных выработках;
- микроскопические исследования пород кровли угольных пластов;

- изучение физико-механических свойств углевмещающих пород;
- изучение изменчивости прочностных свойств пород кровли разрабатываемых угольных пластов.

Ниже на рисунке 3.2 приведены снимки пород под микроскопом. Полимиктовые песчаники (рисунок 3.2 а, б) имеют серый, светло-серый цвет, в составе выявлены кластический материал эффузивных, осадочных, реже метаморфических горных пород. Минеральный состав песчаников составляет полевые шпаты (плагиоклазы), кварц. Алевритовые породы (рисунок 3.2 в, г) имеют повсеместное распространение и встречаются во всех толщах. По составу аналогичны с песчаными породами. Пелитовые породы (рисунок 3.2 д, е) имеют в составе каолинит, гидрослюда, монтмориллонит. В алевролитах и аргиллитах часто встречаются углистое вещество (на снимках в виде черных пятен).



Определение степени метаморфизма с помощью петрографических составляющих макрокомпонент угля витрена микрофотометром Leitz 307-107.002 в «Отделе микроскопических исследований» (рисунок 3.3, Приложение В) согласно международным стандартам ГОСТ 25543-88, ГОСТ 12113-94, ASTM D388, ASTM D2798, ISO 11760. Определенная отражательная способность витринита $R_{max}=1,48$, соответствует каменному углю.



Рисунок 3.3 – Витринит под микрофотомером Leitz 307-107.002

Результаты физико-механических свойств: плотность, г/см³ (аргиллиты 2,2-2,55, алевролиты 2,25-2,58, песчаники 2,1-2,60), пористость, % (аргиллиты 9-19, алевролиты 9-20, песчаники 6-17), пределы прочности на сжатие, МПа (аргиллиты 11-40, алевролиты 15-52, песчаники 21-85) и растяжение, МПа (аргиллиты 0,7-3,0, алевролиты 0,9-4,0, песчаники 1,9-6,3). Влажность пород по интервалам варьирует в пределах 2,3-8,6 %.

Геофизические исследования выполнены для литологического расчленения пород, картирования и выделения синонимички угольных пластов, определения неустойчивых зон, глубины залегания и мощности пород, чтобы использовать эти данные для создания геолого-геофизической модели. Из комплекса геофизических методов исследования скважин использованы диаграммы метода кажущегося электрического сопротивления и каверонометрия. В целом были интерпретированы каротажные диаграммы 92 скважин.

В четвертой главе определена закономерная связь между физико-механическими свойствами пород и их составом, что имеет геологическую природу. Продукты различного вида выветривания материнских пород окружающих участков суши, т.е. питающих провинций являются первичными факторами, определяющими состав и физико-механические свойства горных пород терригенной формации.

