КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА

На правах рукописи УДК 622.7.09

Абдиев Арстанбек Раимбекович

ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Специальность: 25.00.20 – геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:

д.т.н., профессор, академик НАН КР, Кожогулов Камчибек Чонмурунович

Бишкек-2022

оглавление

ВВЕДЕНИЕ		
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ13		
1.1 Современные представления о геомеханическом состоянии породных массивов верхней части земной коры		
1.2 Обзор и анализ существующих методов оценки геомеханического состояния массивов горных пород		
 1.3 Тянь-Шаньские структуры и их влияние на структурно-неоднородное строение месторождений		
1.4 Цель и задачи исследований 40		
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МАССИВОВ		
МЕСТОРОЖДЕНИЙ		
2.1 Обоснование метода многопараметрового контроля свойств и напряженного состояния пород		
2.2 Обоснование и разработка способа оценки геомеханического состояния породного массива		
2.3 Разработка способов прогнозирования напряженно-деформированного		
состояния в структурно-неоднородных массивах		
2.4 Краткое заключение по главе 2		
ГЛАВА З. ВЗАИМОСВЯЗЬ СВОЙСТВ И НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНО- НЕОДНОРОДНЫХ МАССИВОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ		
3.1 Исследование свойств анизотропных пород и их связи с напряженно- деформированным состоянием массивов		
3.2 Изучение влияния влажности на характеристики анизотропных пород 109		
3.3 Установление закономерностей изменения структуры и свойств горных пород в зоне тектонических нарушений		

3.4 Краткое заключение по главе 3 121
ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И УДАРООПАСНОСТЬ УЧАСТКОВ СТРУКТУРНО- НЕОДНОРОДНЫХ МАССИВОВ
4.1 Основные черты напряженно-деформированного состояния структурно неоднородных месторождений
4.2 Реконструкция полей напряжений и оценка напряженно-деформированного состояния с учетом тектонических структур массива
4.3 Оценка удароопасности пород и участков структурно-неоднородных массивов рудных месторождений
4.4 Краткое заключение по главе 4 154
ГЛАВА 5. ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СТРУКТУРНО- НЕОДНОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ
5.1 Разработка способа определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки 155
5.2 Оценка устойчивости породного массива вокруг горной выработки геоакустическим методами
5.3 Определение характера распределения напряжений породного массива вблизи горных выработок в анизотропных массивах
5.4 Разработка способа крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов
5.5 Краткое заключение по главе 5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Приложение 1. Акт внедрения результатов исследований в учебный процесс КРСУ им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина
Приложение 2. Акт внедрения результатов исследований в учебный процесс КГГУ им. академика У. Асаналиева

Приложение 3. Акт внедрения результатов исследований в практику	
проектирования	236
Приложение 4. Акт внедрения результатов исследований в практику веде	ения
буровзрывных работ	238

введение

Актуальность темы диссертации. Увеличение масштабов горного производства в мире сопряжено с необходимостью учета геомеханического массивов: структурных особенностей; состояния породных физикомеханических свойств пород, слагающих массив; естественного напряженнодеформированного состояния; удароопасности пород И участков, при безопасной разработке месторождений полезных ископаемых.

Затрагиваемый практикой горных работ круг проблем и задач для освоения месторождений полезных ископаемых, с целью обеспечения безопасности и эффективности недропользования, должен начинаться с учета сложности геологического строения. При этом наименее изученными являются массивы структурно-неоднородного строения.

Причем, одной из важных проблем в горно-геологической отрасли в Кыргызстане также является проблема обеспечения эффективного прогноза напряженно-деформированного состояния осваиваемого объекта. Прогноз быть многоуровневым многопараметровым, должен И основываться на достаточном количестве фактов и корректной их обработке. В настоящее время, при наличии эффективных разработок в области теоретических и практических вопросов оценки и прогнозирования, для решения этой проблемы традиционных подходов недостаточно, а оперативные и информативные способы состояния оценки геомеханического массивов структурнонеоднородных рудных месторождений до сих пор не разработаны. Требуется привлечение новых идей и новых методологий. В настоящей работе используется комплексный способ оценки одного из важных характеристик отрабатываемого месторождения – геомеханического состояния породного массива. Его своевременная оценка и прогнозирование необходимы для обеспечения устойчивой и безопасной работы предприятия.

Таким образом, с учетом данных обобщения важнейших достижений в области геомеханики, разработка оперативного и информативного комплексного

способа оценки геомеханического состояния породных массивов структурнонеоднородных рудных месторождений, и обеспечения устойчивости горных выработок при ведении горных работ представляет собой актуальную и крупную научную и техническую проблему, и имеет важное народнохозяйственное значение. Решению ее и посвящена диссертационная работа.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научноисследовательских работ КРСУ им. Первого Президента РФ Б.Н. Ельцина по темам: 1. «Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях высокогорья» (№ госрегистрации КР-01, 2000–2009 гг.); 2. «Разработка методических положений по учету тектонических напряжений при ведении горных работ в условиях Тянь-Шаня» (№ госрегистрации КР-01, 2010–2018 гг.).

Целью диссертационной работы является создание научных основ и разработка способов оценки и контроля геомеханического состояния нетронутых массивов и при ведении горных работ в структурно-неоднородных рудных месторождениях для повышения их эффективности и безопасности освоения.

Для реализации поставленной цели в диссертационной работе определены следующие основные задачи:

1. Установление особенностей напряженно-деформированного состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений.

2. Определение взаимосвязи свойств и напряженно-деформированного состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений.

3. Разработка способа прогнозирования напряженно-деформированного состояния в структурно-неоднородных массивах.

4. Разработка геомеханической модели напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов рудных месторождений.

5. Установление зоны локальных концентраций напряженнодеформированного состояния участков структурно-неоднородных массивов, которые могут быть потенциальными очагами проявления горных ударов.

6. Обоснование и разработка комплексного способа оценки геомеханического состояния структурно-неоднородных массивов месторождений.

7. Разработка способа определения и контроля устойчивости структурнонеоднородного массива незакрепленной горной выработки.

8. Создание способа крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Выявлены основные черты напряженно-деформированного состояния массивов структурно неоднородных рудных месторождений, заключающийся в установлении взаимосвязи свойств и напряженно-деформированного состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений.

2. Разработан способ прогнозирования напряженно-деформированного состояния в структурно-неоднородных массивах, **заключающийся** в том, что с целью получения информации о состоянии массива как в плане, так и на глубину, для проектирования и планирования горных работ, - учитываются геологические характеристики структурно-неоднородной среды, разрывы сплошности, степень ослабления прочности массива, рельеф поверхности.

3. Разработана геомеханическая модель напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов рудных месторождений, заключающийся в том, что, с целью получения параметров локальных концентраций напряженно-деформированного состояния природных 30H структурно-неоднородных массивов, являющихся очагами проявления горных ударов, - учитываются структурно-механические особенности месторождения, иерархия и параметры тектонических нарушений, и природные локальные концентраторы напряжений вокруг них.

4. Установлены зоны природных концентраций напряжений в структурнонеоднородных массивах на базе изучения структурного строения, направления тектонических нарушений, удароопасности пород, действующих и остаточных напряжений, являющихся потенциальными очагами горных ударов.

5. Обоснован и разработан комплексный способ оценки геомеханического состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений, заключающийся том, что, учитываются совокупность показателей В характеризующих уровень развития геомеханических процессов деформирования, перераспределения напряжений и разрушения протекающих в геологической истории месторождения: структурно-механические особенности; наличие тектонических разломов и их иерархия; рельеф; физико-механические свойства пород, слагающих массив; естественное напряженно-деформированное состояние; конфигурация и размер подземных выработок; ожидаемая форма проявления негативного геомеханического процесса; экологические требования (Патент №2238 Кыргызская Республика, МПК Е21С 39/00. Способ оценки геомеханического состояния породного массива высокогорных месторождений. - 2020 г.).

6. Разработан способ определения и контроля устойчивости структурнонеоднородных массивов вокруг горных выработок, заключающийся в том, что, с целью повышения устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки учитываются три категории устойчивости: «массив устойчив», «массив устойчив, но с небольшим запасом» и «массив не устойчив» по распределения графикам акустических модулей В вертикальной И горизонтальной плоскостях В зонах «пониженных», «естественных» И построенных «повышенных» напряжений через измерения скоростей продольных и поперечных волн ультразвуковым способом (Патент №2150 Кыргызская Республика, МПК Е21С 39/00. Способ определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки. – 2019 г.).

7. Разработан способ крепления горных выработок В условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов под воздействием напряжений, заключающийся в том, что с целью обеспечения безопасности горного производства и снижения расходов на крепление горных выработок, – напряженно-деформированного на основе моделирования состояния структурно-неоднородного породного массива и степени ее устойчивости,

разрабатывается паспорт крепления и предложен новый подход к обоснованию эффективной конструкции крепи путем сопоставления затрат, включающий динамическое моделирование.

Практическая значимость полученных результатов. Результаты диссертационной работы используются в практике проектирования ОсОО «Азиярудпроект», вошли в разделы «Геомеханика», «Проведение горных выработок», «Крепление горных выработок», «Проведение капитальных, подготовительных и очистных работ» проектов геологоразведочных работ и разработки рудных месторождений Кыргызстана, в практику ведения буровзрывных работ OcOO «Взрывпром компани», вошли в разделы «Характеристики пород», «Параметры буровзрывных работ» и «Основные показатели буровзрывных работ» паспортов буровзрывных работ при разработке месторождений, в монографии, научные статьи, учебники и учебные пособия используемых В процессе обучения студентов Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина, Кыргызского государственного университета геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У. Асаналиева по дисциплинам «Геомеханика», «Геомеханические процессы в породных массивах», «Геомеханическое обеспечение горных работ», «Физика горных пород», «Управление состоянием массива горных пород», а также при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов. Документы, подтверждающие практическое применение и акты внедрения, имеются.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Установленные взаимосвязи свойств и напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов месторождений, позволяют определять не только зависимости упругих характеристик от давления и глубины, но и объясняют картину распределения абсолютных и относительных напряжений в массиве вокруг горных выработок.

2. Для прогнозирования напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов рудных месторождений, необходимо построить прогнозные карты месторождений и тектонические модели структуры

месторождений.

3. Разработанная геомеханическая модель напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов рудных месторождений, заключающаяся в построении иерархии и параметров тектонических нарушений, имеющихся в массиве месторождения, и учитывающая структурно-механические особенности месторождения.

4. Особенности формирования поля напряжений вокруг выработки в структурно-неоднородных массивах месторождения при ведении горных работ, главным образом определяются направлениями действия высоких горизонтальных тектонических напряжений, параметрами рельефа, анизотропией свойств массива, пространственно-геометрическими параметрами выработки и интенсивностью развития горных работ.

5. Зоны естественных напряжений вокруг проведенной незакрепленной горной выработки в структурно-неоднородных массивах месторождений, зависят от степени напряженности и устойчивости породного массива вокруг нее, от характера распределения акустического модуля для определения зон напряжений по глубине породного массива.

6. Зональное распределение напряжений в плане и в разрезе: наличие высоких горизонтальных тектонических полей напряжений; распределение напряжений в хребтах гор выше их оснований; под основанием хребтов, находящихся в зоне их влияния; в зоне, не подвергающейся влиянию гор; условия устойчивости массивов вокруг горных выработок, являются научной основой крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов.

Личный вклад соискателя заключается **B**: выполнении личных исследований напряженно-деформированного состояния массивов структурнонеоднородных рудных месторождений; обосновании метода многопараметрового контроля свойств и напряженного состояния пород месторождений; разработке структурно-неоднородных рудных способа прогнозирования естественного напряженно-деформированного состояния в

структурно-неоднородных массивах; разработке способа оценки геомеханического состояния породного массива месторождений; разработке способа определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки; разработке технологии крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов.

Апробация результатов исследования: Результаты исследований были доложены и обсуждены на: международной научной конференции посвященной памяти акад. М.Я. Леонова (100-летия со дня рождения) «Современные проблемы механики сплошной среды» (г. Бишкек, 2012 г.); Международной «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные научной конференции И технологии освоения посвященной 20-летию природоохранные недр» Естественно-технического факультета Кыргызско-Российского Славянского университета (г. Бишкек, 2015 г.); международной научно-практической конференции «Техническая безопасность: наука и практика» (г. Бишкек, 2015 г.); международном симпозиуме «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов землетрясений» (г. Бишкек, 2016 г.); международной научной конференции «Механика твердых, жидких и газообразных сред» посвященной 80-летию профессора Рудаева Я.И. (г. Бишкек, 2016 г.); E3S Web of Conferences 201, 01040 (2020) Ukrainian School of Mining Engineering – 2020 XIV Международной научно-практической конференции. Украинская школа горного дела – 2020 (E3S Web of Conferences, USME, 2020); Materials Science Forum «Actual Challenges in Materials Science and Processing Technologies II» (Швейцария, 2021 г.); международной научной конференции «Актуальные проблемы геомеханики, геотехнологии и геоэкологии» посвященной 90-летию академика НАН КР И.Т. Айтматова и 60-летию ИГ и ОН НАН КР (г. Бишкек, 2021 г.).

Результаты и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались ежегодно на научно-технических советах, семинарах и конференциях с международным участием, на заседаниях кафедр: «Физических процессов горного производства» КРСУ, «Подземная разработка

месторождений полезных ископаемых» и «Открытые горные работы и взрывное дело» КГГУ им. акад. У. Асаналиева. Диссертационная работа в завершенном виде доложена и одобрена на расширенном заседании кафедры «Физических процессов горного производства» КРСУ.

Полнота отражений результатов исследований в публикациях:

Результаты исследований, отражающие основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 31 научных трудах, в т.ч. в 2 монографиях, в 2 патентах на изобретение, в 3 свидетельствах на объект авторского права, в 24 научных статьях, рекомендованных НАК КР, в том числе в 6 зарубежных научных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus. Под грифом МО и Н КР опубликованы 4 учебника и учебных пособий, в которых отражены основные положения и результаты исследований, и внедрены в учебный процесс.

Структура и объем диссертации: Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, содержит 239 страниц текста, 46 рисунков, 22 таблицы, 4 приложения и список литературы из 163 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность первому научному консультанту профессору, доктору технических наук Мамбетову Ш.А. за консультации при выполнении исследований и написании работы, искреннюю благодарность академику НАН КР К.Ч. Кожогулову, благодаря поддержке в проведении исследований в лабораториях ИГиОН НАН КР и ценным советам которого, представленная работа завершена, выражает признательность за обсуждение результатов, ценные советы и внедрения результатов исследований в учебный процесс ректору КРСУ им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина академику НАН КР Нифадьеву В.И. и ректору КГГУ им. акад. У Асаналиева профессору Маралбаеву А.О., а также работникам ОсОО «Азиярудпроект» и ОсОО «Взрывпром компани» за заинтересованность и поддержку в проведении исследований, внедрения результатов в практику проектирования геологоразведочных работ и разработки рудных месторождений, использования результатов при буровзрывных работах на месторождениях Кыргызстана.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Современные представления о геомеханическом состоянии породных массивов верхней части земной коры

Естественное напряженное состояние породного массива принципиально отличает его от других строительных и конструкционных материалов, основное напряженное состояние которых возникает при силовом и кинематическом воздействии в процессе эксплуатации [1,2,3,4,5, с.71].

Естественное напряженное состояние породных массивов в самом общем случае является функцией пространственных и временной координат.

Поэтому факторы, влияющие на его формирование, целесообразно подразделять на две группы: действующие постоянно и повсеместно; действующие временно и локально [5, с.71].

К первой группе факторов следует отнести: гравитационное поле Земли, температурное поле земли, механические свойства и структурно-механические особенности породных массивов. Рельеф земной поверхности, космические факторы. Определяющими в этой группе факторов являются: гравитационное поле Земли, механические свойства и структурно-механические особенности породных массивов, и рельеф земной поверхности [5, с.71, 6,7].

Ко второй группе факторов относятся неотектонические, гидродинамические, газодинамические и другие процессы в породных массивах, определяющими в этой группе являются неотектонические процессы [5, с.71, 8,9,10,11,12].

Естественное напряженное состояние земной коры в целом и верхней ее части непосредственно является объектом рассмотрения геомеханики, в общем случае определяется действием в земной коре двух независимых силовых полей. Одно из них – гравитационное поле – в соответствии с законом всемирного тяготения Ньютона. Другое – тектоническое поле обусловлено неравномерным

распределением в пространстве скорости тектонических движений и скорости деформаций земной коры, т. е. наличием градиента тектонических движений [5, с.71].

Тектоническое силовое поле отличается от гравитационной значительно большей сложностью. Градиент тектонических движений обуславливает появление горизонтальных тектонических сил, которые в сейсмологии и геотектонике оценивают по максимальным касательным напряжениям [5, с.72].

Экспериментальные данные о действии в массивах, наряду с гравитационным, тектонических силовых полей, появились в 60-х годах прошлого столетия, причем зафиксировано наличие в массивах горизонтальных сжимающих напряжений, в несколько раз превышающих возможные напряжения под действием гравитационных сил [5, с.72,13,14,15].

Горизонтальные тектонические силы проявляются не только в породах кристаллического фундамента, но и в осадочных толщах пород начиная с глубин в несколько километров. Об этом свидетельствуют, в частности, сверхвысокие или аномально высокие пластовые давления, которые присущи нефтяным и газовым месторождениям, приуроченным к подвижным неотектонически активным зонам на суше и на шельфах во всем мире. Если нормальное пластовое давление эквивалентно гидростатическому напору пластовых вод от земной поверхности до глубины нахождения залежи, то аномально высокое пластовое давление подчас в несколько раз превышает гидростатический напор. Сверхвысокие пластовые давления на месторождениях нефти и газа глубиной более 4,5 км проявляются почти повсеместно. Они возникают и существуют под влиянием интенсивных современных тектонических процессов, деформирующих относительно замкнутые залежи [4,5, с.72].

Породные массивы в земной коре находятся под действием сил тяжести (гравитационного поля), тектонических движений (тектонического поля), притяжения Солнца, Луны, других планет. На напряженное состояние породного массива оказывают влияние релаксационные процессы в недрах Земли и время [5, c.72].

В задачах геомеханики при обосновании конкретных инженерных решений горных работ необходимо знать первоначальное напряженное состояние ненарушенного породного массива, то есть до ведения горных работ. Определить напряженное состояние породного массива можно теоретически или путем непосредственных измерений. В расчетах трудно учесть все многообразие влияющих факторов. Экспериментальные методы в настоящее время находятся в развитии. Вместе с тем оценка порядка величин напряжения в породном массиве возможна [4,5, с.72, 13].

Обобщения полученных экспериментальных данных о природном поле напряжений в породном массиве позволили установить следующие фундаментальные закономерности исходного напряженного состояния земной коры:

1. В геологических регионах, различающихся по тектоническому режиму (кристаллические породы фундамента, породы осадочного чехла платформ, орогенные зоны), фактические напряжения в горизонтальном направлении статистически значимо превышают гравитационные на некоторые добавочные компоненты напряжений тектонической природы, причем с глубиной вклад тектонических компонентов в напряженное состояние массива возрастает.

2. Ориентировка направлений действия тектонических напряжений существенно изменяется при переходе из одного режима в другой и различна по отношению к тектонической зональности и структурным элементам земной коры, сформировавшимся в геологическом прошлом (палеозой и докембрий), и соответствует ориентировке границ современных литосферных плит.

3. Тектонические напряжения, изменяясь от участка к участку в зависимости от предыдущей геологической истории и современных тектонических процессов в недрах Земли, могут быть изучены только экспериментально как реализация случайного поля на основе методики последовательных приближений.

Таким образом, исходное напряженное состояние породного массива в пределах геологического однородного блока содержит гравитационные и тектонические компоненты суммарного поля напряжений, а также градиенты поля напряжений и случайные составляющие его по главным направлениям.

Натурные измерения, проведенные на различном масштабном уровне, выявили неоднородность поля напряжений в массиве в пределах регионов различных тектонотипов, рудных полей, отдельных участков месторождений [12,13,14,15,16,17]. Дано физическое объяснение явлений, наблюдающихся в природных условиях. Установлено наличие зон концентраций напряжений, связанное с блочным строением массива; различие тензоров напряжений в отдельных блоках, обусловленное изменчивостью физико-механических свойств пород, параметрами залегания блокообразующих разрывов, его линейными размерами; эластичные эффекты памяти горных пород, электронное состояние; существование звукопроводов вокруг выработок.

Результаты инструментальных определений естественных напряжений, полученные в различных районах мира, показали, что горизонтальная составляющая в большинстве случаев больше вертикальной, распределение напряжений в горизонтальной плоскости характеризуется существенной анизотропией и неоднородностью. Природа формирования, величина и характер распределения напряжений оказываются существенно различными в различных типах структурных элементов земной коры [5, с.74, 18,19,20].

Так, система гор Тянь-Шань, по классификации М.В. Гзовского [21,22,23], относится к областям с наиболее высокой интенсивностью движений. Однако полученные результаты показали, что горизонтальное напряжение здесь значительно меньше [24,25,26,27,28,29,30,31,32], чем на Кольском полуострове и в пределах балтийского щита в целом, испытывающих менее интенсивные тектонические движения. В качестве основных закономерностей поля напряжений системы гор Тянь-Шань следует отметить почти повсеместное превышение горизонтальных напряжений над вертикальными и его сильную неоднородность. Последнее соответствует геологической и геоморфологической

неоднородности этого типа региона и большой неоднородности всех физических полей: скорости распространения упругих волн, магнитного поля, аномалии силы тяжести и др. [5, с.75].

Поле напряжений в породных массивах формируется под влиянием факторов, действие которых распространяется в масштабах от нескольких миллиметров до крупных геологических структур и земного шара в целом [29].

С учетом современных представлений об иерархии тектонических структур, морфогенетических и инженерно-геологических особенностей породных массивов, структурных неоднородностей массивов пород и взаимодействии последних с инженерными сооружениями представляется целесообразным выделить следующие уровни напряжений, действующих в массивах: глобальный, региональный, зональный, локальный, элементарный и точечный, составляющие определенную иерархию (таблица 1.1) [4,5, с.75].