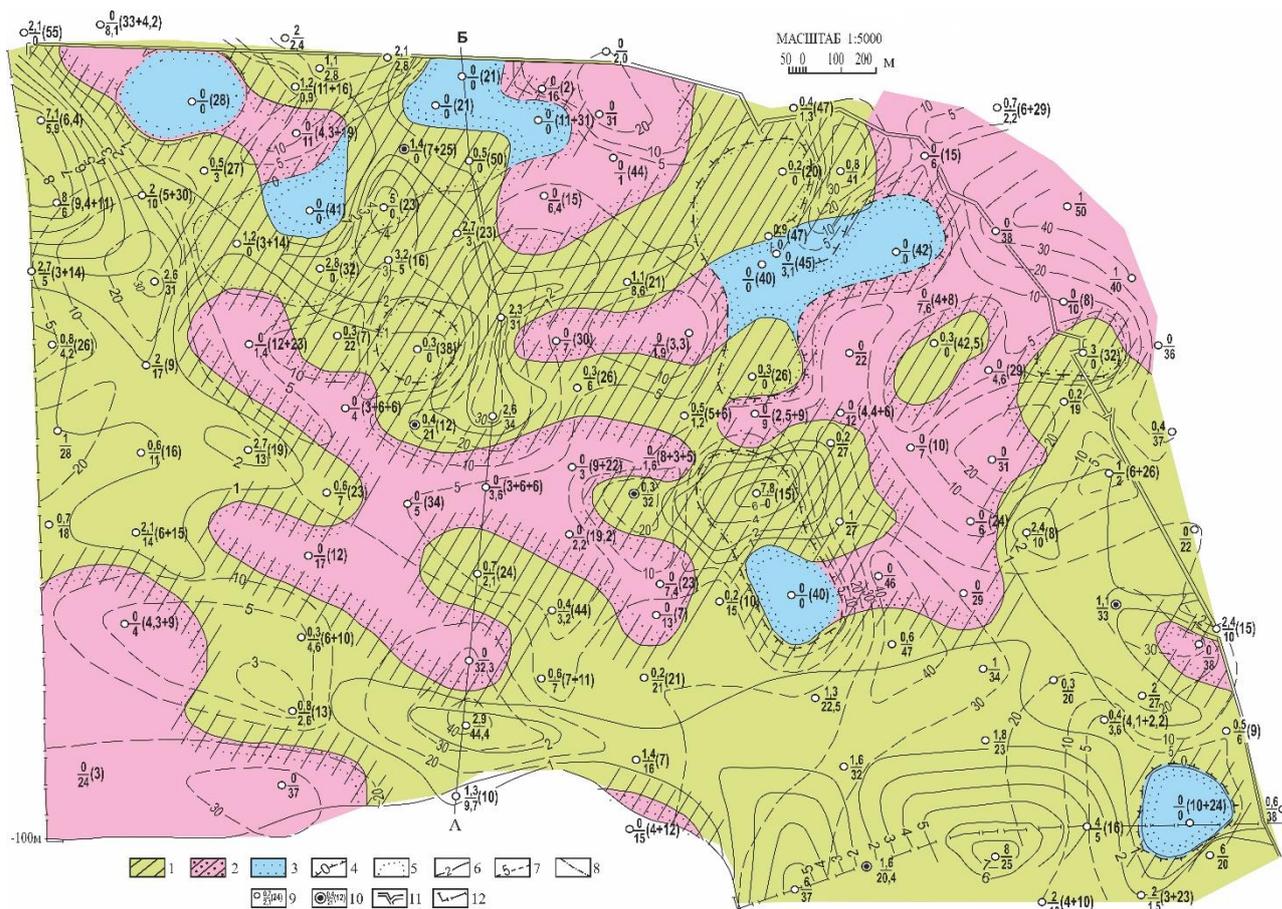
На основе выполненных петрографических исследований построена диаграмма формирования состава терригенных пород угленосной толщи Карагандинского бассейна из источников питающих провинций, представляющих собой сложные терригенно-минеральные комплексы (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 - Диаграмма формирования терригенных пород угленосной толщи Карагандинского бассейна из источников питающих провинций (Байбатша А., Сатибекова С., 2018)

Литолого-фациальный состав Карагандинского каменноугольного бассейна составляет, типичные породы как песчаники (36%), алевролиты (30%) и аргиллиты (27%). Остальные породы (угли, конгломераты, карбонатные породы, туфы) составляют не более 7-10 %.

Можно сделать вывод о том, что физико-механические свойства горных пород обусловлены геологической природой образования и изменением их в последующие стадии. Изменение фациального типа по площади и латерали наглядно представляет картину восстановления геологической истории развития в виде литологических карт.



Породы, непосредственно налегающие на пласт: 1 – аргиллиты, 2 – алевролиты, 3 – песчаники; контуры развития пород верхних слоев кровли: 4 – алевролитов, 5 – песчаников; изомощности: 6 – аргиллитов, 7 – алевролитов; 8 – разрывное нарушение; 9 – разведочная скважина, цифры: числитель – мощность аргиллитов (первый слой кровли), знаменатель – алевролитов (второй слой), справа дроби – песчаников (третий слой), 10 – опробованная скважина, 11 – нижняя граница горных работ, 12 – граница шахтного поля.