Уровень	Факторы, определяющие напряженное состояние	Масштаб
I. Глобальный	Космические, сила гравитации, геотектогенез	Земной шар в целом
II. Региональный	Типы тектонических структур, движение и взаимодействие геоблоков	Тектонические структуры и геоблоки, ограниченные региональными разломами
III. Зональный	Типы геологических форма- ций, геоморфологическая зональность, движение и взаимодействие тектонических блоков	Зоны геологических формаций, геоморфологические блоки
IV. Локальный	Влияние склона гор, их морфологические типы и параметры, структура и свойства	Зона влияния склона, 10 ² -10 ⁴ м
V. Элементарный	Неоднородность строения и свойств массивов пород	Элементы массива пород в зоне влияния склона, 10 ⁻² -10 ⁻² м
VI. Точечный	Неоднородность структуры и свойства горных пород	10-2-10 ⁰ м

Таблица 1.1 – Иерархии напряжений в породных массивах [5, с.75]

1.2 Обзор и анализ существующих методов оценки геомеханического состояния массивов горных пород

Структурно-неоднородные породные массивы рудных месторождений Кыргызстана испытывают многокомпонентное напряженное состояние. Тензор напряжений трансформируется в пространстве под воздействием глубины, объемного веса, свойств, тектоники, рельефа и других факторов. В связи с этим ни один отдельно взятый аналитический или экспериментальный метод оценки не опишет напряженное состояние исследуемого породного массива ни качественно, ни количественно. Поэтому рассмотрим возможные диапазоны применимости существующих методов оценки напряженного состояния породного массива, приведенных автором [4,5].

<u>Аналитические методы</u> [30,31,32,33,34,35,36,37]. Современные представления о математической модели породного массива сводятся к трем основным: породный массив – упругая сплошная среда; массив – упругопластическая среда; массив – пластическая среда, в которой вертикальные напряжения равны горизонтальным [26, с.156].

Естественное напряженное состояние породного массива в общем случае является функцией пространственных и временных координат. Факторы, влияющие на его деформирование, действуют постоянно повсеместно и временно локально. К первой группе факторов следует отнести: гравитационное поле, физико-механическое поле, структурно-механические особенности, рельеф земной поверхности. Ко второй группе факторов – тектонические и горообразовательные процессы, действие наземных и подземных вод и газов, производственная деятельность человека [26, с.156].

Оценка величины гравитационной составляющей может быть выполнена аналитическими и экспериментальными методами, а составляющую от остальных факторов – главным образом экспериментальными методами.

Если породный массив расположен на участках растяжения или отсутствуют интенсивные тектонические силы горизонтального сжатия,

основными силами являются гравитационные, а величины напряжений можно определить по формулам (1.1) А.Н. Динника [4,5]:

$$\sigma_z = \gamma \mathbf{H}; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma \mathbf{H} = \lambda \gamma \mathbf{H}, \tag{1.1}$$

где μ- коэффициент Пуассона; λ- коэффициент бокового распора; σ_z, σ_x, σ_y – соответственно вертикальные и горизонтальные нормальные напряжения, МПа.

Поскольку экспериментальными исследованиями [17,18,19] в пределах Тянь-Шаня доказано наличие тектонических напряжений, то для условий структурно-неоднородных рудных месторождения Кыргызстана гипотеза А.Н. Динника в полной мере не приемлем, так как территории рудных месторождений Тянь-Шаня представлена высокогорным, местами крутым скалистым рельефом и продолжающимися тектоническими процессами.

Если породный массив расположен в зонах сжатия или сдвига, напряжения рассчитываются по методу ВНИМИ [4,5] из выражения:

$$\sigma_1 = \gamma H + 2\tau; \ \sigma_2 = \gamma H + \tau; \ \sigma_3 = \gamma H. \tag{1.2}$$

где – σ₁, σ₂, σ₃ – соответственно главные нормальные горизонтальные и вертикальные напряжения, МПа; τ – величина сопротивления пород сдвигу по паспорту прочности.

Для условий структурно-неоднородных рудных месторождений Кыргызстана состояние породного массива представляется в следующем виде [4,5,37,38,39,40]:

$$\sigma = \sigma \gamma H + \sigma_{p} + \sigma_{T} + \sigma_{oct}, \qquad (1.3)$$

где $\sigma_{\gamma H}$ – напряжения обусловленные собственным весом пород от исследуемой точки в массиве до дневной поверхности, МПа; σ_P – напряжения от

геометрических параметров рельефа исследуемого участка, МПа; σ_{T} – тектонические напряжения, МПа; σ_{OCT} – остаточные напряжения, МПа.

Существующие аналитические и численные методы, а также результаты моделирования для условий плосконапряженного состояния позволяют учесть влияние наиболее простых элементов рельефа [26, с.161, 34].

Выделено три области массива, в которых характер распределения и величина напряжений имеет качественное и количественное различие: породный массив в горных склонах выше их оснований; породный массив под основанием гор, на глубинах, не превышающих их высоту; породный массив, на глубинах больше высоты гор.

Наибольшее влияние рельефа проявляется в приконтурных частях склонов гор и в нижележащем массиве, в непосредственной близости от оснований элементов рельефа [26, с.163].

При достаточной протяженности хребта можно ограничиться решением задачи о распределении напряжений в плоской постановке [26, с.163].

Расчет напряжений в нижележащем массиве с учетом влияния одиночного хребта производится по формулам проф. Ялымова Н.Г. [4,5,26, с.163, 39]:

$$\sigma_{p,x} = \sigma_x^{\gamma H} + \sigma_x^p = \lambda \gamma H + P \left\{ K - H \left[\ln \left(H^2 + x_1^2 \right) + \ln \left(H^2 + x_2^2 \right) - 2 \ln \left(H^2 + C^2 \right) \right] \right\}$$
$$\sigma_{p,y} = \sigma_y^{\gamma H} + \sigma_y^p = \gamma H + PK ; \qquad (1.4)$$

$$\tau_{p,xy} = PH(\theta + \varepsilon + \eta).$$

На глубинах, превышающих высоту горы, напряжения под вершиной и подножьем практически одинаковы и под основанием горы определяются по упрощенным зависимостям [26, с.167]:

$$\sigma_{p,x} = \lambda \gamma H\left(1 + \frac{h'}{\pi H \lambda}\right), \sigma_{p,y} = \gamma H\left(1 + \frac{h'}{\pi H}\right), \tag{1.5}$$

где
$$h' = \frac{h}{2}$$
; $P = \frac{\gamma h}{\pi (C - x_1)}$; $K = C\eta + x_1\theta + x_2\varepsilon$; $\theta = \operatorname{arctg} \frac{x_1}{H}$;

 $\varepsilon = arctg \frac{x_2}{H}; \quad \eta = -2arctg \frac{C}{H}; \quad \sigma_{p,x}; \sigma_{p,y}; \tau_{p,xy}$ – суммарные напряжения в нижележащем массиве хребта, обусловленные собственным весом пород и влиянием хребта; $\sigma_x^{\gamma H}; \sigma_y^{\gamma H}$ – напряжения от собственного веса столба пород в равнинной местности; $\sigma_x^p; \sigma_y^p$ – напряжения под действием рельефа; h – высота горы; H – глубина от основания горы; C – горизонтальная координата исследуемой точки массива относительно вершины горы; x₁, x₂ – горизонтальные координаты относительно подножья горы [25].

<u>Механические методы</u> [14,15,41]. Непосредственные замеры напряжений в породном массиве невозможны. Поэтому величину их оценивают косвенно путем измерения соответствующих упругих деформаций, которые однозначно связаны с напряжениями или определением каких-либо физических свойств, величина которых зависит от напряженного состояния пород.

Преобладающее число механических способов оценки напряжений основано на принципе разгрузки определенных участков массива. Сущность его заключается испытывающий нагрузку, В том, что а значит И упругодеформированный участок массива горной породы выводится из-под нагрузки частичным его отделением от остального массива. При этом фиксируется восстановление размеров (имевших исходных место ДО нагружения) массива.

Метод разгрузки базируется на связи между напряжениями в массиве и деформациями упругого восстановления пород после снятия нагрузки.

По техническому исполнению и по пересчету деформаций в напряжения метод разгрузки можно разделить на три способа:

- измерение деформаций торца выбуриваемого керна (способ ВНИМИ);

- измерение радиальных перемещений стенок центральной скважины при бурении керна (способ Хаста);

- измерение деформаций на стенках центральной скважины при выбуривании керна (способ Лимана).

Основным недостатком метода разгрузки торца скважины является отсутствие решения объемной задачи о распределении напряжений вокруг забоя скважины. Формулы получены на полуэмпирической основе и нуждаются в существенной доработке. Влияние напряжений, действующих вдоль оси или под углом к оси скважины, трудно учитывать. Необходимым условием применения этого метода является знание направления главного напряжения. Несмотря на перечисленные недостатки, метод разгрузки торца скважины является одним из основных методов в СНГ по расчету величин напряжений в породном массиве. Точность определения напряжений этим способом составляет 15-25%.

Структурные методы [4,5,12,13,16,19,20,21,39,40]. Они основаны на взаимосвязи величин и направлений главных напряжений с микро- и макроструктурами (направлением деформирования минеральных зерен, зеркалами скольжения, трещинами, разломами), возникающими в породах под воздействием Некоторые способы этих напряжений. этого класса (микроструктурный анализ, тектонические реконструкции) основаны на анализе структур, сформировавшихся в породах на протяжении ряда геологических эпох. Напряжения, определенные по этим структурам, дают представления об истории образования структур с точки зрения общего механизма действия сил. В этих структурах отражено и действие современного состояния [5, с.97-98].

С помощью способов, основанных на анализе геометрии трещин, возникающих на контуре подземных выработок и в керне, устанавливаются величины и направления современных напряжений, действующих в массиве. Однако следует отметить, что разрушение керна и пород в приконтурной части массива возле выработок возможно только при напряжениях, приближающихся к предельным разрушающим значениям [5, с.98].

Структурные способы весьма перспективны для эффективной оценки напряженности пород и дают ряд возможностей, которые отсутствуют или затруднены при использовании способов других классов. Потенциальные возможности структурных способов используются в недостаточной степени [5, с.99].

На основе многочисленных экспериментальных данных и натурных наблюдений установлена следующая механическая интерпретация трещин сдвига [14,15,16,24,30,35,36,37]. В массиве горных пород образовавшиеся нарушения в процессе воздействия сжимающих внешних сил P₁>P₂>P₃ ориентированы по отношению к ним следующим образом. Относительно направления действия минимальной силы Р₃ образуются две симметричные плоскости разрывов. Пересекаясь, они образуют в направлении действия силы Р₂ общую линию. В тектонике такая пара поверхностей нарушений называется сопряженным. К ним относятся сбросы, сдвиги, взбросы. Поэтому, если устанавливается факт наличия сопряженных поверхностей нарушений, значит, этим самым однозначно устанавливается направление действия промежуточного главного напряжения σ_2 – сжатие вдоль линии пересечения поверхностей нарушений [26, с.178]. Оси максимального (σ_1) и минимального (σ_3) главных напряжений однозначно определяются, как биссектрисы смежных углов, образованных сопряженными поверхностями. Эти углы, как правило, не равны, т.к. сопряженные трещины, вследствие противодействия сил внутреннего трения, не являются плоскостями, вдоль которых действуют максимальные касательные напряжения τ_{max} . Биссектриса острого угла представляет собой ось $σ_1$, а тупого – $σ_3$.

Выявляя сопряженные нарушения, как результат механического воздействия внешних сил на массив, можно установить главные направления [26, с.178].

1. а) для сбросов угол падения больше 45⁰, а угол между плоскостями сопряженных нарушений острый. Максимальное напряжение в этом случае

действует в вертикальной плоскости, минимальное – в горизонтальной и направлено перпендикулярно оси действия σ₂.

б) для взбросов угол падения меньше 45⁰, угол между плоскостями сопряженных нарушений тупой. В вертикальной плоскости действует минимальное напряжение, в горизонтальной, перпендикулярной направлению σ₂
 – максимальное напряжение σ₁.

2. При сдвигах максимальное и минимальное напряжения действуют в горизонтальной плоскости. Их ориентацию определяют по углам между плоскостями сопряженных нарушений. Промежуточное напряжение действует в вертикальной плоскости.

Происшедшее разрушение массива горных пород могло произойти при таком напряженном состоянии, которое обеспечивало бы выполнение его вида. В частности, разрушение пород посредством сдвига происходит при соотношении σ_1 и σ_3 , удовлетворяющему условию Кулона-Мора $\tau = \sigma_n t g \rho + c$, где τ – касательные напряжения; σ_n – нормальные напряжения; ρ , c – угол внутреннего трения и сцепления пород.

Таким образом, ставится следующая обратная задача: по характеру нарушений в массиве горных пород; по виду входящих в него структурных блоков; установленной геологической модели и по определяющим вид разрушения предельным соотношениям – реконструировать напряженное состояние пород, предшествовавшее его разрушению.

Совокупность точек максимумов σ_1 полных диаграмм «напряжение– деформация» при различных боковых давлениях σ_3 описывается паспортом прочности $\sigma_1 = f(\sigma_3, \sigma_0, c, \rho)$, где σ_0 – предел прочности пород на одноосное сжатие. Для разрабатываемых месторождений характерно условие $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ при значительной разности $\sigma_2 - \sigma_3$.

Разрушение пород в таких случаях характеризуется прямолинейной огибающей предельных кругов Мора, для которой справедлива зависимость [4,5,41,42,43,44,]:

$$0,5(\sigma_1 - \sigma_3) = \left[0,5(\sigma_1 + \sigma_3) + C \cdot ctg\rho\right] \cdot \sin\rho \tag{1.6}$$

имеющая после несложных преобразований вид:

$$\sigma_1 = \left[\left(1 + \sin \rho \right) / \left(1 - \sin \rho \right) \right] \cdot \sigma_3 + 2C \cdot \cos \rho \tag{1.7}$$

При разрушении пород одноосным сжатием, т.е. при $\sigma_3 = 0$:

$$\sigma_1 = 2C \cdot \cos \rho \equiv \sigma_0 \tag{1.8}$$

Подставляя (1.8) в (1.7), получаем для разрушающих напряжений зависимость:

$$\sigma_1 = \mu \sigma_3 + \sigma_0, \ \beta = (1 + \sin \rho) / (1 - \sin \rho) \tag{1.9}$$

При выполнении условий плоской деформации, когда $\varepsilon_2 = 0$, промежуточное главное напряжение σ_2 определяется из выражения:

$$\sigma_2 = \mu \left(\sigma_1 + \sigma_3 \right) \tag{1.10}$$

где µ – коэффициент поперечной деформации, в условиях предельного состояния стремится к величине 0,5. В условиях, близким к плоскости деформации, можно, по-видимому, отнести структуры, образованные в результате сброса, и сдвига.

При исследовании прочностных характеристик образцов пород на нисходящей ветви диаграммы деформирования В.Т.Вrady [4,5,13,] установили, что независимо от вида породы (испытывались образцы шести различных пород) напряжения в неразрушенной части образца сохраняются постоянными, близкими к начальной прочности и не зависит от того, на какой стадии падающего участка диаграммы «σ-ε» был остановлен процесс разрушения. Опыты останавливались, не доводя до полного разрушения образца, на

различных пяти стадиях нисходящей ветви диаграммы деформирования и по поперечным распадам образцов определялась площадь неразрушенной части образца.

На основании этих исследований можно предположить, что в массиве горных пород на момент его разделения (разрушения) на блоки средний уровень напряжений близок к предельному.

В соответствии с изложенным, с учетом схем формирования полей напряжений и формул (1.9) и (1.10) можно оценить средний уровень напряжений в массиве горных пород большинства месторождений [4,5,13].

Для сбросов, раздвигов напряжение σ₁ определяется весом пород, его ось, как правило, вертикальна. Оси напряжений σ₂ и σ₃ – горизонтальные:

$$\sigma_1 = \gamma H; \ \sigma_2 = \mu / \beta \Big[(1+\beta) \gamma H - \sigma_0 \Big]; \ \sigma_3 = \frac{1}{\beta} \Big[\gamma H - \sigma_0 \Big] \tag{1.11}$$

Для взбросов, надвигов характерно близкое к вертикальному положение оси напряжения σ₃. Оси σ₁ и σ₂ ориентированы горизонтально:

$$\sigma_1 = \beta \gamma H + \sigma_0; \ \sigma_2 = \mu \left[(1 + \beta) \gamma H + \sigma_0 \right]; \ \sigma_3 = \gamma H \tag{1.12}$$

Сдвиги образуются за счет горизонтального тектонического сжатия напряжениями σ₁, при вертикальной оси напряжения σ₂ определяемых весом пород [26, с.181]:

$$\sigma_1 = \left[\beta\gamma H + \mu\sigma_0\right] / \left[\mu(1+\beta)\right]; \sigma_2 = \gamma H; \sigma_3 = \left[\gamma H - \mu\sigma_0\right] / \left[\mu(1+\beta)\right] \quad (1.13)$$

От того, к какой зоне деформаций земной коры относится месторождение, зависит характер его напряженно-деформированного состояния.

Зависимости (1.11)–(1.13) позволяют оценить средний уровень напряжений не только в нетронутом массиве горных пород, но и в характерных

зонах сдвижений в окрестности горных выработок, в которых механизм разрушения входящих в них пород соответствует сбросу, сдвигу.

Характер перераспределения средних напряжений внутри регионального блока с учетом его блочного строения может быть установлен численными Наиболее методами. полно ЭТО осуществляется решением задач c использованием разработанного в отделе горных ударов ВНИМИ метода [4,5,13,41], базирующего на вычислительной схеме конечных элементов и положениях механики разупрочняющих сред. Учет нарушений и блочного строения массива осуществляется выделением в расчетной схеме областей, элементы которых наделены свойствами нарушенных пород и контактирующих через них блоков, или через двойную нумерацию узлов по линии контактов блоков, либо устанавливаются в процессе расчета в зависимости от характера напряженного состояния, свойств пород и принятых концентраций разрушения.

Изучение напряженного состояния неоднородного блочного массива горных пород предусматривает разработку по данным геодинамического районирования расчетной схемы, отражающей реальное горно-геологическое строения массива. Выявляются геометрические параметры регионального блока, полностью входящих в него блоков и участков прорастающих разломов. Размеры региональных блоков определяют характерные размеры расчетной области, в которую включаются основные элементы геологического строения массива и горнотехнической обстановки. Для всех структурных элементов, входящих в расчетную схему, должны быть определены физико-механические характеристики пород, выбраны соответствующие их поведению под нагрузкой реологические модели. Вид оконтуривающих региональный блок разрывных нарушений определяет ориентацию (по отношению к региональному блоку) главных напряжений. Внешние границы расчетной области для удобства задания на них граничных условий ориентируют по направлению действия главных напряжений, величины которых для блоков, образованных сопряженными разрывными нарушениями типа сброс, взброс, сдвиг, находятся по формулам (1.11)-(1.13).

<u>Геофизические методы</u> [4,5,44,45,46,47,48,49,50]. На сегодня эти методы развиваются как геоакустические, электрометрические, радиометрические методы изучения напряженного состояния породного массива.

Они основаны на зависимости скоростей и затуханий упругих волн и величин действующих напряжений в различных породах, имеют три группы. Ультразвуковые, импульсные и геоакустические способы различаются в основном диапазоном используемых длин волн и соответственно базами измерений. Ультразвуковые и сейсмические волны в большинстве способах генерируются в породах с помощью специальных излучателей (датчиков), либо посредством ударных или взрывных импульсов. Сейсмоакустические способы основаны на регистрации параметров упругих волн и числа импульсов, возникающих при разрушениях в породе, наблюдаемых при высоких напряжениях. Эти способы существенно дополняют другие группы данного класса, поскольку позволяют оценивать и выявлять напряженное состояние пород, близкое к предельному [5, с.99].

Геоакустические методы в сравнении с механическими, имеют ряд преимуществ: менее трудоемки, сохраняется монолитность изучаемого участка массива; возможны многократные измерения в одних и тех же точках или участках массива. Вместе с тем точность оценки величин напряжений этими способами, как правило, ниже, чем механическими способами [5, с.99].

Среди сейсмоакустических методов, успешно применяемых для изучения напряженно-деформированного состояния породного массива, наиболее эффективными являются акустические. Они технологичны и информативны. Акустические методы основываются на исследовании как искусственно созданных полей упругих колебаний, так и полей, возникающих в массиве при образовании трещин и разрыва [15, с.46].

Натурные методы имеют весьма важное значение для выявления абсолютного уровня напряженного состояния породного массива, характеризующихся теми или иными особенностями геологического строения и технологии ведения работ. Однако, они обладают рядом недостатков. Во-

первых, измерения проводятся в ограниченном числе точек и по ним трудно воссоздать картину напряженного состояния породного массива месторождения в целом. Во-вторых, измерения в основном могут вестись лишь в процессе ведения горных работ. В-третьих, сами методы еще далеки от совершенства по надежности и точности замеров и полученные с их помощью результаты нуждаются в сопоставлении с другими методами [25, c.40].

Интенсивно развиваются механические методы: варианты методов разгрузки, метод фотоупругих датчиков, методы, основанные на исследовании выбуренного керна, при различных видах нагрузки, с целью получения характеристик, аналогичных массиву; по определению кусковатости керна, дискованию керна, выходу буровой мелочи и др.

Механические методы имеют большие достоинства по сравнению с геофизическими, прежде всего в том, что многие из них могут давать количественную характеристику нагруженности и нарушенности массива. Однако они обладают рядом существенных недостатков – трудоемкость выполнения большинства методик, методы, основанные на изучении выхода керна, весьма субъективны, окончательный ответ во многом определяется квалификацией исследователя. Методы разгрузки трудно осуществлять на большом удалении от исследователя.