Рисунок 4.7 – Литологическая карта кровли пласта д₆

Физические свойства вмещающих пород являются индикаторами марочного состава углей и метаморфизма [76], которое определяется по модели метаморфизма профессора М.А. Ермакова (1990) с помощью отражательной способности витринита в углях. Это объясняется тем, что стратиграфические закономерности в изменении физических свойств углей и вмещающих пород обусловлены одной и той же причиной – максимальной глубиной их погружения в период прогрессивного эпигенеза.

В пятой главе создана геолого-геофизическая модель для оценки физико-механических свойств и устойчивости углевмещающих пород по данным геофизических методов исследований скважин (каротажа).

Для этого проанализирован комплекс геофизических методов, а именно методы естественного гамма-излучения (гамма-метод), рассеянного гамма-излучения (гамма-гамма метод) и метод кажущегося сопротивления. Из всех методов наиболее подходящим для определения физико-механических свойств пород выбран метод кажущегося сопротивления и кавернометрии.

На каждом разведочном участке Карагандинского бассейна выполнен боковой токовый каротаж с набором зондов длиной от 0,3 до 4,0 м. По материалам БКЗ определены истинное удельное электрическое сопротивление, которые сопоставлены с диаграммами КС. В ходе опытно-методических работ сравнивались кривые с истинными значениями удельного электрического сопротивления, определенные методом БКЗ. Кривые стандартного градиент-зонда А1,2М0,1N почти полностью совпали с истинным удельным электрическим сопротивлением. Малый градиент-зонд А0,3М0,03N дает большой разброс и малую тесноту связи, из-за значительного влияния скважинных условий на результаты записи, малого размера зонда и небольшой глубинности исследования.

Для упрощенного определения физико-механических свойств пород получены эмпирические формулы по методу КС и кавернометрии в отдельности. Связь механической прочности (σ_c) пород, слагающих разрез скважины с кавернозностью (d , мм), учитывая влияние на последнее времени стояния обнаженных стенок скважины от момента перебурки до проведения кавернометрии (t , сут) и глубины залегания (H , м), характеризуется соответственно для аргиллитов, алевролитов и песчаников уравнениями [90, с. 53]:

$$\sigma_c^{\text{арг}} = 0,4018 \cdot 10^6 d^{-2.362} t^{0.346} H^{0.209} \quad R = 0,80; \quad (5.27)$$

$$\sigma_c^{\text{ал}} = 3118,0 d^{-1.374} t^{0.088} H^{0.357} \quad R = 0,61; \quad (5.28)$$

$$\sigma_c^{\text{п}} = 5058.7 d^{-1.196} t^{0.188} H^{0.148} \quad R = 0,63. \quad (5.29)$$

Связь физико-механических свойств пород кровли угольных пластов с геофизическими параметрами описывается многомерными корреляционными уравнениями, которые учитывают генетические и эпигенетические факторы формирования угольного массива.

В шестой главе разработаны научные основы прогноза устойчивости пород кровли и выбора типа механизированной крепи в лавах. Составлена классификация устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна по геологоразведочным данным и разработаны рекомендации по ведению горных работ.

Представленная карта устойчивости пород кровли угольного пласта Д₆ шахты имени Ленина (рисунок 6.3) может решать вопросы, связанные с планированием горных работ, выбором способа управления кровлей и технологией разработки. При построении карты устойчивости [100] учитывались следующие особенности шахтного поля Карагандинского бассейна: литолого-прочностные характеристики пород, гидрогеологические условия, трещиноватость и разрывные нарушения. К легкообрушаемым породам отнесены углистые породы, аргиллиты, алевролиты, переслаивание песчаников с алевролитами прочностью менее 15 МПа, которые входят в интервал

некондиционной части пласта, ложной и непосредственной кровли. Прочностью более 60 МПа характеризуются труднообрушаемые песчаники, переслаивание песчаников с алевролитами и песчанистые алевролиты основной кровли. Прослой прочных песчаников мощностью менее 3,0 м отнесены к легкообрушаемым. Основная кровля представлена песчаниками (60 %), алевролитами (19 %) и переслаиванием (21 %). Средняя прочность пород составляет 64 МПа. Непосредственная кровля пласта сложена алевролитами (80 %), переслаиванием песчано-глинистых пород (20 %). Прочность пород колеблется в пределах 22-48 МПа. Ложная кровля определена лишь в нескольких скважинах, которая представлена аргиллитами мощностью в среднем 0,20 м. Прочность составляет 16 МПа. Труднообрушающиеся породы основной кровли пласта имеют прочность 69 МПа, легкообрушающиеся непосредственной кровли соответственно 17 МПа.

Таблица 6.1 – Классификация устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна по геологоразведочным данным (Байбатша А.Б., Сатибекова С.Б., 2018)

Класс кровли	Литологический тип пород	Прочность, МПа		Расслоение		Трещиноватость		Δd , мм / сут	Обнажение кровли		Обрушаемость и вторичные осадки, цикл
		σ^c	σ^p	m, м	K_p , шт/м	n, шт	l, м		S, м ²	t, ч.	
1. Неустойчивая	Углистые аргиллиты и алевролиты, обогащенные углистым материалом до 20-58%	<15	<1,2	<0,1	>10	>6	<0,5	>20	<3	<0,5	Обрушается вслед за выемкой угля
2. Малоустойчивая	Аргиллиты и алевролиты, обогащенные углистым материалом до 10-30%	15-25	1,2-2,0	0,1-0,25	4-10	4-8	0,3-1,0	10-20	3-10	до 2 ч.	Обрушается при снятии крепи
3. Среднеустойчивая	Массивные аргиллиты, тонкослоистые алевролиты и песчаники	20-40	2-3	0,25-0,6	1,6-4	2-4	0,5-1,5	5-10	10-50	до 1 сут.	5-10

4. Устойчивая	Массивные алевролиты, слоистые мелкозернистые песчаники	40-60	3-4	0,6-1,5	0,6-1,6	1-2	1-5		50-300	до 10 сут.	10-20
5. Трудно-обрушаемая	Монолитные крупнозернистые алевролиты и мелко-среднезернистые песчаники	>60	>4	>1,5	<0,6	0-1	>3	<5	300-15 тыс	от 10 сут. до 1 мес.	20-40 и более