Геофизические методы оценки состояния породного массива во многом свободны от недостатков механических методов. Они значительно оперативнее и менее трудоемки, применимы без внедрения в массив, имеется возможность исследовать массив на значительном удалении OT исследователя, многократность использования датчиков и скважин позволяет осуществлять текущий прогноз состояния массива. Основная трудность заключается в правильной интерпретации результатов исследований, причем в некоторых случаях различные изменения характеристик пород, например: минеральный состав, влажность, трещиноватость – могут выражаться в одинаковых изменениях информационного показателя метода. В этих случаях появляется

необходимость в комплексировании различных методов для получения однозначного ответа.

Вышеизложенный краткий анализ применяемых на сегодня методов определения свойств и напряжений ненарушенного породного массива показал, что ни один отдельно взятый метод не в состоянии удовлетворить достоверной оценке и прогнозу напряженного состояния массива пород.

Структурно-неоднородные породные массивы рудных месторождений Кыргызстана определило большую неоднородность полей напряжений на всех уровнях: складчатой зоны, месторождения, участка, вокруг горной выработки. Структура напряженного состояния породного массива в горно-складчатых областях складывается из гравитационного поля, тектонических сил и влияния параметров рельефа. Как показали экспериментальные измерения многих авторов, горизонтальные напряжения в горно-складчатых областях превышают вертикальные и имеют различные направления действия, которые предопределены тектоническими движениями.

B условиях структурно-неоднородных рудных месторождений Кыргызстана оценка и контроль напряженного состояния могут быть осуществлены с применением комплексного способа оценки геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений [51,52,53,54,55,56,57,58,59,60]. Сущность комплексного способа заключается в геологической оценке состояния породного массива в пределах складчатой зоны, в горно-геологической оценке в пределах месторождения и в горно-технологической оценке вокруг горной выработки [61, с.83].

Основой комплексного способа служит системно-структурный подход к оценке напряженно-деформированного состояния породного массива, в котором объединяются важнейший постулат системного анализа – необходимость и возможность модельного отражения реальной деятельности, а также представления об иерархичности тектонических деформаций, движений земной коры и связанных с ними полей тектонических напряжений.

1.3 Тянь-Шаньские структуры и их влияние на структурнонеоднородное строение месторождений

Тянь-Шань – одна из величайших горных систем земного шара; протяженность ее более 2500 км; ширина 250-300 км. Горный узел Хан-Тенири делит Тянь-Шань на западную и восточную части. Западный Тянь-Шань широкий, со множеством параллельных хребтов (рис.1.1 и рис.1.2) [24].



Рисунок1.1 – Схема расположения осей мегантиклиналей (хребтов) Тянь-Шаня
[65, с.25]: І – мегантиклинали, поднятые до 3000 м (1-Кара Тоо, 37-Нура Тоо, 38-Актоо, 39-Заравшанский); ІІ – мегантиклинали поднятые от 3000 до 5000 м (2-Таласский, 3-Киндиктас, 4-Кастек, 5-Заилийское Ала-Тоо, 6-Кетмень, 7-Кунгей Ала-Тоо, 8,9-Тескей Ала-Тоо, 13-Акшыйрак, 15-Борколдой, 16-Байдулла-Капкатас, 17-Атойнок, 18-Нарын-Тоо, 19-Ортыс, 20-Атбашинский, 21-Кызарт, 21-Укок, 24-Жумгальский, 25-Кыргызский, 27-Угам Тоо, 28-Пекем Тоо, 29-Чаткальский, 30-Курамин Тоо, 31-Ферганский, 33-Ферганский, 34-Алайский, 36-Заравшанский, 37-Гисарский, 40-Майдантаг); ІІІ – мегантиклинали, поднятые 5000 м и более (5-Сарыжазский, 11-Энилчекский, 12-Кокшальский); ІV – глубинные разломы: І-Кокшальский, ІІ-Таласо-Ферганский, III-Гисаро-Восточно-Алайский

Разрез по линии I-I [26]



Разрез по линии по II-II [26]

км 12 0 12 24 36 48 км Кыргызский хр.Северный Кавак-Тоо хр.Джамандаван хр.Кыргызский мгальский Чуйская хр.Молдо-Тоо хр.Чаарташ хр. Торугарт Кино хр.Жумгальский 20D. впадина км 4 км $\lambda:m$



Рисунок 1.2 – Неотектонические профили через восточную (I-I), среднюю (II-II) и западную (III-III) части Западного Тянь-Шаня [65, с.25]: 1-породы палеозойского основания; 2-континентальные отложения платформенного типа юры, мела, нижнего и среднего палеогена; 3-породы орогенной молассы олигоцена нижнего неогена; 4-конгломераты неогена; 5-четвертичные отложения; 6-донеогеновая поверхность выравнивания, выработанная на палеозойских породах; 7-проекция короткого (*l*₁-жирная стрелка) и длинного (*l*₂-тонкая стрелка) крыльев вергентных структур; 8результирующее направление вергентных тектонических движений в новейших структурах, существующих с начала неотектонического этапа; 9,10-то же для поднятий, существующих с верхнего неогена и с начала четвертичного времени; 11-плоскость симметрии (*m*), фиксирующая антивергентный участок встречно-ориентированных тектонических движений земной коры; 12-разломы

Восточный Тянь-Шань (зарубежный) отличается сравнительно простым строением с поднятиями, поставленными друг к другу куполообразно.

Неотектоническое движения региона в целом представляет собой единый, но сложный многосторонний процесс, имеющий множество аспектов.

Это развитие различных морфологических разрывных структур – сбросов, сдвигов и надвигов; асимметричные и симметричные структуры и т.д.

В вергентной структуре Тянь-Шаня, имеющей короткое крутое и длинное пологое крыло, имеет место сближение области поднятия и размыва, с одной стороны, и области аккумуляции – с другой; с крутого крыла вергентной структуры он сносится интенсивнее, чем с пологого.

На крутом крыле вергентной структуры развиты разломы типа надвигов и взбросов, по которым палеозойские массы мегантиклинали надвинуты на кайназойские накопления соседней депрессии. Поэтому на крутом крыле вергентной структуры возникают сжатия, а на пологом – растяжение.

Анализ показал, что современная тектоника Тянь-Шаня представляет собой остаточные деформации литосферы, созданные интенсивными горизонтальными геодинамическими напряжениями, принимают участия ни одна пара структур, а множество их. Градиент скорости горизонтальных движений в 10 раз и более превышает аналогичное значение для вертикальной составляющей [24].

Горный рельеф, созданный в результате новейших и современных движений, в плане представлен крупными антиклинальными складками различной вергентности.

Сопоставительный анализ результатов измерения напряжений в натурных условиях некоторых месторождений Кыргызстана с данными неотектоники указывает на непосредственную связь между измеренными и тектоническими полями напряжений. Так, Алайская система волновых движений земной коры (XV) охватывает одноименные горные системы и ориентированы на север. Азимуты направлений максимальных горизонтальных напряжений, измеренных в массивах месторождений Хайдаркан, Чонкой, Кадамжай и др. расположенных

на юго-западе Фергано-Кокшальской складчатой области, совпали с азимутом неотектонических напряжений. А Чаткало-Ферганская (XI) система волновых движений земной коры ориентирована на юг. Азимуты направлений максимальных горизонтальных напряжений, измеренных в массивах месторождений Терексай, расположенного в Чаткало-Кураминской складчатой зоне, совпали с азимутом направлений неотектонических напряжений.

Анализ осей напряжений в очагах землетрясений: Ташкентского (1966 г.), Жамбульского (1971 г.), Сарыкамышского (1970 г.), Жаланаш-Тюпского (1978 г.) и др., дал также связи с азимутом направлений максимальных напряжений. Азимут оси напряжений сжатия преобладает в близмеридиальном направлении (A_σ=150-170⁰ и 330-350⁰). Распределение оси сжатия в основном близгоризонтальное. Абсолютный максимум углов наклона осей приходится на интервал углов 0-25⁰ [24].

Однозначное соответствие направлений деформации земной коры средних за новейшее время сейсмическим полям, современным движениям и полям измеренных напряжений в породных массивах свидетельствует об унаследовании современными деформациями новейших движений земной коры, что в свою очередь, делает возможным привлечение результатов исследовании новейших движений земной коры для задач прогнозирования тектонических полей напряжений в породном массиве.

В моновергентном неотектоническом движении, являющемся следствием горизонтальных напряжений земной коры, принимает участие не одна пара структур, а множество их. Такие однотипные ассиметричные структуры, распространенные на определенной площади названы системами. Такие системы структур Тянь-Шаня представлены на неотектонических профилях (см. рис.1.2). Стрелками показаны направления вергентных неотектонических движений – и по существу являются силовыми полями горизонтальных напряжений. Они имеют различные направленности в различных складчатых областях региона.

Рассматриваемая горная система, состоящая из глыбово-складчатых морфоструктур, каждая из которых представлена новейшей деформацией

герцинского пенеплена. Разрывы весьма типичны для тяньшаньских глыбовых складок. Они, как правило, зарождаются на крутых крыльях асимметричных складок.

Среди новейших разломов Тянь-Шаня, в большей своей части унаследованных от герцинского, а в ряде случаев и от каледонского этапов, особо следует выделить трансорогенный Таласо-Ферганский (рис.1.3), рассекающий весь Тянь-Шань и делящий его на северо-восточный



Рисунок 1.3 – Важнейшие новейшие разломы и линеаменты Тянь-Шаня на территории Кыргызстана [24, с.194]: *1* – краевые разломы: 1 – Таласо-Ферганский, 2 – Пскемский, 3 – Чандалашский, 4 – Атойнокский, 5 – Алабукинский, 6 – Северо- Ферганский, 7 – Карасуйский, 8 – Арсланбобский, 9 – Южно-Ферганский, 10 – Мадинско-Талдысуйский, 11 – Тарский, 12 – Катарский, 13 – Южно-Наукатский, 14 – Заамин-Каравшинский (Кичикалайский), 15 – Гульчинский, 16 – Ойтальский, 17 – Заалайский
(Вахшский), 18 – Дарваз-Каракульский, 19 – Предзаилийский, 20 – Кемино-Чиликский, 21 – Южно-Кунгейский, 22 – Северо-Аксуйский,

23 – Талдысуйский, 24 – Культорский, 25 – Тасминский, 26 – Ичкелетауский,
27 – Иссыкатинский, 28 – Шамсинско-Тюндюкский, 29 – Чонкурчакский,
30 – Нарынский, 31 – Предтерскейский, 32 – Центрально-ТерСкейский,
33, 34 – линия Николаева, 35 – Сарыджазский, 36 – Нарынский, 37 – Атйаши-Иныльческий, 38 – Чатыркельский, 39 – Каиндинский, 40 – Акшийракский,
41 – Борколдойский; 2 – разломы, выделенные по геофизическим данным;
3 – флексурно-разрывные зоны, выделенные по геофизическим данным;
4 – секущие линеаменты

эпигерцинский щит и юго-западную эпигерцинскую плиту. Все остальные новейшие разломы в большинстве своем они субширотны. В Чаткало-Кураминской системе хребтов и на востоке Алайского поднятия они имеют северо-восточное, а в Таласо-Ферганском хребте – северо-западное простирание.

Все остальные новейшие разломы в большинстве своем они субширотны. В Чаткало-Кураминской системе хребтов и на востоке Алайского поднятия они имеют северо-восточное, а в Таласо-Ферганском хребте – северо-западное простирание [20,24].

Многоэтапность геологического развития региона, смена во времени тектонических режимов, создавших сложное сочетание унаследованных и новообразованных структур; неоднократные и резкие изменения структурного плана обусловили сложность полей напряжений. Следовательно, складкии разрывы по существу являются «физической памятью» породного массива, хранящей обширную информацию о его структурно-геологических преобразованиях в прошлом и о состояниях в настоящем.

Структурному анализу подвергнуты разломы первого порядка: Таласо-Ферганского с Пскемским, линией Николаева, Южно-Ферганским, Атбаши-Иныльческим. Направления действия главных нормальных напряжений, определенных по элементам залегания указанных разломов, совпали с азимутом

направлений неотектонических напряжений, т.е. существует взаимосвязь между складчатыми и разрывными нарушениями. Следовательно, складки и разрывы по существу являются «физической памятью» породного массива, хранят обширную информацию о его структурно-геологических преобразованиях в прошлом и о состоянии в настоящем.

Итак, модель геомеханического состояния земной коры Тянь-Шаня сложная и источником напряжений в массивах является не только гравитационные силы. Ориентировка тензора напряжений в пространстве зависит от многих факторов (наличия разгрузки, остаточных напряжений и др.), но главным образом от направленности естественных напряжений, созданных неотектоническими силами [24].

При анализе неотектоники Тянь-Шаня необходимо отметить еще одну ее особенность. Мегантиклиналь не только поднимается вверх, но претерпевает процесс вергентности в сторону соседней впадины, приподнимая часть ее; в процессе воздымания образуется зона предгорий. Чем больше высота запрокидывающегося поднятия, тем больше ширина зоны предгорий. В Тянь-Шане, максимальные значения размаха рельефа по вертикали: нижнего яруса – 1500 м, среднего – 3500 м и верхнего – до 7000 м. Ширина предгорий характеризует, по существу, величину передачи горизонтальных напряжений на расстояние. Так, например, Хайдарканское месторождение занимая, собственно, Хайдарканскую антиклинальную структуру, расположено в зоне высоких предгорий Алая (рис.1.4).

Она протягивается в широтном направлении более чем на 12 км, шириной 3 км. Основным складчатым сооружением месторождения является двугорбая антиклиналь асимметричного строения. Шарнир антиклинали вытянут в субширотном направлении. Крылья сложены разнотипным комплексом пород среднего и верхнего палеозоя. Они сложены рядом субпараллельных кулисообразно расположенных складок низших порядков [24].







тонкоспоистые Известняки массивно-слоистые, солитовые, псевдосолитовые,



Рисунок 1.4 – Тектоническая схема месторождения Хайдаркан (а) и обобщенный разрез (б) [24, с.194]: 8 – Субширотные разломы: 1 – Северный, 2 - Кара-Арчинский, 3 – Южный, 4 – Долинный; 10 – Диагональные разломы: А –

Северный; Б – Центральный; В – Южный; 11 – Направление основной антиклинальной складки: 12 – направление мелкой складчатости; 13 – дайки диабазовых порфиритов; 14 – меридиональные трещины отрыва; 15 – знаки указывающие: а – блок опущен, б – блок поднят; 16 – ишметауский надвиг

Таким образом, установлен факт существования вергентных систем структур на территории Тянь-Шаня, отражающих главные направления горизонтальных тектонических напряжений в плане, часто меняющих свои направления на противоположные: южные или северные, т.е. о существовании взаимосвязи между складчатыми и разрывными нарушениями, причем высшие формы тектонических структур в породном массиве по отношению к низшим являются определяющими.

1.4 Цель и задачи исследований

Разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий Тянь-Шаня, недостаточная изученность влияния большинства факторов на геомеханическое состояние чрезвычайно затрудняет принятие обоснованных решений по оценке геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений. Как правило, эти решения принимаются лишь на основе накопленного производственного опыта, статистических и эмпирических закономерностей. Большинство способов охраны и крепления подземных горных выработок ориентированы лишь на пассивное противодействие проявлениям горного давления в процессе естественного развития во времени и пространстве, практически отсутствуют попытки активного управления горным давлением для охраны выработок. В настоящее время отсутствует комплексный метод, позволяющий оценить геомеханическое состояние нетронутого массива структурно-неоднородных рудных месторождений и при ведении горных работ.

Целью данной работы является создание научных основ и разработка методов оценки и контроля геомеханического состояния нетронутых массивов и ведения горных работ в структурно-неоднородных рудных месторождениях для повышения их эффективности и безопасности освоения.

В задачи представленной работы входили теоретическое и экспериментальное изучение следующих вопросов:

1. Разработка способа прогнозирования естественного напряженнодеформированного состояния в структурно-неоднородных массивах.

2. Определение взаимосвязи свойств и напряженно-деформированного состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений.

3. Установление закономерностей напряженно-деформированного состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений.

4. Обоснование и разработка модели напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов рудных месторождений.

5. Установление зоны локальных концентраций напряженнодеформированного состояния структурно-неоднородных массивов.

 Обоснование и разработка комплексного способа оценки геомеханического состояния структурно-неоднородных массивов месторождений.

7. Разработка способа определения и контроля устойчивости структурно-неоднородного массива незакрепленной горной выработки.

8. Создание способа крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов.

Выполнение поставленных задач исследования осуществлялось комплексно, с привлечением различных методов: натурных измерений, лабораторных экспериментов, аналитических исследований и промышленной проверки полученных результатов в производственных условиях.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МАССИВОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2.1 Обоснование метода многопараметрового контроля свойств и напряженного состояния пород

По мере увеличения давления на горные породы скорости перемещения упругих колебаний возрастает с момента приложения давления и затухает, исходя из типа породы, при достижении 30-70% от величины разрушающей нагрузки. Под одинаковой нагрузкой увеличение продольной скорости больше, чем увеличение поперечной скорости. Поэтому геоакустический метод облегчает использование значений продольной скорости В качестве информативного и технологичного параметра диагностики напряженного состояния массива. Поскольку основное изменение скорости наблюдается в продольной направлении оси нагрузки, увеличение скорости можно использовать для оценки характеристик распределения напряжений в массиве [4,5,26,59,60,61,62,63].

Лабораторные испытания $v_{p,s} = f(\sigma_{C\mathcal{H}})$ обширно используются для анализа напряженного состояния массива, которых недостаточно, предлагается дополнить исследования методом многопараметрового мониторинга и контроля характеристик пород [27,62,63].

В однородных изотропных горных породах продольная скорость в стадии упругой деформации также возрастает почти линейно с увеличением давления.

По завершении процесса сжатия кривая зависимости v = f(p) достигает уровня насыщения. Прекращается сжатие неоднородностей и замедляется рост скорости. Последующее повышение нагрузки вызывает локальные нарушения сплошности пород и спад скорости, развитие процесса далее приводит к деструкции пород.

Установлено, что информативность функциональных зависимостей различна для разных вариантов нагружения. При одностороннем и всестороннем давлении, вариация скоростей волн колебания вдоль направления распространения незначительны и лежат в границах корректности лабораторных испытаний.

v = f(p),Кривая изменения величины скорости ОТ давления У анизотропных пород, подчиняется вектору простирания волны в определенном колебания направлении нагрузки. Скорость волн вдоль направления распространения изменяется неодинаково при разнонаправленных нагрузках относительно слоистости. Кривая изменения величины скорости от давления вдоль направления распространения $v_{\parallel} = f(p)$ имеет более высокие значения, чем вкрест направления распространения $v_{\perp} = f(p)$ [4,5,29,62,63,64].

Оценка опытных эмпирических данных показывает, что о характере распределения напряжений в массиве можно судить по величине увеличения скорости перемещения упругих колебаний от давления. Для этой задачи были выбраны породы с изотропной и анизотропной симметрией, для выявления закономерностей у конкретных пород и использовать в полевых экспериментах.

Испытаниями на одноосное сжатие с одновременным прозвучиванием установлен характер зависимости $\upsilon_p = f(\sigma)$ (рис. 2.1) [63].

Регистрация была получена с помощью осциллографа с рамочным гальванометром. С помощью этой схемы получена полная картина деформации перед разрушением. Для работы с датчиком использовалось электрическое оборудование, позволяющее точно и автоматически фиксировать очень малые изменения сопротивления.

Для анизотропных ортотропных сред, при изучении их деформационных свойств, тензодатчики сопротивления фиксировались иным способом по отношению к трем взаимно ортогональным плоскостям упругой симметрии. Образец, между плитами пресса располагался так, чтобы сила к образцу прилагалась по оси, параллельной большой поверхности параллелепипеда.



Рисунок 2.1 – Зависимость скорости продольной волны *(a)* и ее приращений *(б) от* давления для окварцованных джаспероидов [62, с.93, 63]

Операция загрузки выполняется поэтапно с короткими эффектами для регистрации показания устройства. Массив со специально разработанным датчиком резонансной частоты 200 Гц помещается между прижимной пластиной и образцом. Ультразвуковой прибор одновременно регистрирует время прохождения импульсов акустических волн на стадии нагрузки [4,5,63,64].

В изотропных породах главное приращение скорости проявляется по оси сжатия и приращение скорости увеличивается до 30%. При росте сжатия до величин, разрушающих образец, приращение скорости увеличивается до 35%, превышает природную вариативность свойств испытуемых пород в четыре раза (см. рис. 2.1 б).

Корреляция скорости распространения акустических волн от давления на анизотропных породах определялась на цилиндрических и призматических формах образцов, представляющих различные анизотропные породы, по оси упругой симметрии, по их направлениям, раздельно, построены корреляционные кривые скорости упругой волны от изменения давления. Система этих зависимостей показывает качественные и количественные изменения коэффициента анизотропии скорости упругой волны и скорости упругой волны от направления нагрузки вдоль оси анизотропии.

По принятым схемам вдоль и поперек слоистости, в двух ортогональных направлениях, рассматривались образцы джаспероидов, сланцев и слоистых известняков. В трех направлениях, по падению, вдоль и поперек слоистости, рассматривались образцы слюдяно-кварцевых сланцев.

Испытаниями этих образцов определено, что кривая скорости в зависимости от давления $\upsilon_{p\parallel} = f(p)$ выше нагрузки вдоль слоев, чем $\upsilon_{p\perp} = f(p)$ при нагрузке поперек слоев (рис. 2.2). Отмечается рост скорости продольных волн с ростом давления, причем рост различен на протяжении цикла нагрузки. С ростом давления в начале наблюдается интенсивный рост скорости, затем она замедляется и отстает от прироста давления.

При нагрузке 50% от разрушающего давления вкрест слоям $\upsilon_{p\perp} = f(p)$ прирост скорости составляет 30% в слоистых известняках, 35% в сланцах и 20% в джаспероидах. В случае $\upsilon_{p\parallel} = f(p)$ вдоль слоям ~ 7 % для известняка и ~ 10 % для сланца [4,5,62,63,64].

Соотношение скоростей с нагрузкой от давления и без нагрузки следующее:

$$\frac{\Delta \upsilon}{\upsilon} = \frac{\upsilon_p - \upsilon_0}{\upsilon_0} \cdot 100\%, \tag{2.1}$$

где v_p – скорость волны с нагрузкой от давления *P*; v_0 – скорость волны без нагрузки.

В твердых телах упругие волны распространяются быстрее, чем плотнее среда и меньше прервана связь между частицами, то есть скорость волны вдоль слоя больше скорости волны вкрест слоя [4,5,62,63,64].



Рисунок 2.2 – Вариации скорости волн колебания вдоль направления распространения при нагрузке и разгрузке: 1 – для слоистых известняков: *а* – вдоль слоев, *б* – поперек слоев; 2 – для слюдяно-кварцевых сланцев: *в* – по падению, г – вдоль слоев, *д* – поперек слоев [62, с.94, 63]

При испытаниях сланца поперек слоям выявлены петли гистерезиса, кривая $\upsilon_{p\perp} = f(p)$ для периода нагрузки оказалась ниже кривой для периода разгрузки (см. рис. 2.2). Несхожесть величин скоростей при нагрузке и разгрузке лежат в границах корректности измерения до 3%.

При загрузке образцов по слою в начальном диапазоне нагрузок скорость продольной волны снижается до достижения удельной нагрузки ~100 кг/см2, а затем начинает увеличиваться с ростом давления. В этом случае она меньше, чем при нагрузке поперек слоям. Характер изменения скорости под давлением, несомненно, связан с характером деформации слоистой с неодинаковыми свойствами среды и последующей ее деструкции. Под нагрузкой по слою, вначале наблюдается рост поперечной скорости относительно продольной скорости деформации из-за ее затухания, по мере заполнения пор и трещин по слою, и перехода на отрицательный знак приращения. В этот момент наступает «точка перегиба», продольная скорость начинает увеличиваться с ростом давления (знак относительной скорости меняется, положительный) И прекращается резкое увеличение поперечной скорости.

В лабораторных условиях при увеличении давления анизотропный модуль слоистых известняков и слюдисто-кварцевых сланцев значительно снижается (рис. 2.3), при давлении 20–30 % от разрушающего, изменения медленные. Анизотропный модуль слоистых известняков снижается в среднем с 40-50 до 7-12 %, в слюдяно-кварцевых сланцах с 80–100 до 30–40% при 50-процентном давлении [62, с.94].

Как упоминалось выше, слоистый известняк быстрее разрушится, если нагрузка будет приложена по слою ($\sigma_{c,w}^{\parallel} = 610_{\kappa c'/cM^2}$). Разрыв происходит изза нарушения межзерновых связей. При этом скоростная анизотропия увеличивается, а скорость, измеренная поперек слою, уменьшается из-за разуплотнения породы. Когда нагрузка приложена поперек слоям, порода разрушается под действием большой нагрузки ($\sigma_{c,w}^{\perp} = 800_{\kappa c'/cM^2}$). Здесь контакт между зернами сжимается, скорость продольной волны поперек слоя

увеличивается, а скорость анизотропии уменьшается. То есть на практике изменение модуля анизотропии скорости упругой волны может происходить за счет горизонтально или вертикально ориентированных напряжений в слое.



Рисунок 2.3 – Корреляция коэффициентов анизотропии с ростом давления: а – слоистых известняков; б – слюдяно-кварцевых сланцев [62, с.94, 63]

Следовательно, анизотропия скоростей продольной волны: зависит от приложенного давления и меняется в зависимости от него. Другими словами анизотропия скорости продольной волны зависит от напряженного состояния пород. Однако в этой взаимосвязи еще много не изученных сторон.

Исследования подтвердили, что увеличение прочности пород четко отражается на тенденции увеличения скорости. Поэтому такие породы, как мрамор, чатбазарские известняки, характеризующиеся наибольшей однородностью и изотропностью, имеют достаточно высокую корреляцию прочность-скорость (r = 0,86). Коэффициент анизотропии прочности $k = \frac{\sigma^{\perp}}{\sigma^{\parallel}}$, определенный по величине этих пород, близок к единице [4,5,62,63,64].

Коэффициент корреляции прочность-скорость у таких пород, как эффузивы, листвениты, сланцы, серпентиниты месторождения Улуу-Тоо низкий (r=0,64), так как они неоднородные и анизотропные.(r = 0,64) Их прочностные свойства зависят от соотношения линии нагрузки к осям упругой симметрии.

Обычные и слюдяно-кварцевые сланцы, окварцованные джаспероиды и слоистые известняки, представляющие собой анизотропные породы, были исследованы на одноосное сжатие в разных направлениях, по отношению к их слоям, нагрузки (рис. 2.4). Полученные σ_{ccm} вдоль и поперек слоям для слюдяно-кварцевых сланцев практически идентичны. Они имеют минимальное сопротивление под углом 45[°] к слою ($\sigma_{ccm}^{45^\circ} = 525\kappa c/cm^2$), что составляет 60% от $\sigma_{ccm}^{90^\circ}$.



Рисунок 2.4 – Зависимость предела прочности пород [12] от угла наклона слоев при одноосном сжатии: а – слоистые известняки; б – джаспероиды; в – слюдяно-кварцевые сланцы [62, с.95, 63]

В случае джаспероидов решающее значение имеет предел прочности на

сжатие ($\sigma_{cw}^{60^0} = 850 \kappa c/cm^2$) или ~70% от $\sigma_{cw}^{90^0}$, измеренный под углом 60° к направлению слоя. В случаях углистых сланцев и слоистых известняков минимальное значение σ_{cw} соответствует нагружению по слою.

Анизотропию прочностных свойств, во многих случаях горные породы испытывают, когда их устойчивость к сдвигу и отрыву подорвана относительно к основной массе образующей данную породу из-за нарушений целостности в них.

Под одноосным сжатии по слою, при недостаточности сил трения из-за идентичности упругих свойств каркаса и вещества, скрепляющего его частицы, поверхность, подлежащая разрушению, согласная с линиями слоя ослабленных микротрещинами, деструкция происходит в виде отрыва.

Изучение анизотропии прочности дискутируется некоторыми исследователями без рассмотрения связи между упругими свойствами и анизотропией, хотя для изотропных пород известна зависимость «прочностьскорость».

Рост значения модуля упругой анизотропии сочетается ростом прочности анизотропии, а его снижение приводит к росту прочности на одноосное сжатие (табл. 2.1).

Однако, это не всегда так. Это видно из результатов экспериментальных данных (см. рис. 2.4). Анизотропия прочностных свойств у ортотропных слюдяно-кварцевых сланцев составляет менее 10 % по ее главным направлениям анизотропии. В таком случае анизотропия скоростей упругих волн может характеризовать только трансверсально-изотропную анизотропию прочностных свойств пород. Породам с высоким значением плотности у продольных волн согласно высокие скорости. К тому же, породам с высоким модулем однородности отклонение от средних значений составил $\Delta p = \pm 0.024 e/cm^2$.

Для пород месторождения Улуу-Тоо, характеризующихся структурной неоднородностью и слоистостью, важна абсолютная погрешность определения

плотности породы по значению скорости продольных волн. То есть, в породах с высоким коэффициентом однородности плотность породы можно качественно

Таблица 2.1 – Взаимосвязь упругой анизотропии с прочностными характеристиками [62, с.95, 64]

Порода	Скорость волн,	упругих <i>м/сек</i>	Коэффи- циент анизотропии скорости	Пределы прочности на сжатие, <i>кг/см</i> ²		Коэффици- ент прочно- стной анизо- тропии, %,	
	$\mathcal{U}_{p\parallel}$	$\mathcal{U}_{p\perp}$	упругих волн, %	$\sigma_{ m max}$	$\sigma_{ m min}$	$k = \frac{\sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min}}{\sigma_{\min}}$	
Базальт	4610	4410	4,5	1070	940	13.9	
Мраморизованные	5460	5100	6,8	865	830	4,1	
Хлоритовый сланец	7120	6400	11,3	3140	2400	30,8	
Джаспероиды	4760	4050	17,0	1290	850	51,9	
Слоистые известняки	4740	3280	44,6	805	610	32,0	
Сланцы углистые	5105	2715	87,5	1400	830	68,6	
Слюдяно-кварцевые	5100	2550	100,0	880	525	68,1	

оценить по скорости распространения упругой волны. Ультразвуковым способом однородность и коэффициент анизотропии определялись по значениям скорости продольной волны из следующего выражения [4,5,62,63,64]:

$$k_0 = \frac{\overline{\upsilon_P} - 3\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\left(\upsilon_P - \upsilon_{P_i}\right)^2}{n}}}{\overline{\upsilon_P}},$$
(2.2)

где v_p – средняя скорость, *м/сек*; v_{pi} – скорость i-го измерения, *м/сек*; *n* – число измерений.

Существенно различающиеся значения скоростей в разных направлениях анизотропных пород, вызывают некоторые усложненности в оценке их плотности.

Измерения скоростей упругих волн v_p, v_s, v_R пород производились по методике сквозного прозвучивания продольного и поперечного

профилирования.

Для анизотропных пород с модулем анизотропии 8% и более следует выполнять профилирование трех ортогональных разрезов с фазовой диаграммой в каждом направлении. Модуль анизотропии любого разреза определяется из выражения [4,5,62,63,64]:

$$k_a = \frac{\upsilon_{px} - \upsilon_{pz}}{\upsilon_{pz}} \cdot 100\%, \qquad (2.3)$$

где v_{px} , v_{pz} – скорости продольных волн соответственно в направлении осей *x* и *z*, *м/сек; n* – число измерений.

Установлению упругих, прочностных и деформационных свойств анизотропных пород предшествует определение направления залегания и расчетной схемы [62,63]. Для этого на блоках пород размером 30x30x30 *см* методом сквозного прозвучивания устанавливаются направления максимальных и минимальных значений скоростей продольных волн.

Для более строгого установления пространственной ориентировки образцов на одном из углов монолита выбираются три взаимно перпендикулярные плоскости. Каждая разбивается профилей, плоскость на несколько пересекающихся в одной точке и сдвинутых относительно друг друга на 11°, 22,5⁰ или 45° (рис. 2.5). Из совокупности диаграмм распределения скоростей по профилям на трех взаимно перпендикулярных плоскостях выделяются направления максимальных, минимальных и промежуточных значений скоростей продольных волн.

Анализ слоистых известняков показал, что коэффициент анизотропии скорости, определяемый как отношение продольной скорости, измеренной в вдоль и поперек слоя, составил 1,43. Это указывает на то, что ортогональная разница в акустических и упругих свойствах велика. Значения продольных волн, измеренных по профилям, расположенным под разными углами по радиусу опорной плоскости, были равными с некоторыми интервалами в пределах



Рисунок 2.5 – Схема прозвучивания блоков анизотропных пород [62, с.96, 63]

допустимых ошибок измерения. То есть, векторы распространения волн на них не влияют.

Средняя скорость прохождения продольной волны через слои $\bar{\upsilon}_p = 4550 \pm 70 M/cek$ равна скорости поперечной волны $\bar{\upsilon}_s^{\parallel} = 2520 \pm 90 M/cek$, $\bar{\mu}^{\parallel} = 0,27$. Вместе с тем, в зависимости от угла плоскости измерения к опорной плоскости данного образца изменяются величины акустических параметров. При увеличении угла они уменьшаются и достигают наименьших величин в направлении поперек опорной плоскости (табл. 2.2).

Подобные измерения были выполнены и на других изученных породах месторождения Хайдаркан. Установлено, что сланцам и слоистым известнякам свойственна расчетная схема с трансверсально-изотропной упругой симметрией анизотропии. При чем плоскость напластования является изотропной плоскостью. Для расчета упругих свойств такой среды следует знать скорости v_p и v_s , измеренные в двух ортогональных плоскостях.

В противоположность им, для Терексайских слюдяно-кварцевых сланцев и амфиболитов характерна схема расчета анизотропии с ортотропной

Таблица 2.2 – Значения измеренных скоростей волн с вариацией углов к плоскости напластования слоистого известняка, коэффициенты Пуассона и анизотропии [62, с.97, 63,64]

зца		υ _p , <i>ι</i>	м/сек			ΰ _s , <i>Μ</i>	/сек				
Nº oбpa	0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°	μ_p	μs	$k_a = \frac{v_{\mathrm{P }}}{v_{\mathrm{P}\perp}}$
1	4570	4050	3400	3200	2420	2380	2300	1980	0,30	0,19	1,41
2	4600	4070	3280	3180	2530	2290	2060	1880	0,28	0,22	1,45
3	4510	3800	3170	3030	2245	2300	2170	1910	0,31	0,16	1,48
4	4560	3680	3360	3060	2640	2470	3200	1900	0,23	0,17	1,19
5	4500	4140	3200	3020	2700	2540	2100	1720	0,21	0,26	1,49
6	4660	4050	3570	3200	2420	2340	2210	1950	0,27	0,20	1,45
7	4350	3380	3160	3040	2540	2280	2080	1690	0,25	0,27	1,43
8	4700	3870	3380	3290	2540	2300	1700	1560	0,29	0,33	1,43

симметрией. Измеренные по падению, вдоль и поперек слоев скорости продольных волн, значительно отличаются (табл. 2.3).

Степень анизотропии скоростей упругих колебаний оценивалась по формулам (2.2)-(2.3) с использованием методики ориентированного профилирования. Значения коэффициентов анизотропии, рассчитанных по скоростям Р- и S-волн, не совпадают. Обычно значения коэффициентов анизотропии для поперечных волн ниже, чем для продольных волн, однако однозначного соответствия между ними нет.

Для исследуемых пород с учетом расчетной схемы анизотропии и при использовании формул для расчета упругих характеристик анизотропных пород с ортотропной, трансверсально-изотропной симметрией (2.30), (2.31), (2.36), (2.50)–(2.52) определены упругие характеристики (табл. 2.4).

Из сравнивая таблицы 2.3 и 2.4, для вышеуказанных элементов залегания хорошо видно, что n²-кратное изменение скорости продольной волны

Таблица 2.3 – Средние значения скоростей упругих волн (v, *м/сек*) и коэффициентов анизотропии скоростей продольных (k^p, %) и поперечных (k^s, %) волн для исследуемых пород [62, с.97, 63,64]

Порода	υ _{px}	υ _{py}	υ _{pz}	υ_{sx}	υ_{sy}	υ_{sz}	k ^p _{yx}	k^{p}_{yz}	k ^p _{xz}	k ^s _{yx}	k ^s yz	k ^s _{xz}
Амфиболиты	6000	5630	5080	2970	3010	2650	6,6	18,3	10,9	5,5	12,4	13,5
Известняки слоистые	4610	-	3190	2460	-	1930	-	45,0	-	-	23,4	-
Известняки мраморизованные	5450	5380	5100	3160	3280	3190	1,3	6,8	5,4	3,6	1,0	2,8
Окварцованные Джаспероиды	4770	-	3930	2400	-	2180	-	21,0	-	-	11,1	-
Окремненные сланцы	5060	5000	4450	2940	2800	1980	1,2	13,7	12,3	5,0	48,4	41,4
Сланцы слюдяно-кварцевые	5130	4370	2540	2880	2500	1540	17,5	102,4	72,2	15,6	88,0	63,3

Таблица 2.4 – Упругие свойства анизотропных* и изотропных пород [62, с.97, 63,64]

Порода	$E_x \cdot 10^5$,	$E_y \cdot 10^5$,	$E_z \cdot 10^5$,	$G_x \cdot 10^5$,	$G_y \cdot 10^5$,	$G_z \cdot 10^5$,			
Порода	кг/см ²	μ_{xy}	μyz	μ_{ZX}					
Амфиболиты	7,48	6,61	5,35	2,55	2,64	2,04	0,33	0,30	0,31
Джаспероиды	5,58	5,56	5,60	-	-	-	0,21	0,20	0,22
Известняки мраморизованные	7,00	6,76	6,2	2,62	2,83	2,67	0,24	0,21	0,17
Известняки слоистые*	4,80	-	2,26	-	-	0,96	0,27	-	0,29
Окварцованные джаспероиды*	4,35	-	3,13	1,41	-	1,29	0,33	-	0,26
Окремненные сланцы	5,80	6,19	4,48	2,34	2,12	1,06	0,26	0,21	0,32
Сланцы слюдяно-кварцевые*	5,77	4,99	1,41	2,24	2,02	0,63	0,27	0,26	0,22
Сланцы*	6,71	-	5,22	-	-	1,43	0,26	-	0,28

соответствует n²-кратному изменению, собственно, в своих ориентациях, модуля упругости и модуля сдвига. Соответственно, чем значителен показатель анизотропии, тем выше разница в параметрах упругости наблюдается в этих направлениях. Изученные породы характеризуются значительной анизотропией скорости упругой волны от 5-10 до 80-100 % в широком диапазоне. Упругие свойства, измеренные в разных направлениях вокруг осей симметрии, также имеют значительную вариацию.

Модули упругости, определенные вдоль слоя $E_{||}, G_{||}, \mu_{||}$, больше значения определенного поперек слоя $E_{\perp}, G_{\perp}, \mu_{\perp}$. То есть отношения формируются в виде $E_{||} > E_{\perp}, G_{||} > G_{\perp}, \mu_{||} > \mu_{\perp}$.

Следовательно, прочностные свойства анизотропных пород зависят от поляризованной микроструктуры пород и направления нагрузки по слоистости. Относительно структурным и текстурным свойствам минимальные и максимальные значения прочности не всегда соответствуют направлению слоя. Наименьшее значение прочности слюдяно-кварцевого сланца достигается при наличии слоев под углом 45° в направлении нагрузки, а окварцованных джаспероидов при 60°.

Наименьшее значение прочности углистого сланца и известняка имеет место там, где направление нагрузки соответствует направлению слоя, а наибольшее значение расположено поперек слоя. Причина такого изменения зависит от механизма деградации изотропного образца.

Во всех случаях направление высокой скорости упругой волны соответствует высокому показателю прочности. Увеличение показателя коэффициента анизотропии, т. е. уменьшение упругой анизотропии, приводит к увеличению осевой прочности на сжатие.

При определении акустических v_p , v_s , k_{ik} и упругих Е, G, μ показателей пород с учетом расчетной схемы анизотропии пород установлено, что исследуемым породам свойственна их значительная анизотропия. Анализ результатов показывает, что чем больше степень анизотропии скорости, тем

больше разница в параметрах упругости, определенных для разных направлений элементов залегания.

Модули упругости, вычисленные по формулам теории упругости для изотропного тела, отличаются друг от друга на 50-60%. Если же их рассчитывать по формулам для анизотропных пород, это различие сокращается до 20-25%.

Таким образом, в анизотропных ортотропных породах динамические упругие свойства должны определяться значениями скоростей волн колебания по направлению распространения и вкрест распространения по плоскостям упругой симметрии и значениями скоростей волн колебания вкрест распространения под углом 45⁰ к ним. Для этого следует использовать полученные численные зависимости с предварительным определением расчетной схемы упругой симметрии, с ортотропной или трансверсальноизотропной, установлением у пород величин и главных направлений анизотропии.

В результате лабораторных испытаний на одноосное сжатие с одновременным прозвучиванием установлено следующее:

- давление сильно влияет на скорость продольных волн. Увеличением нагрузки от 0 до 50% от разрушающих, скорость продольной волны поперек и вдоль слоя увеличиваются на 25-35 % и 7-15 % соответственно. Связь между скоростью продольной волны и сжимающим напряжением не линейна.

- кривая изменения продольной волны вдоль слоев лежит выше кривой изменения скорости поперек слоев, т. е. породам свойственна анизотропия скоростей упругих колебаний и под давлением.

 величина изменения скорости продольной волны под нагрузкой в разных направлениях к слоям неодинакова и зависит от текстурных свойств среды;

- уменьшение анизотропии наблюдается при нагружениях вкрест слоистости, при нагружениях по слоистости анизотропия возрастает.

- в лабораторных условиях коэффициенты анизотропии скоростей продольных волн существенно снижаются по мере увеличения давления. Значительная часть изменений приходится на давления, составляющие 20-30% от разрушающих.

Результаты исследований упрощают задачу поиска корреляции упругих свойств от давления и глубины, интерпретации абсолютных и относительных распределений величин напряжений в горных породах. Полученные для слоистых известняков А=1.45, для углистых сланцев – А=1.20, является существенным и необходимым условием для учета напряженного состояния [64, c.15].

Тем не менее, горные породы в массиве подвержены ряду факторов и очень сложным полям напряжений, отличающихся от специально разработанных лабораторных испытаний.

В этой связи, необходимо продолжить исследования по разработке критериев оценки и контроля устойчивости породного массива вокруг выработки по параметрам акустического модуля на основе количественного учета влияния анизотропии А через скорости упругих волн v_p, v_s.

2.2 Обоснование и разработка способа оценки геомеханического состояния породного массива

Существуют различные способы и методы оценки геомеханического состояния массива пород [66,67,68]. Все они предназначены для изучения естественных напряжений и деформаций в породном массиве, которые используются в качестве начальных граничных условий при оценке геомеханического состояния массивов месторождений [56].

Недостатками этих способов являются их низкая достоверность и то, что эти данные могут быть использованы только для описания напряженного состояния массива на момент измерения в подземной выработке, что делает невозможным провести оценку начального естественного нетронутого

состояния. Либо, как в работе [67] вокруг коллекторов углеводородов (газ, нефть), а не рудных месторождений. Способ в работе [68] не позволяет получить оценку и гарантированно определить границы зон по устойчивости породного массива.

Задачей настоящей исследовательской работой являлось повышение надежности определения естественных напряжений и деформаций массива пород и точности оценки геомеханического состояния породного массива месторождений.