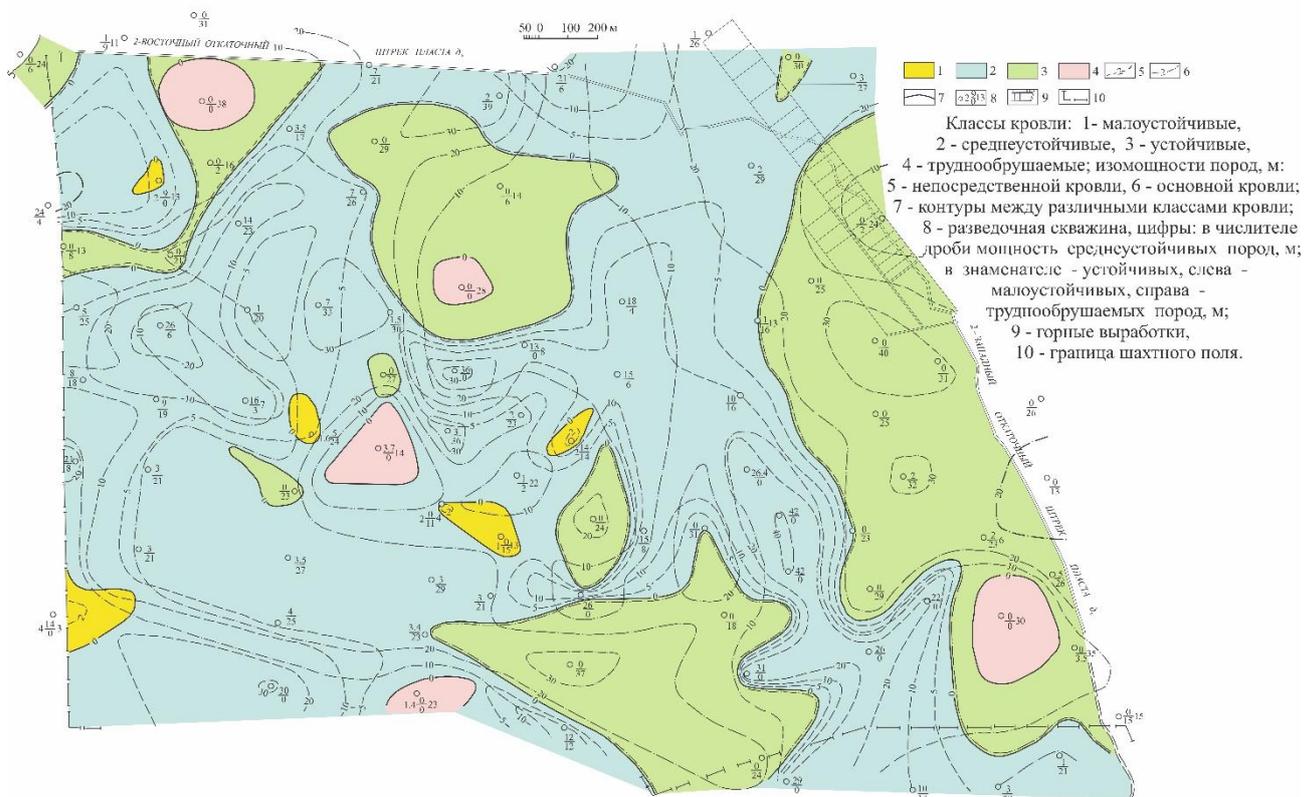


Рисунок 6.3 – Карта устойчивости пород кровли пласта Д6

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований

В современных условиях быстрое развитие науки и техники требует совершенствования методов получения и обработки геологической информации. В связи с этим, идет переход от описания к точной математической оценке свойств и состояния горного массива. Поэтому обработка ранее не использованных геофизических, лабораторных и натурных данных дают возможность решать инженерно-геологические задачи.

В результате исследований по теме диссертации получены следующие значимые результаты, которые отражают научную новизну и практическую ценность:

1 Литолого-генетический состав, фациальный тип и питающие провинции являются первичными факторами для определения физико-механических свойств. На основе выполненных петрографических исследований выявлена связь между питающими провинциями и составом осадочных пород Карагандинского бассейна.

Питающими провинциями терригенных пород угленосной толщи служили сложный комплекс пород окружающей суши: кислые, средние и основные магматические, вулканогенно-осадочные и древние метаморфические горные породы.

У терригенных пород угольных месторождений региона в силу тектонической обстановки и сноса исходного материала из близлежащих источников сложных терригенно-минеральных провинций формируется граувакковый и кварц-полевошпатовый состав, обусловивший довольно высокие значения прочности пород.

2 Для количественной оценки степени изменения осадочных пород в сложном процессе литогенеза, от которой зависят их физико-механические свойства, применяется отражательная способность витринита, который является одним из основных составляющих компонентов угля. Количественным показателем является «импульс метаморфизма», который имеет математическое выражение. Чем больше «импульс метаморфизма», тем выше стадия метаморфизма углей, соответственно выше стадии преобразования углевмещающих пород.

3 Аргиллиты характеризуются наименьшими значениями ρ_k , а также низкими значениями прочности (σ_c и σ_p), объемного веса (q) и высокими значениями пористости (P), естественной влажности (W). С увеличением обломков алевролитов увеличиваются их ρ_k , σ_c , σ_p , q , наоборот уменьшаются P и W . Мелко- и среднезернистые песчаники имеют высокие значения ρ_k , σ_c , σ_p , q и низкие значения P , W . Таким образом, между физико-механическими свойствами пород и их удельными электрическими сопротивлениями наблюдается корреляционная связь. Прямую связь ρ_k имеет с σ_c , σ_p , q пород и обратную – с их P и W .

4 Установлено, что изменение диаметра скважины (d) в процессе ее бурения зависит от литологического состава пересекаемых пород и их механической прочности, а также от времени обнаженного стояния стенок скважины (t) от момента перебурки до момента записи кавернограммы. Это дает возможность изучать физико-механические свойства пород разреза скважины по данным кавернометрии.