Таким образом, разработанный способ оценки геомеханического состояния породного массива месторождений [69] (рис.2.6), включает: измерение азимутов простирания и углов падения крыльев крупных антиклинальных и синклинальных складок и разрывных нарушений в пределах зоны расположения месторождения [61], по результатам которого строят структурную карту зоны с направлениями действия тектонических напряжений в зоне (см. рис.2.6); измерение на месторождении азимутов простирания и углов падения нарушений, по его результатам строят модель формирования тектонической структуры месторождения в разные этапы геологической истории структурообразования (рис.2.7); устанавливают зоны влияния рельефа и рассчитывают распределение напряжений с глубиной и по его результатам строят прогнозную карту естественного напряженнодеформированного состояния породного массива с характерными разрезами, построенными на вертикальную плоскость и графики направления действия и величинами распределения главных максимальных горизонтальных и главных горизонтальных и вертикальных напряжений (рис.2.8), строят схему распределения в массиве месторождения напряжений (рис.2.9), при этом выделяют три области массива [28, с.264]: породный массив в горных склонах выше оснований хребта, нижележащий породный массив под основанием гор, на глубинах, не превышающих их высоту и нижележащий породный массив, на глубинах больше высоты гор и устанавливают в трех областях зоны, в



Рисунок 2.6 – Схема реализации способа оценки геомеханического состояния массива пород [28,69, с.11, Фиг.1]

которых характер распределения и величина напряжений имеют качественные и количественные различия, на косогорах горы по всей высоте горы h и в центральной части под вершиной на глубину H = h образуются зоны пониженных напряжений, в приконтурной части горы на высоту горы h и под горой на глубину H = h образуются зоны повышенных [28, c.264] напряжений, под косогорами у основания горы на глубину H = h образуются зоны наибольшей концентрации напряжений, под основанием горы образуется зона равных напряжений на глубину H > h [28, c.264, 69].

Разработанный способ базируется на следующих общеизвестных физических основоположениях. Геомеханическое состояние породного массива – это совокупность показателей, характеризующих деформируемость, прочность и устойчивость массива при определенном силовом воздействии, т.е. описывающих показатели формирования геомеханических процессов деформирования, рекомбинаций напряжений и деструкции.

Прохождение любой горной выработки в породном массиве производится выемкой горных пород, что ведет к перераспределению естественного поля напряжений и к организации вторичного поля напряжений в массиве в окрестностях выработки [70,71,72]. Они трансформируются на отдалении выработки от начала, зависят от свойств и структурных особенностей горных пород, показателей напряжений, начальных геометрических параметров выработки, а также рельефа земной поверхности местности. В пространстве воздействия выработки, последовательно чередуются зоны, отличающиеся векторами действующих напряжений, степенью деформированности и естественным полем напряжений, влияющих на геомеханическое состояние породного массива.

Проведенные экспериментальные исследования, в наибольшей степени на напряженно-деформированное состояние исследуемых участков, а значит, и геомеханическое состояние их массивов [73] влияют не только напряжения обусловленные весом пород в вертикальной плоскости, а в целом сумма таких напряжений как, тектонические напряжения, напряжения обусловленные весом пород и напряжения обусловленные влиянием рельефа, которые действуют в взаимно перпендикулярных: в вертикальной (σ_3) и горизонтальных (σ_1, σ_2) плоскостях.

Разработанный способ оценки (рис.2.6) от зоны расположения месторождения до участков месторождения обеспечивает принцип от «высшего» порядка к «низшему». Это позволяет определить направления действия и рассчитать величины трех главных взаимно перпендикулярных напряжений в массиве пород региона, зоны и участка до горных работ. Это: обеспечивает оптимальные условия планирования и проведения горных выработок в трехмерном пространстве, а значит, обеспечить минимальное влияние негативных геомеханических факторов на устойчивость горных выработок в период их проведения и эксплуатации; позволяет качественно оценить [73] геомеханическое состояние массива пород в корреляции от разряда напряженно-деформированного состояния и влияния рельефа поверхности земли.

На рис. 2.7 представлены схемы выполнения операций при оценке породного массива приведена стереографическая и диаграмма ориентировки главных тектонических напряжений в пределах зоны, в которой расположено месторождение, первый этап (см. рис. 2.6).

Рис. 2.7 а отражает пример порядка и очередности выполнения первого этапа способа – построений по установлению азимутов простирания и углов падения направления действия главных тектонических напряжений $\sigma_1=142^\circ \square 2^\circ$, $\sigma_2=52^\circ \square 72^\circ$ и $\sigma_3=234^\circ \square 18^\circ$ реконструированием ориентировки напряжений по азимутам простирания – 80° и 40°, и углам падения – $\square 50^\circ$ и $\square 40^\circ$ соответственно двух крыльев складки продольного изгиба на внутренней территории которой расположено месторождение [69].

На рис. 2.7 б показана стереографическая диаграмма для определения пространственного положения главных тектонических напряжений $\sigma_1=142^\circ \square 2^\circ$, $\sigma_2=52^\circ \square 72^\circ$ и $\sigma_3=234^\circ \square 18^\circ$ в пределах зоны по результатам выполнения первого этапа способа. $S_1(80^\circ \square 50^\circ)$ – плоскость северного крыла складки продольного изгиба, $S_2(40^\circ \square 40^\circ)$ – плоскость южного крыла складки продольного изгиба. Линия пересечения этих плоскостей является осью напряжения σ_2 . P_1 и P_2 – полюсы сопряженных плоскостей, M – плоскость



Рисунок 2.7 – Схемы выполнения операций при оценке породного массива (а) и стереографическая диаграмма ориентировки главных тектонических напряжений (б) в пределах зоны, в которой расположено месторождение [69, с. 12-13, Фиг.2-6]

сдвига с осями напряжений σ_3 и σ_1 . Γ_1 и Γ_2 – истинные направления сдвига, соответствующие пересечению плоскости M и соответствующих плоскостей

 S_1 и S_2 . Центр дуги $\Gamma_1 \Gamma_2$ является проекцией напряжения σ_3 , а на расстоянии угла равному 90⁰ от нее находится ось напряжения σ_1 .

На рис. 2.8 представлены схемы выполнения операций при оценке породного массива в границах месторождения [69], второй этап (см. рис.2.6), которая отражает пример порядка и очередности выполнения второго этапа способа – построению схем образования тектонических структур под действием главных тектонических сил напряжений действующих В вертикальной плоскости σ₃, в горизонтальной плоскости главной сжимающей - σ_1 и промежуточной - σ_2 , построений и установлению направления действия главных нормальных напряжений, определению элементов залегания (азимутов и углов падения) осей главных напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 , построению схемы ориентировки главных сжимающих напряжений σ₁ соблюдая принцип «от высшего порядка» - А. По основной складке продольного изгиба «к среднему порядку» - Б. И «от среднего порядка» - Б к «низшему» В по тектоническим разломам взбросу F₁ и сбросу F₂ ограничивающим месторождение.

На рис. 2.9 представлена общая схема к расчету и определению напряжений в породном массиве месторождения аналитическим способом, второй этап на рис. 2.6. Производится расчет напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 в массиве от воздействия горы в зависимости от высотной отметки горизонта над уровнем моря, глубины от поверхности земли и угла наклона склона к горизонту в различных зонах воздействия горы.

Зона А – породный массив в горных склонах выше оснований хребта на высоту горы *h*.

Зона Б – нижележащий породный массив под основанием горы, на глубинах Н, не превышающих его высоту *h*.

Зона В – нижележащий породный массив, на глубинах Н больше высоты горы h. x, y – горизонтальные и вертикальные координаты исследуемой точки в массиве, м; α – угол наклона склона к горизонту; β – угол, определяющий зону влияния склона; h – высота хребта; a – ширина хребта; c – расстояние от



Рисунок 2.8 – Схемы выполнения операций при оценке в границах месторождения, второй этап на рис.2.6 [69]

вершины хребта до исследуемой точки; x₁, x₂ – расстояния относительно подножий хребта [4,5,28,69].



Рисунок 2.9 Схема к расчету и определению напряжений в породном массиве месторождения аналитическим способом [4,5,28, с.265, 32,69]

Строится прогнозная карта отражающая степень напряженности и устойчивости породного массива месторождения, построенная по ограничивающим месторождение и графики тектоническим разломам, изменения величин вертикальных σ_3 и горизонтальных σ_1 напряжений с глубиной способом определенные аналитическим по поперечным вертикальным разрезам, как сумма напряжений обусловленных собственным весом пород от исследуемой точки до дневной поверхности σ_{vH} , напряжений от геометрических параметров хребта σ_p и тектонических напряжения σ_T .

$$\sigma = \sigma_{\gamma H} + \sigma_p + \sigma_T;$$

$$\sigma_{px} = \lambda_{\gamma y} - \gamma \varepsilon t g^2 \beta (x + y t g \beta); \sigma_{py} = \gamma y - \gamma \varepsilon (x + y t g \beta); \beta = \lambda t g \alpha;$$

$$\tau_{px,y} = \gamma \varepsilon t g \beta (x + y t g \beta); \varepsilon = \frac{1 + \lambda t g^2 \alpha}{3 t g^2 \beta t g \alpha + 3 t g \beta + t g^3 \beta t g^2 \alpha + c t g \alpha};$$

$$\sigma_{\rm x}^T = 4,5 + 0,037H; \, \sigma_{\rm y}^T = 5,0 + 0,022H. \tag{2.4}$$

На рис. 2.10 представлена общая схема к аналитическому расчету величин напряжений, действующих в породном массиве месторождения в различных частях хребта под влиянием горизонтальных тектонических напряжений T: в зоне A – в склонах хребта равной высоте хребта h, где определены зона действия пониженных напряжений 1 и зона повышенных напряжений 2; в зоне Б – под основанием хребта на глубину H равной высоте хребта h (H=h), где определены зона наибольшей концентрации напряжений 3, повышенных и пониженных напряжений; в зоне B – под основанием хребта на глубину H больше высоты хребта h (H>h), где определена зона действия равных напряжений 4 [69].



Рисунок 2.10 – Зоны в породном массиве структурно-неоднородных рудных месторождений по уровню напряжений [69]

В таблице 2.5 показаны значения направлений действия главных тектонических напряжений $\sigma_1=142^\circ \sqcup 2^\circ$, $\sigma_2=52^\circ \sqcup 72^\circ$ и $\sigma_3=234^\circ \sqcup 18^\circ$ полученных по параметрам залегания (азимутам простирания – 80° и 40° , и углам падения – $\sqcup 50^\circ$ и $\sqcup 40^\circ$) соответственно двух крыльев складки

продольного изгиба на внутренней территории которой расположено месторождение (см. рис. 2.8).

Таблица 2.5 – Определение направлений действия главных напряжений по элементам залегания складки продольного изгиба [69]

Наимено- вание нарушения	Элементы залегания, град.		Направления действия напряжений, град								
	Аз. Угол прост. пад.		аз. прост.	5 ₁ угол паден.	аз. прост.	5 ₂ угол паден.	аз. прост.	5 ₃ угол паден.			
Складка продольного изгиба	80 50	50 40	142	2	52	72	234	18			

В (2.4) приведены расчетные формулы для определения величин напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 в породном массиве в зависимости от высотной отметки горизонта над уровнем моря, глубины от поверхности земли [15] и угла наклона склона к горизонту в различных зонах влияния рельефа под двум линиям на обеих склонах хребта и одной линии по оси хребта вдоль месторождения на трех поперечных вертикальных разрезах месторождениях). σ_{px}, σ_{py} – горизонтальные напряжения от геометрических параметров хребта, соответственно в меридиальном и широтном направлениях; τ_{pxy} – касательные напряжения от геометрических параметров хребта; λ – коэффициент бокового давлении; у – объемный вес, т; x, y – горизонтальные и вертикальные координаты исследуемой точки в массиве, м; а – угол наклона склона к горизонту; β – угол, определяющий зону влияния склона. Величины тектонических напряжений $\sigma_x^{T} = 4,5 + 0,037H - в$ меридиональном направлении; $\sigma_v^T = 5.0 + 0.022H$ – в широтном направлении, где 4,5 и 5,0 – модули горизонтальных тектонических напряжений непосредственно у поверхности земли, где вертикальные напряжения равны нулю; 0,037 и 0,022 – градиенты изменения горизонтальных тектонических напряжений на 1 м глубины; Н –

глубина от поверхности земли до исследуемой точки в массиве. Общее естественное напряженное состояние породного массива σ составляет сумму напряжений обусловленных собственным весом пород от исследуемой точки до дневной поверхности $\sigma_{\gamma H}$, напряжений от геометрических параметров хребта σ_p и тектонических напряжения σ_T (см. рис. 2.9).

Способ оценки осуществляется следующим образом. В период начальных стадий геологоразведочных работ, геологических съемок и геолого-поисковых работ, измеряются азимуты и углы падения крыльев крупных антиклинальных и синклинальных складок и разрывных нарушений в пределах зоны, в которой расположено месторождение, по которым строят структурную карту зоны, проводится первый этап – геологическая оценка – определяются азимуты и углы падения действующих в пределах зоны тектонических напряжений по параметрам складок и разрывных нарушений высших порядков (см. рис.2.7).

В период геологоразведочных работ, измеряются у тектонических нарушений месторождения азимуты и углы падения, по которым строят модель формирования тектонической структуры месторождения в разные этапы структурообразования, проводится второй этап – горно-геологическая оценка – определяются азимуты и углы падения действующих тектонических напряжений реконструированием осей напряжений по элементам складок и разрывных нарушений в пределах месторождения, устанавливаются зоны влияния рельефа и рассчитывается распределение напряжений по каждому горизонту. Суммарный тензор напряжений σ рассчитывается из напряжений весом налегающих пород $\sigma_{\gamma H}$, напряжений от влияния рельефа σ_p и тектонических напряжений σ_{T} . Напряжения от влияния рельефа σ_p и складываются из напряжений σ_{px} действующих по оси *x* в горизонтальной плоскости, напряжений σ_{py} действующих по оси *y* в вертикальной плоскости и касательных напряжений τ_{pxy} в зависимости от значений координат точки расчета *x* и *y*, угла наклона склона *α* к горизонту, угла *β* определяющего зону

влияния склона хребта, глубины точки расчета H, объемного веса γ надавливающих пород, показателя бокового распора λ в породном массиве (см. рис. 2.8-2.9).

Определяются напряжения σ_1 , σ_2 и σ_3 в массиве от воздействия горы в зависимости от высотной отметки горизонта над уровнем моря, глубины от поверхности земли и угла наклона склона к горизонту в различных зонах воздействия хребта. Породный массив в горных склонах выше оснований хребта на высоту хребта h – зона А. Нижележащий породный массив под основанием хребта, на глубинах H, не превышающих его высоту h – зона Б. Нижележащий породный массив, на глубинах H больше высоты горы h – зона В (см. рис.2.10).

Строятся прогнозная карта начального напряженно-деформированного состояния массива с характерными разрезами, построенными на вертикальную плоскость и графики изменения величин вертикальных σ_3 и горизонтальных σ_1 напряжений с глубиной определенные аналитическим способом по поперечным вертикальным разрезам, как сумма напряжений обусловленных собственным весом пород от исследуемой точки до дневной поверхности $\sigma_{\gamma H}$, напряжений от геометрических параметров хребта σ_p и тектонических напряжения σ_T .

Определяются области породного массива месторождения в различных частях хребта под влиянием горизонтальных тектонических напряжений T, в которых характер распределений и величина напряжений имеют качественные и количественные различия: в зоне A – в склонах хребта равной высоте хребта h, где определены зона пониженных напряжений 1 и зона повышенных напряжений 2; в зоне Б – под основанием хребта на глубину H равной высоте хребта h (H=h), где определены зона наибольшей концентрации напряжений 3, зона повышенных напряжений 2 и зона пониженных напряжений 1; в зоне B – под основанием хребта на глубину H равной высоте хребта h (H=h), где определены зона наибольшей концентрации напряжений 3, зона повышенных напряжений 2 и зона пониженных напряжений 1; в зоне B – под основанием хребта на глубину H больше высоты хребта h (H>h), где определена зона действия равных напряжений 4 (см. рис. 2.10).

С началом горно-строительных работ и в период ведения горных работ проводится третий этап – горнотехнологическая оценка – по мере строительства горных выработок применяются механические, структурные и геофизические методы измерения напряжений вокруг выработок, в результаты второго этапа вносятся поправки. Проводится мониторинг действия максимальных напряжений в массиве по разработанному способу определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки [69].

2.3 Разработка способов прогнозирования напряженнодеформированного состояния в структурно-неоднородных массивах

Исследование, планирование, организация и использование горных дорог, гидротехнических сооружений, карьеров, рудников в высокогорьях Тянь-Шаня – очень сложный процесс [4,5,26,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83].

Это связано не только с абсолютной высотой гор и разреженной атмосферой, но и сложностью геологического строения, сложным сочленением тектонических структур разных масштабов и, как следствие этих факторов, сложными структурно-механическими особенностями породного массива и его напряженного состояния.

Для обеспечения безопасной и эффективной отработки месторождений и эксплуатации инженерных сооружений, не создавая очагов высокой концентрации напряжений и условий проявлений нежелательных геомеханических процессов, необходимо оценить и контролировать породный массив по степени нарушенности, напряженности на различные планируемые горнотехнические случаи.

Анализ и обобщение горного опыта показывает, что при ведении открытых и подземных горных выработок их конструктивные параметры и
технологии каждом случае уникальны решением множества В геомеханических задач: выбор схемы заложения и развития выработок различного назначения; выбор системы разработок на допустимых размерах обнажений. безопасных конструкций целиков, способа погашения образовавшихся пустот, их изоляции и т.д. [26,70].

Из-за незнания различных ландшафтно-топографических, климатических, структурно-геологических условий горного объекта очень сложно принимать обоснованные решения по обращению с горными породами, так как на проявление геомеханических и геодинамических процессов влияет множество факторов. Горнодобывающие предприятия обычно проектируются на основе данных геологоразведки, которые содержат основную информацию о геологическом строении, запасах полезных ископаемых и качестве, но фактически не содержат информации о геомеханическом состоянии массивов горных пород.

Следовательно, при проектировании многие способы направлены на отработку месторождений неактивным управлением геомеханическими процессами вокруг обнажений. Нет метода оценки нетронутого породного массива и условий напряжений вблизи обнажений во время ведения работ.

На основе анализа и обобщения результатов экспериментальных измерений выявлены следующие особенности в картине распределения напряжений в породных массивах Тянь-Шаня. Величины напряжений, действующих в горизонтальной плоскости более величин напряжений, одинаковой глубине действующих В вертикальной плоскости. При расположения, в крепких породах величины напряжений, действующих в горизонтальной плоскости выше, чем в породах средней прочности. Величины напряжений в вертикальной плоскости практически равны значению уН веса налегающих пород и не обусловлены прочностью породы. Отличия в составляющих напряжений действующих в горизонтальной плоскости в сходной прочности породах, но дислоцированных в сотнях и тысячах

километрах друг от друга, на аналогичной глубине, не существенны. Выявлены большие, по величинам, несоответствия рассчитанных по уравнениям А.Н. Динника (1926) измеренным на рудниках. Главные напряжения нетронутого породного массива направлены по меридиану практически горизонтально. На глубинах 100-1000 м в крепких породах величины напряжений, действующих в горизонтальной плоскости выше в 2,0-4,0 раза напряжений, действующих в вертикальной плоскости. В средней прочности породах степень трещиноватости выше в 1,2-1,8 раза [29, с.6].

Вышеприведенные особенности породного массива Тянь-Шаня обусловлены существованием в литосфере центральноазиатского поля горизонтальных напряжений от меридиального движения Памира под давлением Индо-Австралийской плиты на Евроазиатскую, что наиболее логично и убедительно объясняется теорией тектонических плит [4,5,26,29, с.6].

Последовательные изменения структурной системы Тянь-Шаня привели к формированию как минимум трех структурных этажей. Иными словами, это орогенный комплекс, складчатый фундамент террейнового этапа и платформенный чехол, отражающий структурные этапы.

Жесткий фундамент, сформированный несколькими структурнофациальными зонами палеозойских трещиноватых пород нарушенного залегания, разного состава и генезиса был создан тектоническими движениями каледонского и герцинского периодов. В альпийскую складчатость, к окончанию верхнего палеозоя, на выровненной его поверхности от новейших движений, но унаследовавших структурные виды герцинского этапа, образовались: сложные антиклинали и синклинали в виде новейших складчато-глыбовых) форм (складчатых И структурных четко продемонстрированных в современном рельефе; мезокайнозойский (средний) и четвертичный (верхний) структурные этажи [29].

Сопоставление и схем показало плотностей карт взаимосвязь землетрясений и глыбовых структур, в дублировании формами сейсмических зон особенностей рисунка глыбовой структуры, то есть неоднородность Тяньглубинно-глыбовых Шаньских структур проявилась новейших на тектонических напряжениях. Определена взаимосвязь между азимутом в направлении максимального горизонтального напряжения, измеренного в неоднородном массиве, и азимутом в направлении неотектонических напряжений в исследуемой складчатой зоне [29, с.7].

Горообразовательные Тянь-Шане движения В BO времени И пространстве протекали вполне закономерно, образуя ряд преимущественно широтно вытянутых «силовых полей», в пределах которых ориентировка движений была строго направленной: либо с юга на север, либо с севера на юг. Каждое такое «поле» в структурном плане объединяет определенную систему мегантиклиналей (хребтов), мегасинклиналей (межгорных впадин), связанных единством процесса формирования, со свойственными ей чертами строения и взаимоотношения структурных форм, а также миграций областей сноса и осадконакопления. Все это дает основание принять неотектоническое районирование как первичный материал для геологической оценки складчатой зоны [30].

Сумма трех главных горизонтальных составляющих, трех полей напряжений: гравитационного, современного тектонического и остаточного магматогенного является главным горизонтальным напряжением в массиве Тянь-Шаня [29].

Сравнивание результатов измерения напряжений в натурных условиях с неотектоническими данными Тянь-Шаня указывает на непосредственную связь между измеренными полями напряжений [30] и тектоническими движениями в истории формирования земной коры. Иначе говоря, результатом зарождения и развития геологических структур в породном массиве является его напряженное состояние. Следовательно, Тянь-Шань

вполне возможно дифференцировать на зоны подобием тектонических движений и постоянным напряженным состоянием в пространстве [29, с.7].

Наличие горизонтальных полей напряжений с зональными распределениями по направлению действия, взаимосвязь складчатых и разрывных структур в регионе указывают на то, что исследование земной коры на идентификаторах тектонических движений региона в увязке структурных единиц и их взаимодействия [29, с.7] представляется наиболее перспективным путем к отысканию способов долгосрочного прогнозирования состояния породного массива при ведении горных работ [30].

Для Тянь-Шаня установлено, что высшие формы складчатых нарушений являются определяющими по отношению к низшим, и это дает возможность перейти к следующему этапу прогнозирования напряженного состояния породного массива уже в пределах рассматриваемого месторождения с выстраиванием структурной модели [30].

В условиях неоднородной, сложно построенной геологической среды, сложного подчинения тектонических разного структур порядка, интерференции тектонических движений, связанных co множеством взаимодействующих факторов, имеющих разную природу, глубину заложения и проявляющихся на протяжении различных отрезков времени, выделение определенных ступеней в иерархической лестнице тектонических структур оказывается возможным только благодаря тому, ЧТО каждая может рассматриваться и функционировать как единое целое. Тектонические движения, деформации и поля напряжений характеризуются иерархичностью, всего, многофакторностью которая определяется, прежде сложных тектонических процессов. Выделение определенной ступени в иерархической лестнице тектонических деформаций определяется, в конечном итоге, возможностью описания какого-либо объема литосферы как тела, обладающего квазиоднородными физическими свойствами и в пределах которого, отвлекаясь от осложняющих деталей, можно выделить однотипные

поля напряжений и деформаций, которые можно связать с действием одного комплекса факторов [73].

Гомогенность литосферы, для управления структурными напряжениями и деформациями в сложных геологических средах, должна обладать статистическими свойствами [29, с.8]. Учитывая гетерогенную среду, в которой измеряются характеристики каждого статистического компонента, ограничения, создаваемые новой интегрированной средой качества, представляют собой переход на новый уровень. Новая структурная система описывает свойства новых структурных поверхностей и полей напряжений, соответствующих структурным движениям и деформациям.

Отслеживание этих границ в разных масштабах позволяет формировать структурные закономерности и модели тектонической сферы в структурных областях с учетом различных областей деформаций и напряжений в литосфере, а также в крупных неоднородных областях, таких как континенты и океаны до зерна горной породы.

В отличие от специальной диаграммы структурной неоднородности М.В. Ратца (1973), наша модель имеет последовательный и непрерывный переход от статического гомогенного объема к гетерогенному, обеспечивая восходящий переход от низших структурных систем к высшего рангам [29, с.9].

Преимущество модели, как и любой другой системной модели подобного рода, заключается в ее формализованности и априорной изоморфности природному объекту, т. е. в универсальности. Она удобна потому, что позволяет ставить вопрос о непосредственном картировании однородных в масштабе рассмотрения участков земной коры, являющихся областью функционирования тектодинамической системы определенного уровня, выяснить взаимоотношения различных механизмов деформации земной коры на различных структурных уровнях и, что наиболее важно, с единых позиций рассматривать во взаимодействии тектонические

деформации, структуры земной коры, тектонические движения поля напряжений [73].

Объектом исследований следующего уровня выступает массив, окружающий горную выработку [29, с.9]. Важнейшими характеристиками оценки массива вблизи горной выработки являются величина и характер распределения напряжений на нем. Задача распределения напряжений аналитически решена в статике многими исследователями, как в плоскости, так и в объеме. Определен характер распределения напряжений в массиве. Реальный массив в процессе ведения горных работ находится в условиях непрерывно меняющейся горнотехнической обстановки под действием изменчивого горного давления, фактора времени и др. Под влиянием этих факторов изменяется динамика напряжений и деформаций [30]. Имеющиеся экспериментальные данные противоречивы. Распределение напряжений по выработки характеризуется одной, двумя и сечению тремя зонами концентрации. В большинстве случаев исследователи объясняют эти факты параметрами выработок и структурными факторами [73].

При оценке устойчивости массива наиболее важной является проблема регистрации момента разрушения пород или наступления предела их прочности. Определение предела прочности пород в массиве открывает ряд узких мест:

– предел прочности породы является величиной переменной, так как зависит от вида напряженного состояния. Предел прочности изменяется от минимальной величины при одноосном сжатии до максимальной при трехосном [29, с.8].;

 известные методы измерения непригодны учету критических напряжений, поскольку [29, с.8] расчет напряжений основан на аппарате теории упругости, в то время как породы в критическом состоянии находятся за зоной упругости;

– разработанные в настоящее время теории по оценке поведения пород за зоной упругости весьма сложны и пока не пригодны для практических целей. В то же время задача регистрации момента наступления предела прочности пород в массиве является весьма актуальной, так как решение этой задачи позволило бы мониторить разрушаемость и устойчивость пород массива вокруг выработок [73].

Имеющиеся модели породного массива пока не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним. Особенно в условиях высокогорья, где напряженное состояние породного массива имеет сложное распределение. Причем, использование различных методов определения и измерения напряжений, основанных на различных моделях деформируемой среды, различающихся базой определения и измерений от нескольких миллиметров до десятков километров, не позволяет однозначно подойти к описанию напряженно-деформированного состояния породного массива [73].

На основании установленных закономерностей и фактов – наличия высоких горизонтальных тектонических напряжений с зональными распределениями по направлению действия в пределах горной системы Тянь-Шань; взаимосвязи между складчатыми и разрывными структурами; возможности оценки состояния породного массива вокруг горной выработки с помощью акустических параметров массива – сформулирован принцип зонального и поэтапного прогнозирования и контроля геомеханического состояния породного массива при ведении горных работ на высокогорье [29, с.8].

Зональное и поэтапное прогнозирование производится при [29, с.8]:

– геологической оценке, устанавливаются азимуты направлений тектонических напряжений в пределах складчатой зоны;

– горно-геологической оценке, устанавливаются азимуты направлений тектонических напряжений в пределах месторождения;

– горно-технологической оценке, уточняются свойства пород, корректируется картина распределения напряжений от влияния пройденных обнажений в массиве (табл. 2.6) [73].

Наименование этапа оценки	Получаемый результат	Вид и область прогноза
Геологическая	Определяется азимут тектонических напряжений реконструированием осей напряжений по элементам крупных складок и разрывных нарушений	Долгосрочный, складчатая зона
Горно- геологическая	Определяется азимут направления тектонических напряжений реконструированием осей напряжений по элементам складок и различных нарушений в пределах месторождения. Устанавливаются зоны влияния рельефа, и аналитически рассчитывается распределение напряжений в породном массиве с глубиной, погоризонтно	Среднесрочный, месторождение
Горно- технологическая	Контролируется изменение полей напряжений, определенных на втором этапе, с помощью геофизических методов	Краткосрочный, вблизи горных выработок

Таблица 2.6 – Зональное и поэтапное прогнозирование [4,5,29,58,65]

Способ базируется на необходимости модели и ее способности отображать реальность, движений земной коры и иерархии структурных изменений и составляющих напряжений, то есть на целях и задачах структурного изучения.

Зональное и поэтапное прогнозирование состояния породного массива необходимо применять, начиная со стадии разведки, проектирования и в последующем до конца эксплуатации при:

– ведении горных работ в хребтах гор выше их оснований;

 развитии горных работ в породных массивах, ведущихся в зоне влияния рельефа;

 ведении работ вне зоны влияния рельефа с учетом особенностей управления состояния породного массива вокруг очистных и подготовительных выработок [27].

Результаты применения показали возможность оценки напряженного состояния породного массива до и после проведения горных выработок; напряженного состояния породного оценка массива с помощью разработанных критериев по предлагаемой методике отражает реальную картину, что подтверждается последующим контролем состояния массива вблизи выработок; структурный метод осуществляется без материальных затрат силами маркшейдерской и геологической службы рудника, а геоакустический метод обладает высокой производительностью; контроль устойчивости выработок может производиться на всех этапах без исключения [27,75]. Акты практического применения и внедрения прилагаются.

Геологическая оценка напряженно-деформированного состояния породного массива

предварительным Этап (15 - 30)лет) является долгосрочным прогнозированием состояния породного массива в пределах тектонической единицы – складчатой зоны [30]. Определена взаимосвязь между азимутом в направлении максимального горизонтального напряжения, измеренного в неоднородном массиве, и азимутом в направлении неотектонических напряжений в исследуемой складчатой зоне [24,29, с.7, 75]. Установлен факт существования вергентных систем структур на территории Тянь-Шаня, опережающих направления горизонтальных главные тектонических

напряжений в плане, часто меняющих свои направления на противоположные – южные или северные [29,75].

Для Тянь-Шаньских складчатых зон установлены направления и угол действия горизонтальных напряжений сжатия (табл. 2.7), которые используются в практике проектирования геологоразведочных работ и разработки месторождений Кыргызстана, в том числе при ведении буровзрывных работ [73].

Таблица 2.7 – Направления и углы действия горизонтальных напряжений сжатия [4,5,58,75]

Область	Зона	Направление	Угол, град
Северный Тянь-Шань	Карктау-Таласская	C-CB	300
	Аспиринская	C-CB	300
	Чуйско-Киндиктасская	C-CB	300
	Байбичесооринская	Ю-ЮВ	150^{0}
	Транс Тянь-Шаньская	ЮВ	120^{0}
	Джунгаро-Тенгрийская	ЮВ	105^{0}
	Джумгальская	ЮВ	135 ⁰
	Кочкорская	C-CB	5^{0}
Срединный Тянь-Шань	Кетментюбинская	C-C3	350 ⁰
	Чаткало-Ферганская	Ю	180^{0}
Южный Тянь-Шань	Алайская	C-C3	3200
	Кокшала-Зайлийская	C-C3	350 ⁰
	Гиссаро-Байсуптауская	Ю-ЮВ	170^{0}
	Туркестанская	C-C3	365 ⁰
	Высокие предгорья Алая	C-C3	355 ⁰
	Памиро-Алайская	C-C3	325 ⁰

Определив принадлежность изучаемого месторождения к складчатой зоне ориентация напряжений сжатия C3 355⁰ действующих в горизонтальной плоскости определяется реконструированием по параметрам Хайдарканской антиклинали.

Рудное поле расположено вдоль южного склона и под подножием хребта Катран. Высота хребта $h = 550 \, m$, ширина основания $a = 4500 \, m$. Южнее хребта Катран на расстоянии около 5 км в этом же направлении простирается громадная известковая гряда Ходжа Ачкан складчатой зоны высоких предгорий Алая. Высота гряды $h = 2600 \, m$, ширина около 20000 m. Реконструкцией по параметрам складки установлено направление C3 50⁰ главного горизонтального напряжения.

Горно-геологическая оценка напряженно-деформированного состояния породного массива

Оценка состояния породного массива, производимая в пределах месторождения, является среднесрочным (5–15 лет) прогнозированием состояния массива. Определяются погоризонтно азимуты направлений тектонических напряжений, воздействия рельефа [29,72,75]. Используются в основном структурно-петрофизический, горно-геометрический и кинематический анализ.

Исследуются структурная иерархия, условия зарождения и развития массива месторождения. Применяются два натурных метода. В начале полевого исследования используется метод опорных разрезов, которые должны размещаться вдоль и поперек простирания структур, и включают выработки и обнажения позволяющих проводить конструктивное наблюдение и отбор проб необходимого размера и количества специфических для изучаемого объекта. Затем выполняется детальное картографирование обнажений в крупных масштабах, корректируются предварительные карты. Полное описание пункта наблюдений включает сведения о структуре массива разломы, трещины, слоистость, строение контактов, макро-И

микроскладчатость, также горных породах состав, фация, а 0 _ гидротермально-метасоматические свойства. В качестве основных информативных параметров массива в пределах месторождения служат элементы дизъюнктивных и пликативных нарушений; элементы рельефа: высота, основание и угол наклона склона [4,30,45]. Результаты горногеологической оценки обобщаются в тектонической схеме с указанием векторов сжимающих сил и зоны воздействия рельефа [70].

В качестве примера обратимся к месторождению Хайдаркан. В главе 2, в разделе 2.2 приведены примеры изучения характеристики дизъюнктивных и пликативных нарушений месторождения [4,70] Хайдаркан, и приведены направления действия главных нормальных напряжений, определенных по элементам тектонических структур [72].

Используя первый этап оценки построена трёхмерная модель тектонических структур месторождения (рис.2.11).

По результатам этапа оценки заключающаяся в построении иерархии и параметров тектонических нарушений, имеющихся в массиве месторождения, на которых погоризонтно и по участкам даны величины и направления действия напряжений, а также приведены локальные зоны концентрации напряжений в природных концентраторах напряжений (рис.2.12).

Разработана геомеханическая модель напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородного массива рудного месторождения Хайдаркан, включающая в себя: тектоническую схему с векторами сжимающих сил, реконструированных по тектоническим нарушениям, а также по результатам измерений на разных глубинах; корреляцию напряжений в вертикальной и горизонтальной плоскостях с глубиной; глубину и ширину воздействия горы (рис..2.13) и приведены элементы трехмерного моделирования (рис. 2.14).



Рисунок 2.11 – Скрин фрагмента 3D модели тектонических структур месторождения Хайдаркан



Рисунок 2.12 – Скрин фрагмента 3D модели напряженно-деформированного состояния массива месторождения Хайдаркан



Рисунок 2.13 – Геомеханическая модель структурно-неоднородного массива рудного месторождения Хайдаркан [75]: а – карта в плане на тектонической схеме месторождения; б – характерный разрез с эпюрой напряжений на различных глубинах; в – изолинии распределения напряжений, показывающие влияние гор с глубиной; 1 – направления действия главных тектонических напряжений; 2 – направления действия главных напряжений в точках экспериментальных измерений механическими методами; 3 – контур влияния рельефа на вертикальные напряжения; 4 – контуры влияния рельефа на горизонтальные напряжения



Рисунок 2.14 – Элементы трехмерной геомеханической модели породного массива Хайдарканского месторождения: 1 – сплошной каркас породного массива с рельефом и тектоническими нарушениями; 2 – прозрачный каркас; 3 – каркас с затененными участками напряжений от влияния рельефа и разломов; 4 – каркас нарушений и изолиний

2.4 Краткое заключение по главе 2

1. Лабораторными исследованиями горных пород одноосным сжатием с одновременным прозвучиванием определены зависимости упругих характеристик от давления и глубины, которые позволили объяснить картину распределения напряжений в окружающем горную выработку массиве.

2. Обоснован метод многопараметрового контроля свойств и напряженного состояния пород, заключающийся в определении корреляции упругих свойств с давлением и глубиной, в диагностировании диаграммы иерархизации абсолютных и относительных напряжений на конкретном

участке земной коры и в массиве вокруг горных выработок, по параметрам акустического модуля на основе количественного учета влияния анизотропии А через скорости упругих волн *vs*, *vp*.

3. Разработан способ оценки геомеханического состояния породного массива, заключающийся в оценке напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов месторождений, отличающийся в установлении закономерностей взаимосвязи структурных особенностей, свойств пород слагающих массив и напряженно-деформированного состояния массивов – с целью использования в качестве начальных граничных условий, повышения надежности прогнозирования напряженно-деформированного состояния состояния массива и точности оценки геомеханического состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений.

4. Обоснована и разработана геомеханическая модель напряженнодеформированного состояния массива месторождения Хайдаркан, заключающаяся в построении иерархии и параметров тектонических нарушений, имеющихся в массиве месторождения, по которым определяются локальные зоны концентрации напряжений в природных концентраторах напряжений.

безопасной 5. Для обеспечения эффективной разработки И месторождений и эксплуатации инженерных сооружений обоснован и разработан напряженно-деформированного способ прогнозирования состояния В структурно-неоднородных массивах, заключающийся В построении прогнозной карты месторождения и тектонической модели структуры месторождения, отличающийся в установлении закономерностей взаимосвязи структурных форм И естественного напряженнодеформированного состояния массивов – с целью получения начальных граничных условий, установления зоны локальных концентраций напряженно-деформированного структурно-неоднородных состояния массивов, являющихся очагами проявления горных ударов.

ГЛАВА 3. ВЗАИМОСВЯЗЬ СВОЙСТВ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МАССИВОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

3.1 Исследование свойств анизотропных пород и их связи с напряженно-деформированным состоянием массивов

Породы и руды Тянь-Шаня отличаются между собой по составу, строению и главным образом физическими свойствами, но их свойства сопоставимы со свойствами упругих тел в образце. С другой стороны, в зависимости от текстуры, структуры и трещиноватости, показатели прочности и упругости самих массивов отличаются от показателей в образце.

Следовательно, свойства породы, определяемые образцом, меньшим или равным структурному блоку не учитывают структурные характеристики породы, не отражают реальных свойств всего массива. То есть, свойства массива и информация о напряженном состоянии всего тела можно получить, исследуя элементарный объем, с размером в 5-6 раз больше среднего сечения структурного блока и состоящий из более 30 структурных элементов [76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96]. Для рудных месторождений Кыргызстана размеры структурных блоков колеблются от 0,15-0,6 м до 1,0-2,3 м и выше. Автором были исследованы полезные ископаемые и породы малых размеров по известным методам вышеуказанных работ, в том числе Ш.А. Мамбетова [25], З.К. Артыкбаевой [97] и др. Перед изучением прочностных, деформационных и упругих свойств автором исследований в первую очередь устанавливались основные направления анизотропии и их число в породе. Измерения скорости распространения поперечной волны vs проводились с помощью поляризованных датчиков Этот метод дополняется тем, сдвигового типа. ЧТО приход волны распространяющейся вкрест плоскости колебаний фиксируется, беря во

внимание показатель амплитуды. Потому как амплитуда волны сдвига в 2-3 раза амплитуды волны колебания в направлении распространения, время прихода волны сдвига измеряется с наименьшим наращиванием, отличается быстрой сменой фазы волны и, соотношение vs/v_p составляет $\approx 0,5-0,6$. Другие методы не достигают приемлемых результатов при исследованиях в гетерогенных и анизотропных средах. Поляризованные сдвиговые датчики позволили измерять vs в объеме образца. Анализ типов сжатых горных пород при нагрузке от 5 до 70% конечной прочности раскрывает между напряжением и деформацией линейную связь. Показатель упругой деформируемости находится в пределах от 0,44 до 14,5 • 10⁴ МПа, между 0,170-0,289 находятся коэффициенты Пуассона. Отношение σ_{cd}/σ_p исследуемой породы составляет от 4 до 13, что в основном указывает на хрупкости, по теории Давиденкова-Фридмана.

Если метод определения динамических упругих свойств горных пород применять по формулам теории изотропной упругости, то при расчетах для слоисто-неоднородных горных пород возникают значительные погрешности. В свою очередь были проведены теоретические исследования по определению упругих свойств анизотропных горных пород по их звуковым свойствам. Количественные зависимости получаются путем выражения обобщенного закона Гука, уравнения, определяющего движение упругой волны в среде, выраженного упругой постоянной Cik в виде физических *Eik* и *Gik*, по которым, зная плотность пород ρ и скорости волн *vs*, *v*_P можно определять упругие свойства анизотропных пород [62,63,64].

Нарушение первоначально существующего напряженного состояния горными работами сводится к значительной концентрации напряжений в определенных областях массива вблизи обнажений и возникновению чрезвычайно сложных геомеханических процессов, оказывающих решающее влияние на безопасность и эффективность горных работ. Деформации после

образования обнажений продолжаются во времени и могут произойти разрушения при напряжениях значительно меньших предела прочности пород. С закономерностями развития геомеханических процессов связано решение чрезвычайно большого числа важных практических задач. Расчетные методы оценки устойчивости обнажений вблизи выработок не позволяют раскрыть поле распределения напряжений в породном массиве. Поэтому следует использовать метод геоакустического контроля свойств и состояния массива, как простой и оперативный экспериментальный метод, позволяющий изучать состояние пород В натурных условиях С возможностью неограниченного повторения измерений на изучаемой точке без разрушения массива. Основными информативными параметрами геоакустического контроля является акустический параметр скорости продольной волны, выявленный через закономерности упругих свойств и скорости упругих волн пород, так как анизотропия свойств пород в естественных условиях вызывает изменения не только в характере распределения напряжений и деформаций, но и влияет на характер распределения в них акустических характеристик.

Оценке упругих свойств анизотропных пород через скорости упругих волн посвящены работы многих исследователей [76-96]. В работах [89-93], для случаев тонкослоистой среды $\lambda >> h_1 h_2$ скорости волн были определены через средние значения коэффициентов упругости $K_{||}$ и K_{\perp} , соответствующие статическим чисто продольным и поперечным деформациям по направлениям вдоль и вкрест напластования. Однако в этих случаях не проводились расчеты изменения скоростей в зависимости от угла распространения волн. Распространение упругих волн в поперечно-изотропных, трансверсальноизотропных средах рассматривались в работах [86,94,95,96], которыми упругих скоростей получены зависимости волн В взаимно двух перпендикулярных направлениях от угла выхода сейсмического луча. Кроме того, произведен расчет изыскания скоростей упругих волн с учетом заданных

констант упругости G_{ik} , имеющих смысл коэффициента линейной связи между напряжением и деформацией. Представляя ортотропную среду как наложение двух поперечно-изотропных сред, в третьей группе работ для ортотропной среды получены значения скоростей упругих волн, исходя из значений констант упругости G_{ik} .

[76-90,94,95,96], В работах основное внимание уделяется особенностям кинематическим распространения упругих волн В анизотропных средах, расчету фазовых и волновых поверхностей волн. Такие исследования дают возможность приближенно определять значения скоростей по какому-либо направлению в предположении однородности и изотропности среды. Таким образом, вопрос распространения волн в слоистых средах недостаточно исследован, что объясняется сложностью его теоретического описания.

В большинстве случаев анизотропную среду представляют в форме упорядоченных, периодически чередующихся двух слоев с различной мощностью h_1 h_1 u h_2 , различными упругими постоянными E_1 и E_2 , различными скоростями распространения в них волн и различными плотностями ρ_1 и ρ_2 . Поскольку среду можно считать сплошной, упругие колебания передаются от одной части среды к другой. В результате существует некоторая связь между напряжением и деформацией частиц по другую сторону границы. В случае изотропных и анизотропных тел связь между компонентами напряжения и деформации описывается общим законом Гука или компонентами деформации. Они взаимно определяемы [62, с.88, 63,64].