Для упрощенного определения физико-механических свойств пород получены эмпирические формулы по методу КС и кавернометрии в отдельности. Связь механической прочности (σ_c) пород, слагающих разрез скважины с кавернозностью (d , мм), учитывая влияние на последнее времени стояния обнаженных стенок скважины от момента перебурки до проведения кавернометрии (t , сут) и глубины залегания (H , м), характеризуется уравнениями соответственно для аргиллитов, алевролитов и песчаников уравнениями.

5 Впервые по результатам исследований, породы кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна подразделены на пять классов по устойчивости на основе литолого-прочностных свойств, расслоении, трещиноватости углевмещающих пород. Специализированные карты устойчивости пород кровли могут быть использованы для решения вопросов, связанных с планированием горных работ, выбором способа управления кровлей разрабатываемых угольных пластов бассейна.

Оценка полноты решения поставленных задач

Все поставленные задачи перед диссертантом решены:

– проведены натурные наблюдения в шахтном поле за поведением кровли горных выработок;

– проведены микроскопические исследования с целью выявления связи состава и строения углевмещающих пород с источниками питающих провинций;

– проведены лабораторные испытания образцов для определения физико-механических свойств углевмещающих пород;

– интерпретированы каротажные диаграммы геофизических исследований разведочных буровых скважин методом электрического кажущегося сопротивления;

– создана геолого-геофизическая модель физико-механических свойств пород;

– разработаны классификация пород по устойчивости и рекомендации для выбора типа механизированных крепей;

– составлена прогнозная карта устойчивости пород кровли угольного пласта.

Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов

Разработанную методику исследований, возможно, применить для аналогичных осадочных месторождений.

По результатам работы разработаны рекомендации по повышению достоверности контроля устойчивости массива горных пород, принятые к использованию на шахтах. Основные положения и результаты исследований рекомендуется на шахтах Угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау» и в учебном процессе лекционных курсов дисциплин бакалавриата «Рудничная геология», «Геология месторождений полезных ископаемых» Казахского Национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева.

Реализация научных исследований выполнена в рамках проектов программно-целевого финансирования № BR05233713 «Комплексное геологическое изучение недр для развития ресурсной базы и разработки новых источников рудного сырья Казахстана» и № U1261203 «Объединенный проект по углю Национального фонда естествознания» (КНР) на 2018-2020 гг. в виде научных статей и докладов в международных научных конференциях и симпозиумов.

Оценка экономической эффективности технологии

В зонах повышенного горного давления темпы проведения подготовительных выработок зачастую остаются недостаточными для перекрытия обнаженной кровли и воспроизводства очистного фронта в лавах (менее 85 м/мес.), что приводит к несвоевременному вводу в эксплуатацию очистных забоев, оборудованных механизированными комплексами. Среднегодовые простои одного комплексно-механизированного забоя на шахтах в среднем составляет 45 дней, что влечет потерю добычи угля по компании до 1,8 млн т/год. Проведенный анализ показателей работы длинных очистных забоев, оснащенных механизированными комплексами, показал, что до 85% простоев в работе вызвано внезапным обрушением пород кровли разрабатываемых угольных пластов и разрушением элементов крепи на участках подготовительных выработок с различными кровлями по устойчивости.

Для снижения потерь угля и обеспечения высоких темпов проведения и безремонтного поддержания подготовительных выработок с различными породами в кровле рекомендуются дополнительные работы по возведению крепи усиления и упрочнению углевмещающего массива, которые отражены в разработанной автором классификации. Для предотвращения потери угля, оставляемого в защитной пачке, рекомендуется применять химический метод для неустойчивых пород кровли, который является более эффективным для укрепления слабых пород кровли. Для более устойчивой кровли рекомендуется применять различные типы механизированных крепей.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области

На основе анализа литературных источников, результатов натуральных и лабораторных экспериментов, математической обработки полученных данных можно сделать вывод о том, что диссертационная работа отвечает всем требованиям современного состояния науки и техники.