Первую группу условий на границе представляют условия непрерывности напряжений, действующих нормально к границе при переходе из слоя 1 в слой 2. Вторая группа граничных условий состоит в том, что смещение при переходе через границу измеряются также непрерывно. Эти условия являются необходимыми для выполнения уравнения динамического

равновесия абсолютно упругой среды, которое в векторной форме представляет собой уравнение Новье-Стокса [62, с.88, 63,64]:

$$\rho = \frac{d^2 \bar{U}}{dt^2} = \left(\lambda + \mu\right) \cdot grad \cdot div \bar{U} + \mu \nabla^2 U, \qquad (3.1)$$

где *λ* и *μ* – константы Ляме, определяющие упругие свойства среды.

Если поле смещений *U* в упругой среде связать со скалярным *φ* и векторным *φ* потенциалами [62,63]:

$$U = \operatorname{grad} \varphi + \operatorname{rot} \overline{\Psi} \,, \tag{3.2}$$

то уравнение (2) распадается на два независимых волновых уравнения [62,63]:

$$\frac{d^2}{dt^2} \cdot rot\bar{U} = \frac{\mu^2}{\rho} \cdot \nabla^2 rot\bar{U}, \qquad (3.3)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \cdot div\bar{U} = \frac{\left(\lambda + 2\mu\right)}{\rho} \cdot \nabla^2 div\bar{U}, \qquad (3.4)$$

Наличие двух независимых уравнений (3.3) и (3.4) указывает на существование в безграничной упругой среде двух видов возмущений, распространяющихся с двумя физически различными скоростями – продольной и поперечной.

Для анизотропных сред величины λ и μ зависят от координат пространства. Поскольку изменение скоростей значительно превышает изменение плотности, то плотность среды усредняется по объему и принимается постоянной. Скорости распространения упругих волн в анизотропных средах в общем случае определяется уравнением, включающим двадцать одну упругую постоянную G_{ik} , плотность ρ и направление распространения колебаний *n*. Данное уравнение движения упругой среды можно записать в компактном виде [62,63]:

$$\rho V^2 P_{ki} = C_{ik} P_{ok} n_j n_e, \qquad (3.5)$$

где $P(\overline{U}, V, W)$ – составляющие вектора смещения.

Компоненты смещения в плоской волне можно представить как [62,63]:

$$P = P_o e^{i\left(\omega t - kr\right)},$$

где k – волновой вектор.

При нормальном падении на плоскую границу раздела сред плоской продольной волны *P* в среде возникают одна квазипродольная и две квазипоперечные волны: *SV* – когда поперечная волна поляризована в плоскости падения; *SH* – когда поперечная волна поляризована перпендикулярно плоскости падения. С увеличением падения возникают обменные волны.

Уравнение (3.5) имеет три положительных корня, соответствующие трем скоростям распространения упругих волн в любом упругом теле. Их значения зависят в общем случае от упругих постоянных среды и от направления распространения волны относительно осей упругой симметрии, определяемого величинами *l*, m, n (для изотропной среды они постоянны для любых направлений).

В общем случае независимо от степени анизотропии среды в любом направлении распространяются три независимые волны со взаимно перпендикулярными смещениями. Однако компонента вектора сдвига не всегда соответствует направлению распространения волны и перпендикулярна фронту волны. Другими словами, сейсмические волны обычно не бывают чисто продольными или поперечными. Однако в

кристаллах существует особое направление, где волновой фронт соответствует вектору сдвига одной из трех волн, который является нормальным чисто продольным.

Но поскольку векторы смещения их взаимно перпендикулярны, то векторы смещения двух других волн лежат в плоскости фронта волны, то есть выделение чисто продольной и чисто поперечной возможно только в средах, обладающих определенной симметрией упругих свойств. Известно, что в анизотропной среде сейсмические волны не ортогональны фронту волны, а скорости упругих волн зависят от направления \vec{n} \vec{n} . Поэтому в ультразвуковых измерениях рассматриваются скорости в направлении нормальной к фронту. В данных исследованиях используются величины скоростей продольных и поперечных волн, распространяющихся в направлении осей симметрии, и в дальнейшем речь будет идти только об этих волнах.

Поскольку горным породам свойственна анизотропия и упругих и акустических характеристик, то необходима теоретическая разработка по отысканию возможности определения упругих характеристик анизотропных пород геоакустическими методами.

В данных исследованиях используются не значения коэффициентов линейной связи *G_{ik}*, которые особенно важны для кристаллографии, а упругие характеристики сред, имеющие непосредственный физический смысл: модуль упругости *E*, модуль сдвига *G*, коэффициент Пуассона *µ*. Для достижения этой цели, ниже рассматривается задача – определение упругих свойств анизотропных пород по скоростям упругих волн.

Как правило, анизотропные породы могут быть перенесены в ортотропную среду с девятью независимыми упругими константами в соответствии с упругой симметрией. В этой среде в каждом указанном элементарном объеме наблюдаются три оси симметрии, перпендикулярные друг другу. По симметрии он напоминает кристалл ромбической сингонии. При допущении симметрии свойств число упругих констант, определяющих

состояние ортотропного тела, уменьшается с 21 до 9. С11, С12, С22, С13, С23, С33, С44, С55, С66, остальные константы равны 0 [62, с.89, 63,64].

Такие величины, как *A_{ik}*, *C_{ik}*, используются не во всех технических исследованиях, а являются константами, имеющими прямое физическое значение. В этом случае общий закон Гука для физических констант ортотропной среды записывается следующим образом [62, с.89, 63,64]:

$$\varepsilon_{x} = \frac{1}{E_{x}} \cdot \sigma_{x} - \frac{\mu_{xy}}{E_{y}} \cdot \sigma_{y} - \frac{\mu_{xz}}{E_{z}} \cdot \sigma_{z}; \quad \varepsilon_{y} = -\frac{\mu_{yx}}{E_{x}} \cdot \sigma_{x} + \frac{1}{E_{x}} \cdot \sigma_{y} - \frac{\mu_{yz}}{E_{z}} \cdot \sigma_{z};$$

$$\varepsilon_{z} = -\frac{\mu_{zx}}{E_{x}} \cdot \sigma_{x} - \frac{\mu_{zy}}{E_{y}} \cdot \sigma_{y} + \frac{1}{E_{z}} \cdot \sigma_{z}, \quad (3.6)$$

отсюда следует

$$E_{y}\mu_{yx} = E_{x}\mu_{xy}; \ E_{z}\mu_{zy} = E_{z}\mu_{zy}; \ E_{x}\mu_{zx} = E_{z}\mu_{xz}.$$
(3.7)

Анизотропные тела с тремя упругими осями симметрии характеризуются: тремя модулями Юнга – E_x , E_y , E_z , тремя модулями сдвига – G_{yz} , G_{zx} , G_{xy} , тремя коэффициентами Пуассона – μ_{yz} , μ_{zx} , μ_{xy} (остальные три константы, полученные из индексов обмена, не являются независимыми).

Для оценки влияния анизотропии на упругие свойства среды ее необходимо анализировать не менее чем в трех направлениях. Для оценки влияния анизотропии упругих свойств на распределение напряжений в ортотропной среде достаточно определения полного набора из девяти упругих констант.

Величины упругих констант в ортотропных средах с использованием физических констант [62, с.89, 63]:

$$C_{11} = \frac{1 - \mu_{yz} \mu_{zy}}{\overline{\Delta}} E_x; \ C_{22} = \frac{1 - \mu_{xz} \mu_{zx}}{\overline{\Delta}} E_y; \ C_{33} = \frac{1 - \mu_{xy} \mu_{yx}}{\overline{\Delta}} E_z;$$

$$C_{12} = \frac{\mu_{yx} + \mu_{zx}\mu_{yz}}{\overline{\Delta}}E_y; \quad C_{13} = \frac{\mu_{zx} + \mu_{zy}\mu_{yx}}{\overline{\Delta}}E_z;$$

$$C_{23} = \frac{\mu_{zy} + \mu_{zx}\mu_{xy}}{\overline{\Delta}}E_y; \ C_{44} = C_{23}; \ C_{55} = C_{31}; \ C_{66} = C_{12}, \tag{3.8}$$

где $C_{11}, C_{22}, C_{33}, C_{12}, C_{13}, C_{23}, C_{44}, C_{55}, C_{66}$ – упругие константы, определяющие состояние ортотропного тела, через $\overline{\Delta}$ обозначен детерминант.

$$\overline{\Delta} = \begin{vmatrix} 1 & \mu_{xy} & \mu_{xz} \\ -\mu_{yx} & 1 & -\mu_{yz} \\ -\mu_{zx} & \mu_{zy} & 1 \end{vmatrix},$$
(3.9)

получаем:

$$\overline{\Delta} = 1 - \mu_{xy} \mu_{yx} - \mu_{yz} \mu_{zy} - \mu_{zx} \mu_{xz} - 2\mu_{xy} \mu_{yz} \mu_{zx}.$$
(3.10)

Для тела с промежуточной плотностью упругих волн [62,63]:

$$C_{11}l^{2} + C_{66}m^{2} + C_{55}n^{2} - pV^{2}(C_{12} + C_{66})lm(C_{13} + C_{55})nl (C_{12} + C_{55})lmC_{66}l^{2} + C_{22}m^{2} + C_{44}n^{2} - pV^{2}(C_{23} + C_{44})mn = 0.$$
(3.11)
$$(C_{13} + C_{55})nl(C_{23} + C_{44})mnC_{55}l^{2} + C_{44}m^{2} + C_{33}n^{2} - pV^{2}$$

На основе (3.11) были получены три системы уравнений с использованием набора эквивалентных упругих постоянных [62,63]:

$$\begin{bmatrix} C_{11}l^2 + C_{66}m^2 + C_{55}n^2 - \rho V \end{bmatrix} \cdot P_{01} + \begin{bmatrix} (C_{12} + C_{66}) \cdot lm \end{bmatrix} \cdot P_{02} + \\ + \begin{bmatrix} (C_{13} + C_{55}) \cdot nl \end{bmatrix} \cdot P_{03} = 0;$$
(3.12)

$$\left[\left(C_{12} + C_{66} \right) \cdot lm \right] \cdot P_{01} + \left[C_{66} l^2 + C_{22} m^2 + C_{44} n^2 - \rho V^2 \right] \cdot P_{02} + \left[\left(C_{23} + C_{44} \right) \cdot mn \right] \cdot P_{03} = 0;$$

$$(3.13)$$

$$\left[\left(C_{13} + C_{55} \right) \cdot nl \right] \cdot P_{01} + \left[\left(C_{23} + C_{44} \right) \cdot mn \right] \cdot P_{02} + \left[C_{55} l^2 + C_{44} n^2 + C_{33} n^2 - \rho V^2 \right] \cdot P_{03} = 0.$$

$$(3.14)$$

Для проверки геометральной формы ромбической сингонии ортогональной симметрии (рис. 3.1а), распространению чистой продольной волны примем условие соответствия нормали волнового фронта вектору сдвига, а две волны, перпендикулярные ей, поперечными. В этих системах, выровненных по осям x, y и z, плоские волны на осях распространяются вдоль оси x, при этом l=1, m=0, n=0, системы уравнений (3.12)-(3.14) приводятся в следующий вид [62,63]:



 $(C_{11} - \rho V^2) \cdot P_{01} = 0; \ (C_{66} - \rho V^2) \cdot P_{02} = 0; \ (C_{55} - \rho V^2) \cdot P_{03} = 0.$ (3.15)

Рисунок 3.1 – Ромбическая (а) и гексогональная (б) симметричные геометральные фигуры [62, с.90, 63]

Это показывает, что скорость волны по направлению распространения вдоль оси *х* высчитывается из равенства [62,63]:

$$\rho V_{Px}^2 = C_{11}, \tag{3.16}$$

Скорость волны вкрест направления распространения вдоль оси x, но в плоскости xy, под прямым углом к ортогональной оси, высчитывается из равенства [62,63]:

$$\rho V_{Sxy}^2 = C_{66}.$$
 (3.17)

Для волны вкрест направления распространения по оси *x*, но в плоскости *xz*, высчитывается из равенства [62,63]:

$$\rho V_{Sxz}^2 = C_{55}.$$
 (3.18)

При выполнения условия l=1, m=0, n=0 и волна распространяется вдоль оси *y*, то системы уравнений (3.12)-(3.14) примут вид [62,63]:

$$(C_{66} - \rho V^2) \cdot P_{01} = 0; \ (C_{22} - \rho V^2) \cdot P_{02} = 0; \ (C_{44} - \rho V^2) \cdot P_{03} = 0.$$
 (3.19)

Тогда, скорости распространения волн, продольной и поперечных по оси *y*, но поперечных в плоскости *yz* и *yx*, определяются уравнениями следующих видов [62,63]:

$$\rho v_{Py}^2 = C_{22}; \tag{3.20}$$

$$\rho v_{Syz}^2 = C_{44}; \tag{3.21}$$

$$\rho v_{yx}^2 = C_{66}.$$
 (3.22)

При выполнении условия l = 0, m = 0, n = 1 и волна распространяется по оси *z*, то системы уравнений (3.12)-(3.14) примут вид [62,63]:

$$(C_{55} - \rho \upsilon^2) \cdot P_{01} = 0; \ (C_{44} - \rho \upsilon^2) \cdot P_{02} = 0; \ (C_{33} - \rho \upsilon^2) \cdot P_{03} = 0. \ (3.23)$$

Тогда, скорости распространения волн, продольной и поперечных по оси *z*, но поперечных в плоскости *zx* и *zy*, определяются уравнениями следующих видов [62,63]:

$$\rho v_{Pz}^2 = C_{33}; \tag{3.24}$$

$$\rho v_{Szx}^2 = C_{55}; \tag{3.25}$$

$$\rho v_{zy}^2 = C_{44}.$$
 (3.26)

Таким образом, для пород ортогональной симметрии с тремя упругими осями симметрии соотношения (3.16)-(3.18), (3.20)-(3.22), (3.24)-(3.26), зависят от скорости распространения упругих волн. Как видно из этих формул, по нескольким осям три волны распространяются перпендикулярно друг другу по каждой упругой оси симметрии.

В анизотропной среде лучи не нормальны направлению колебания волны, и их нужно будет рассчитывать для скоростей волны колебания в направлении распространения и перпендикулярно к ней (далее речь будет идти о них). Подставляя из уравнений (3.3)-(3.4) значения упругих постоянных, получим уравнения [62,63]:

вдоль направления оси х:

$$\rho \upsilon_{Px}^2 = \frac{1 - \mu_{yz} \mu_{zy}}{\overline{\Delta}} E_x; \quad \rho \upsilon_{Sxy}^2 = G_{xy}, \tag{3.27}$$

вдоль направления оси у:

$$\rho \upsilon_{Py}^2 = \frac{1 - \mu_{xz} \mu_{zx}}{\overline{\Delta}} E_y; \quad \rho \upsilon_{Syz}^2 = G_{yz}, \tag{3.28}$$

вдоль направления оси *z*:

$$\rho v_{Pz}^{2} = \frac{1 - \mu_{xy} \mu_{yx}}{\overline{\Delta}} E_{z}; \ \rho v_{Szx}^{2} = G_{zx}.$$
(3.29)

Вместо $\overline{\Delta}$ возьмем его значение из формулы (3.9). Таким образом для безграничной ортотропной среды с тремя взаимно перпендикулярными осями симметрии получим:

Для модулей упругости по главным направлениям [62,63]:

$$E_{x} = \frac{\nu_{Px}^{2} \cdot \rho(1 - \mu_{xy}\mu_{yx} - \mu_{yz}\mu_{zy} - \mu_{zx}\mu_{xz} - 2\mu_{xy}\mu_{yz}\mu_{zx})}{g(1 - \mu_{yz}\mu_{zy})};$$

$$E_{y} = \frac{\nu_{Py}^{2} \cdot \rho(1 - \mu_{xy}\mu_{yx} - \mu_{yz}\mu_{zy} - \mu_{zx}\mu_{xz} - 2\mu_{xy}\mu_{yz}\mu_{zx})}{g(1 - \mu_{zx}\mu_{xz})};$$

$$E_{z} = \frac{\nu_{Pz}^{2} \cdot \rho(1 - \mu_{xy}\mu_{yx} - \mu_{yz}\mu_{zy} - \mu_{zx}\mu_{xz} - 2\mu_{xy}\mu_{yz}\mu_{zx})}{g(1 - \mu_{xy}\mu_{yx})}.$$
 (3.30)

где, g – ускорение силы тяжести; ρ – плотность пород; $\mu_{Xy}, \mu_{yz}, \mu_{zx}, \mu_{yx}, \mu_{zy}, \mu_{xz}$ – значения коэффициентов Пуассона, полученных по скоростям волн колебания по направлению распространения и перпендикулярно к ней, для плоскостей симметрии. Для модулей сдвига по основным плоскостям [62,63]:

$$G_{xy} = \frac{\upsilon_{Sxy}^2 \cdot \rho}{g}; \ G_{yz} = \frac{\upsilon_{Syz}^2 \cdot \rho}{g}; \ G_{zx} = \frac{\upsilon_{Szx}^2 \cdot \rho}{g}, \tag{3.31}$$

Для массива ортотропного состояния нужно по осям x, y, z упругой симметрии знать значения коэффициентов Пуассона, определенных от распространения волны сдвига под углом α к ним. При этом, волна сдвига в плоскости x', y' направлена по оси x.

Тогда закон Гука для угловых деформаций примет вид [62,63]:

$$\varepsilon_{y'x'} = \frac{1}{G_{y'x'}} \tau_{x'y'},$$
 (3.32)

где:

$$\frac{1}{G_{y'x'}} = \left(\frac{1 - \mu_{xy}}{E_x} + \frac{1 - \mu_{xy}}{E_y} - \frac{1}{E_{xy}}\right) \cdot \sin 2\alpha + \frac{1}{G_{xy}}.$$
 (3.33)

Для $\alpha = 45^0$:

$$G_{xy}^{450} = \frac{E_x}{1 + 2\mu_{xy} + \frac{E_x}{E_y}}.$$
(3.34)

Отсюда:

$$\mu_{xy} = \frac{E_y \cdot \left(E_x + G_{xy}^{45^0}\right) - 2E_x G_{xy}^{45^0}}{2G_{xy} E_x}.$$
(3.35)

Следуя таким же образом, получаем значения μ_{zx} , μ_{yz} коэффициентов Пуассона.

По существу, значения $\mu_{XY}, \mu_{YZ}, \mu_{ZX}$ рассчитываются с помощью скоростей распространения колебаний волн направлению И ПО перпендикулярно ней, измеренных по ориентировкам К основным анизотропии из следующих выражений [62,63]:

$$\mu_{xy} = \frac{\nu_{Px}^2 - 2\nu_{Sxy}^2}{2\left(\nu_{Px}^2 - 2\nu_{Sxy}^2\right)}; \quad \mu_{yz} = \frac{\nu_{Py}^2 - 2\nu_{Syz}^2}{2\left(\nu_{Py}^2 - 2\nu_{Syz}^2\right)}; \quad \mu_{zx} = \frac{\nu_{Pz}^2 - 2\nu_{Szx}^2}{2\left(\nu_{Pz}^2 - 2\nu_{Szx}^2\right)}.$$
(3.36)

Остальные три фактора Пуассона независимы. Поэтому согласно (3.30), (3.31), (3.36) динамические упругие свойства анизотропных горных пород могут определяться анизотропной упругой симметрией. Для этого необходимо определить скорости продольных и поперечных волн по основному направлению оси упругой симметрии и значению скорости угловой волны под углом 45° к основным направлениям [62,63,64].