Применение современных методов исследования обосновывает достоверность полученных результатов и научную ценность. Научные положения и результаты диссертационной работы подтверждены публикациями и широко апробированы в материалах международных научно-практических конференций.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1 Guangui Zou, Hu Zeng, Suping Peng, Xiaoyu Zhou, Satibekova S. Bulk density and bulk modulus of adsorbed coalbed methane // *Geophysics*, Volume 84, Number 2. – P. 1-11. DOI: 10.1190/geo2018-0081.1

2 Baibatsha A., Suping P., Satibekova S. Estimation of the physical-mechanical properties of the rocks on the degree of coal metamorphism // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences*. Volume 1, Number 433. – P. 187-194. DOI: 10.32014/2019.2518-170X.23

3 Li, C., Peng, S., Zhao, J., Cui, X., Du, W., Satibekova S. Polarity-preserved diffraction extracting method using modified apex-shifted Radon transform and

double-branch Radon transform электронные Journal of Geophysics and Engineering, Volume 15. – P. 1991–2000. DOI: 10.1088/1742-2140/aabd8f

4 Байбатша А., Сатибекова С. Оценка физико-механических свойств углевмещающих пород карагандинского бассейна по геолого-геофизическим данным // Вестник КазНУ им. К.И. Сатпаева, №2 (132), 2019 г. – с. 51-56.

5 Байбатша А., Сатибекова С. О питающих провинциях угленосной толщи Карагандинского бассейна // Вестник КБТУ, том 15, выпуск 2 (45), июнь 2018 г. – с. 94-101.

6 Байбатша А., Маманов Е., Омарова Г., Сатибекова С. Прогноз перспективных участков на основе изучения гидротермально-метасоматических комплексов // Труды КарГТУ, № 3(72), 2018 г. – с. 71-75.

7 Байбатша А., Сатибекова С. Фациальные типы и литогенетический состав угольных свит Карагандинского бассейна // Вестник КазНУ им. К.И. Сатпаева, №2 (126), 2018 г. – с. 24-30.

8 Байбатша А., Сатибекова С. Прогнозирование устойчивости пород кровли угольных пластов в очистных выработках по геологоразведочным данным // Горный журнал Казахстана, № 2 (54), 2018 г. – с. 23-27.

9 Baibatsha A., Satibekova S., Baibatchayeva Z. Application of geophysical well logging data to assess the physical-mechanical properties of rocks // 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, 19-22 Aug 2019.

10 Сатибекова С. Геологические методы прогноза неблагоприятных проявлений горного давления в подземных очистных выработках // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0». – А., КазНУ, 2019. – с. 163-167.

11 Сатибекова С. Оценка прочностных свойств горных пород по данным кавернометрии в буровых скважинах // X Международная конференция молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». Кыргызстан, Бишкек, 2018. – с. 317-319.

12 Сатибекова С. Оценка инженерно-геологических условий Карагандинского каменноугольного бассейна по разведочным данным // Труды международных Сатпаевских чтений «Инновационные решения традиционных проблем: Инженерия и технологии». Казахстан, Алматы, 2018. – с. 150-153.

13 Baibatsha A., Bekbotaeva A., Satibekova S. Penecontemporaneous Transformation and Physical-Mechanical Properties of Terrigenous Rocks // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Bulgaria, Albena, 2017. – vol. 17, Issue 11. – P. 651-657.

14 Baibatsha A., Bekbotaeva A., Satibekova S. Assessment of Changes in Diameter of the Borehole and Properties of Rocks According to Well Logging // 37th EARSeL Symposium “Smart Future with Remote Sensing”. Czech Republic, Prague, 2017. – P. 16.

15 Байбатша А., Сатибекова С. Условия образования карагандинской свиты Карагандинского бассейна // Труды международных Сатпаевских чтений «Научное наследие Шахмардана Есенова». Том 1. Алматы, 2017. – с. 190-193.

16 Байбатша А., Сатибекова С. Литофациальные особенности угленосных свит Карагандинского бассейна // Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Том I. Россия, Томск, 2017. – с. 73-74.

17 Изучение прогнозирования устойчивости пород кровли угольных пластов // Сборник трудов всероссийской студенческой научно-практической конференции «Практика геологов на производстве», Россия, Ростов на Дону, 2016. – с. 53-54.