Анизотропные (осадочные) слоистые породы внутренне изотропны с упругой симметрией и пятью упругими константами. Все ориентации плоскости слоя одинаковы. То есть, плоскость слоя является изотропной плоскостью, а перпендикулярная ей ось действует как ось бесконечного порядка симметрии. То есть, обобщенный закон Гука, выраженный константами, примет вид [62, с.91, 63]:

$$\varepsilon_{\chi} = \frac{1}{E_{\chi}}\sigma_{\chi} - \frac{\mu_{xy}}{E_{y}}\sigma_{y} - \frac{\mu_{z\chi}}{E_{z}}\sigma_{z}; \varepsilon_{y} = -\frac{\mu_{y\chi}}{E_{\chi}}\sigma_{\chi} + \frac{1}{E_{\chi}}\sigma_{y} - \frac{\mu_{zy}}{E_{z}}\sigma_{z};$$

$$\varepsilon_{z} = -\frac{\mu_{zx}}{E_{x}}\sigma_{x} - \frac{\mu_{zy}}{E_{x}}\sigma_{y} + \frac{1}{E_{z}}\sigma_{z}; \ \varepsilon_{yz} = \frac{1}{G_{yz}}\tau_{yz};$$

$$\varepsilon_{zx} = \frac{1}{G_{zx}} \tau_{zx}; \quad \varepsilon_{xy} = \frac{2\left(1 - \mu_{xy}\right)}{G_{xy}} \tau_{xy}. \tag{3.37}$$

Приняв осью бесконечного порядка направление *z*, а за плоскость *xy* приняв плоскость изотропии и заменив индексы *y* и *x* выражение (3.7) примет вид [62,63]:

$$\frac{1}{E_x} = \frac{1}{E_y}; \quad \frac{\mu_{ZX}}{E_x} = \frac{\mu_{XZ}}{E_z}; \quad \frac{\mu_{ZX}}{E_x} = \frac{\mu_{Zy}}{E_y} = \frac{\mu_{XZ}}{E_z} = \frac{\mu_{YZ}}{E_z}.$$
(3.38)

Тогда такая среда примет симметрию гексагональной сингонии, все упругие постоянные, кроме C₁₁, C₁₂, C₂₂, C₁₃, C₃₃, C₄₄ и $C_{66} = \frac{C_{11} - C_{12}}{2}$, равны нулю. При этом, детерминантное уравнение для среды с плотностью ρ , трансверсальной изотропностью и скоростными упругими волнами, запишется следующим образом:

$$\begin{vmatrix} C_{11}l^{2} + \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12})m^{2} + C_{44}n^{2} - p\upsilon^{2} \\ \frac{1}{2}(C_{11} + C_{12})lm(C_{11} + C_{12})nl \\ \frac{1}{2}(C_{11} + C_{12})lm\frac{1}{2}(C_{11} - C_{12})l^{2} + C_{11}m^{2} + C_{44}n^{2} - p\upsilon^{2} \\ (C_{13} + C_{44})mn \\ (C_{13} + C_{44})nl(C_{13} + C_{44})mnC_{44}(l^{2} + m^{2}) + C_{33}n^{2} - p\upsilon^{2} \end{vmatrix} = 0.$$
(3.39)

Воспользовавшись уравнением движения в упругой среде, можно найти выражения [62,63]:

$$\begin{bmatrix} C_{11}l^2 + \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12})m^2 + C_{44}n^2 - \rho \upsilon^2 \end{bmatrix} \cdot P_{01} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12})lm \end{bmatrix} \cdot P_{02} + \begin{bmatrix} (C_{13} - C_{44})nl \end{bmatrix} \cdot P_{03} = 0;$$

$$\begin{split} \left[\frac{1}{2}(C_{11}+C_{12})lm\right] \cdot P_{01} + \\ + \left[\frac{1}{2}(C_{11}+C_{12})l^2 + C_{11}m^2 + C_{44}n^2 - \rho\upsilon^2\right] \cdot P_{02} + \left[(C_{13}+C_{44})mn\right] \cdot P_{03} = 0; \\ \left[(C_{13}+C_{44})nl\right] \cdot P_{01} + \left[(C_{13}+C_{44})mn\right] \cdot P_{02} + \\ + \left[C_{44}(l^2+m^2) + C_{33}n^2 - \rho\upsilon^2\right] \cdot P_{03} = 0. \end{split}$$

$$(3.40)$$

Упрощение выражения (3.39) достигается, когда гексагональное рассеивание по оси *x* волны удовлетворяет условию l = 1, m = 0, n = 0 [62,63]:

$$\left[C_{11} - \rho \upsilon^2\right] \cdot P_{01} = 0; \quad \left[\frac{1}{2}\left(C_{11} + C_{12}\right) - \rho \upsilon^2\right] \cdot P_{02} = 0; \quad \left[C_{44} - \rho \upsilon^2\right] \cdot P_{03} = 0. \quad (3.40)$$

В результате получим три выражения [62,63]:

- для продольной х-волны,

$$\rho v^2 P_x = C_{11}, \tag{3.41}$$

- для поперечной *х*-волны, в плоскости xzxz,

$$\rho \upsilon^2 S_{XZ} = C_{44}. \tag{3.42}$$

- для продольной х-волны, в плоскости ху,

$$\rho v^2 P_x = \frac{1}{2} \left(C_{11} - C_{12} \right) = C_{66}. \tag{3.43}$$

При гексагональном рассеивании по оси z волны удовлетворяющего условие l = 0, m = 0, n = 1 получим уравнения [62,63]:

$$\begin{bmatrix} C_{44} - \rho \upsilon^2 \end{bmatrix} \cdot P_{01} = 0; \begin{bmatrix} C_{44} - \rho \upsilon^2 \end{bmatrix} \cdot P_{01} = 0;$$

$$\begin{bmatrix} C_{33} - \rho \upsilon^2 \end{bmatrix} \cdot P_{03} = 0, \begin{bmatrix} C_{33} - \rho \upsilon^2 \end{bmatrix} \cdot P_{03} = 0.$$
 (3.44)

Тогда:

- для продольной *z*-волны получим,

$$\rho \upsilon^2 P_z = C_{33}. \tag{3.45}$$

- для поперечной *z*-волны в плоскости *zx* получим,

$$\rho \upsilon^2 S_{zx} = C_{44}. \tag{3.46}$$

Заменив в (3.42), (3.43), (3.44), (3.45), (3.46) значения упругих констант определить для трансверсально-изотропного тела упругие свойства можно по формулам [62,63]:

$$E_x = \frac{\upsilon^2 P_x \cdot \rho}{g} - \frac{\overline{\Delta}}{1 - \mu_{yz} \mu_{zy}}; \quad E_z = \frac{\upsilon^2 P_z \cdot \rho}{g} - \frac{\overline{\Delta}}{1 - \mu_{xy} \mu_{yz}}; \quad (3.47)$$

$$G_{xy} = \frac{\nu_{Sxy}^2 \cdot \rho}{g}; \ G_{zx} = \frac{\nu_{Szx}^2 \cdot \rho}{g}; \tag{3.48}$$

У трансверсально-изотропной упругой среды пять констант $E_1, E_2, G_2, \mu_1, \mu_2$.

Для координатной системы с осью *z*, под прямым углом к плоскости *xy* изотропии, обозначив

$$E_{x} = E_{y} = E_{1}; E_{z} = E_{2}; G_{xy} = G_{1}; G_{zx} = G_{2};$$

$$\mu_{xy} = \mu_{yx} = 1; \ \mu_{yz} = \mu_{zy} = \mu_{2}; \qquad (3.49)$$
107

и с учетом (3.46), (3.47) для анизотропных пород с трансверсальноизотропной упругой симметрией, получаем [62,63]:

$$E_{1} = \frac{\nu^{2} P_{x} \cdot \rho}{g} \cdot \frac{(1 - \mu_{1}) \cdot (1 - \mu_{1} - 2\mu_{2}^{2})}{1 - \mu_{2}^{2}}; \qquad (3.50)$$

$$E_{2} = \frac{\nu^{2} P_{z} \cdot \rho}{g} \cdot \frac{\left(1 - \mu_{1} - 2\mu_{2}^{2}\right)}{\left(1 - \mu_{1}\right)}; \qquad (3.51)$$

$$G_2 = \frac{\nu^2 S_{XZ} \cdot \rho}{g}.$$
(3.52)

где E_1 – модуль упругости в плоскости изотропии; E_2 и G_2 – соответственно модули упругости и сдвига вкрест плоскости изотропии; μ – коэффициент Пуассона деформации в плоскости изотропии при действии силы в той же плоскости; μ_1 – коэффициент Пуассона деформации в плоскости изотропии в плоскости изотропии.

Значения коэффициентов Пуассона μ , $\mu_1 = \mu_{ZX}$, $\mu_2 = \mu_{XZ}$, могут быть получены из значений скоростей продольных и сдвиговых волн в соответствующих направлениях.

По формулам (3.36), (3.50)–(3.52) зная величины скоростей упругих волн вдоль основных осей упругой симметрии и скоростей волн под углом 45⁰ к этим направлениям можно определить упругие свойства анизотропных пород, и зная принадлежность пород к ортотропной или к трансверсально-изотропной упругой симметрии.

Используя вышеприведенные порядок и корреляции для массивов и образцов пород месторождений Хайдаркан и Терексай определены их акустические и упругие свойства. По результатам установлено, что у
исследованных пород скорости упругих волн и упругие свойства изменяются в пределах от 5-10% до 80-100% в различных направлениях. Модули упругости по слою Е^{//}, μ^{//}, G^{//} больше их значений поперек слою Е[⊥], μ[⊥], G[⊥], то есть имеют место соотношение E^{//}>E[⊥], μ^{//}>μ[⊥], G^{//}>G[⊥]. Сравнивая результаты полученных акустических и упругих характеристик массива и образцов пород месторождений Хайдаркан и Терексай, нетрудно проследить, что изменение скорости продольной волны в n^2 раз относительно упомянутых выше элементов залегания, изменяют модуля упругости и модуля сдвига в n^2 раз в этих направлениях. Иначе говоря, чем больше степень анизотропии, тем значительнее различие упругих параметров, определенных по этим направлениям.

Сопоставление акустических и упругих свойств образцов и массива, отражают весомое влияние напряженного состояния на их величины. И в природной среде упругие свойства по слою, порою не больше их значений поперек слою. Коэффициент различия скоростей волн упругого колебания есть показатель напряженного состояния. Волна в массиве затухая в слоистых известняках или в амфиболитах, меняя свой знак в джаспероидах, появляясь в мраморизованных известняках, в своей средней величине скорости колебания в направлении распространения $\widetilde{\mathcal{D}_p}$ дает представление о величинах напряжений в массиве, что подтверждается в работах других авторов.

3.2 Изучение влияния влажности на характеристики анизотропных пород

Для изучения влияния влажности на характеристики пород образцы отбирались с каждой литологической разновидности слагающих пород и характеризуют участки как по площади, так и на глубину. Из свойств, в сухом и водонасыщенном состоянии, определялись удельная и объемная масса, пористость и водопоглащение, предел прочности на сжатие.

Прочность при одноосном сжатии определялась на образцах цилиндрической формы. Для испытания прочности сухом В ИЛИ водонасыщенном состоянии образцы обезвоживались в сушильном шкафе или насыщались водой погружением их в воду на двое суток. Для определения водопоглощения и объемной массы образцов, производилось их высушение до постоянного веса методом гидростатического взвешивания. Результаты исследования прочности некоторых пород участков Верхний Сульункур, Оро-Тоо и Ишме-Тоо в сухом и водонасыщенном состоянии приведены в таблице 3.1.

Средняя плотность пород колеблется в широких пределах от 0,36 до 3,94%. Наименьшей средней плотность характеризуются подстилающие известняки.

Влажность пород редко выходит за пределы 1%, составляя для различных групп пород по участкам в среднем 0,19-0,43%.

Прочность горных пород меняется в широких пределах. Аномально высокими значениями характеризуются конгломераты (≥1000 кг/см²) и отдельные разновидности кремнистых сланцев.

Глинистые и углисто-глинистые сланцы перекрывающей толщи характеризуются средней прочностью. Однако в состоянии водонасыщенности или длительного соприкосновения с влажным воздухом прочность их при сжатии сокращается почти на половину. Учитывая это обстоятельство, проходка горных выработок на таких участках рудников ведется с частичным или сплошным креплением.

Рудовмещающие брекчии и подстилающие известняки, а также встречающиеся в перекрывающей толще толубайской свиты конгломераты и

Таблица 3.1 – Величины прочности пород участков Верхний Сульункур, Оро-Тоо и Ишме-Тоо на одноосное сжатие

Начилоноронно норони	В сух	сом состоянии,	кг/см ²	В водонасыщенном состоянии, кг/см ²				
Паименование породы	МИН.	макс.	сред.	МИН.	макс.	сред.		
Сланцы глинистые, углисто- глинистые	12,8-59,6	181,2-748,0	83,8-161,3	11,7-45,3	127,9-187,9	63,5-95,97		
Сланцы песчано-глинистые, песчано-сланцевые, песчаники, гравелиты	19,2-45,2	192,0-652,0	102,7-255,7	37,4-46,7	180,5-893,0	94,69-254,11		
Брекчия джаспероидная, брекчия ороговиково-сланцевая, джаспероиды	51,3-78,8	181,2-194,2	103,2-129,4	47,2-64,7	130,5-187,5	90,8-117,0		
Известняки массивные, окремненные	52,1-78,8	149,9-473,0	103,2-224,4	47,7-58,3	181,8-898,0	111,2-273,42		

песчаники довольно устойчивы. Причем насыщение их водой на прочностные свойства не влияет. Результаты лабораторных испытаний и опыт ведения горных работ и эксплуатации рудников Хайдарканского рудного поля свидетельствуют о том, что горные выработки в креплении не нуждаются.

Исключение составляют зоны дробления вдоль разрывных нарушений, ширина которых может достигать 10 и более метров.

Коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протодьяконова равен:

- для перекрывающей толщи – 7-9;

- для рудоносной зоны – 18-20;

- для подстилающих известняков – 12-14.

Установлены остаточные прочности σ_0 предела прочности на одноосное сжатие σ_{cxc} песчаника обычного – 3,4% и мелкозернистого – 4,7%, алевролита мелкозернистого – 12,1% и крупнозернистого – 8,1%.

Таким образом, особенности строения (минеральный состав, структура, текстура, пористость), температура, величина и вид прилагаемой нагрузки оказывают существенное влияние на модуль упругости и коэффициент Пуассона. Так, например, модуль упругости мелкозернистых пород при прочих равных условиях выше, чем у крупнозернистых. Значительные изменения величины модуля упругости наблюдаются в зависимости от направления приложения нагрузки по отношению к направлению слоистости. Установлено, что модуль упругости ненарушенных слоистых пород вдоль слоистости больше, чем в крест слоя. Коэффициент упругой анизотропии равен 1,2÷2 и более.

На величину модуля упругости заметное влияние может оказать химический состав воды, заполняющей поры. Насыщение пор водой изменяет упругие свойства пород. Активное воздействие воды на слагающие породу минералы приводит к уменьшению модуля упругости, например при

размокании глин. Если вода заполняет поровое пространство, но не воздействует на минералы, то при наличии свободных путей для ее передвижения упругие свойства насыщенных пород фактически не изменяются. В тех же случаях, когда таких путей нет, вода «защемляется» в порах, препятствуя дальнейшей деформации образца, и способствует увеличению модуля упругости. Упругие свойства зависят от величины и вида прилагаемой нагрузки.

Изучено влияние влажности на другие характеристики анизотропных пород. Для этого, образцы также насыщались водой погружением их в воду на двое суток. Затем измерялись величины скоростей волн колебания вдоль распространения волны. В состоянии полного влагонасыщения произошли текстурные изменения пород, интенсивно выросли скорости волн поперек слою, чем вдоль слоя, в результате коэффициент скоростной анизотропии от 1,45 в сухом состоянии снизился до 1,20.

3.3 Установление закономерностей изменения структуры и свойств горных пород в зоне тектонических нарушений

В массиве пород от напряжений идет процесс многообразных деформаций перестраивающих структуры пород и меняющих их свойства. Подобные изменения наиболее заметно проявляются в непосредственной близости от тектонического нарушения. Однако наибольший интерес представляют такие изменения, которые могут быть выявлены на возможно большом расстоянии от плоскости разрыва, то есть сместителя, на основании которых может быть практически осуществлен прогноз разрывных нарушений и геомеханических процессов в горном массиве [101].

Многообразие форм деформации горного массива, широкий диапазон изменений состава, строения и свойств горных пород определяют большое

разнообразие генетических и морфологических типов трещин, развитых в массиве [27].

Большая роль трещиноватости в формировании ряда месторождений полезных ископаемых и ее влияние на устойчивость горных выработок при разработке месторождений определило широкий интерес к вопросам, касающимся происхождения и проявления трещиноватости, опубликовано много научных трудов, но до сих пор нет единого мнения в трактовке аспектов трещиноватости. Одним ИЗ таких аспектов является тектоническая трещиноватость, и, в частности, локализующаяся вблизи тектонических нарушений. Важность изучения тектонической трещиноватости вытекает не только из значительного влияния ее на ход эксплуатации месторождений, но и из возможности использования ее как источника дополнительной информации о геомеханических процессах, сопровождающих образование и Наличие пространственной тектонических нарушений. развитие И генетической связи трещиноватости с разрывными нарушениями позволяет использовать ее в качестве одного из факторов для диагностики и прогноза не только их элементов, но и о геомеханических процессах [101,102,103,104,105].

Сопоставление характера изменения интенсивности трещиноватости пород вблизи сместителя, и построение линий равной интенсивности трещиноватости путем интерполяции данных, позволило установить, что изолинии суммарной интенсивности трещиноватости располагаются параллельно контуру тектонического нарушения. При этом изолинии с высокими значениями интенсивности трещиноватости замыкаются не в точке затухания сместителя, а на некотором расстоянии от нее. Это свидетельствует о распространении зоны влияния нарушений не только на прилегающие участки, но и на зоны, где смещение крыльев уже не фиксируется.

Прочностные характеристики горных пород вокруг нарушений уменьшаются, что отчетливо проявляется непосредственно у сместителя.

Детальные исследования крепости пород вблизи нарушений показали наличие определенных закономерностей в характере ее изменения. По мере приближения к сместителю происходит постепенное уменьшение прочности пород, достигающей минимальных значений в непосредственной близости от сместителя. Происходит локализация зон с минимальными значениями крепости в непосредственной близости от сместителя и ориентировка зон с ориентировкой нарушений. То есть, конфигурация зон крепости аналогичны конфигурациям зон трещиноватости: в обоих случаях изолинии показателя располагаются параллельно следу нарушения.

На рис.3.2 приведены эпюры распределения напряжений в массиве вблизи одиночной выработки. Массив имеет ряд трещин и разломов различной мощности, под различными углами к оси скважины и различным заполнением. Из рис.3.2 видно, что вблизи трещин происходит резкое изменение концентраций напряжений, причем напряжения, направленные в горизонтальном направлении, меняют свой знак на противоположный и по величине выше вертикальных.



Рисунок 3.2 – Распределение напряжений в трещиноватом массиве горных пород [26,98, с.13]

Анализ результатов измерений по совокупности факторов (превышение максимальных вертикальных напряжений γH, отсутствие растягивающих напряжений вблизи контура кровли) позволяет измеренные напряжения считать тектоническими. Для исследования связи тектоники с конкретными данными непосредственного измерения напряжений на месторождениях Кыргызстана использованы сведения о тектонике, сейсмичности и геоморфологии территории республики и района месторождения Хайдаркан.

Хайдарканское месторождение вытянуто в широтном направлении вдоль подножья хребта Катран-Тоо и приурочено к гряде Ишме-Тоо и приурочен к мобильной тектонической зоне, в которой развиты долгоживущие глубинные разломы субширотного простирания и надвигающие одни толщи на другие, продольные и поперечные антиклинальные и синклинальные складки, осложненные чешуйчатыми надвигами. Из разрывных структур широко развиты продольные разломы, косо секущие складчатые структуры северо-восточного и северо-западного простираний. Все они связаны с основными этапами тектонического развития района и разделены на среднепалеозойские, позднепалеозойские и альпийские возрастные группы.

Тектонические нарушения встречаются в среднем через каждые 100 м.

Массивы горных пород месторождения разбиты трещинами, часто на отдельных участках они полностью раздроблены и местами перемяты (рис. 3.3).

На месторождении установлено сопряжение восьми систем трещин с тектоническими нарушениями, с залеганием, строением и составом вмещающих пород. Трещины первого и второго систем происходят по мощности слоев в оси, здесь наблюдаются их интенсивные развития, и крыльях складки, зависят от формы последней, направления поверхности залегания трещин подчиняются простиранию пород.

Третья и четвертая системы трещин подчиняются простиранию складок по отношению к которым имеют согласные залегания. Направления поверхности залегания пятой системы трещин тоже подчинены простиранию складок, при восточном заглублении ее оси усиливаются трещины группы «Vв», при западном заглублении – группы «Va». В зонах брахноскладчатости их густота увеличивается.



Рисунок 3.3 – Схема расположения основных трещин и разломов на месторождении по отношению к простиранию пород [26, с.96, 98]

Шестая, седьмая и восьмая системы трещин обнаруживаются у разрывных нарушений, являются вторичными от последних и по мере отдаления нарушений, снижается количество трещин на 1 п.м. (табл. 3.2). Все это демонстрирует происхождение трещин пород под действием разрывных нарушений.

Горная порода	Отдаление от нарушения, м	Модуль трещиноватости, шт/п.м.
Крупнослоистый окремненный звестняк	0,8-1	55
	2-3	42
	6-7	34
	10-11	23
	14-15	21
	14-20	20

Таблица 3.2 – Модуль трещиноватости [26, с.97, 98,101]

Вышеприведенные особенности в подчиненности мелких трещин разрывным нарушениям, а разрывных нарушений складкам, а также соответствия направления их поверхности залегания простиранию пород, подтверждают преимущества принятой в работе системной модели и ее универсальности, заключающейся в том, что «высшие» формы применительно к «низшим» выступают в качестве начальных, предопределяющих. Такие особенности сходства в модели деформаций отчетливо выявляются в деформаций породах. Модель литологически идентичных широко отслеживается и в мелких масштабах имеет отчетливую сходимость в деталях. То есть, исследованные массивы пребывали в состоянии напряжений с величинами равным пределу прочности пород, слагающих их [101].

Следует отметить, что абсолютный возраст пород, где производились натурные измерения, исчисляется по данным геохронологии в 50-55 млн лет и по оценкам австралийского ученого H.Bock (1979), в таких породах могут быть сохранены остаточные напряжения. Однако, в массиве Тянь-Шаня [53] происходят современные движения и деформации земной коры, и как следует из результатов измерений на месторождении Хайдаркан, напряженное состояние массива месторождения складывается из напряжений обусловленного весом налегающих пород, тектонических напряжений в целом месторождения и тектоническими напряжениями участка измерения.

Экспериментальные работы [4,5,17,18] на разных участках (горизонт 1730 м) Хайдарканского месторождения дали:

$$T_{\Pi} = T_{\Gamma} + T_{T} \simeq \begin{vmatrix} 0.93\gamma H & 0 & -0.03\gamma H \\ 0 & 0.97\gamma H & 0.03\gamma H \\ -0.03\gamma H & 0.03\gamma H & 1.04\gamma H \end{vmatrix}$$
(3.53)

Аналогичные результаты получены при определении напряжении в массиве на горизонте 1785 м:

$$T_{\Pi} = \begin{vmatrix} 1.18\gamma H & 0 & 0.08\gamma H \\ 0 & 1.02\gamma H & \tau_{yz} \\ 0.08\gamma H & \tau_{zy} & \gamma H \end{vmatrix}$$
(3.54)

Вертикальная составляющая, как видно из вышеприведенных выражений, составляет 1.0-1.04 γ H, при этом коэффициенты бокового давления равны K_{51} =0,97-1,02; K_{52} =0,92-1,18, причем большее из горизонтальных напряжений ориентировано в меридиональном направлении (азимут +7°-2,°30).

Выделение вблизи нарушений участков пород с различной степенью изменения их свойств, а также установление закономерностей в их пространственном распределении и выбор количественных показателей открывают возможность прогноза по этим показателям встречи разрывного нарушения, а значит прогноза проявлений негативных геомеханических процессов.

Установлены зоны локальных повышенных природных концентраций напряжений в зонах влияния тектонических нарушений с разрывом и без разрыва сплошности (рис.3.4), которые выше гравитационной составляющей от веса налегающего столба пород в 4-5 раз, а их краевые части потенциально удароопасны и являются очагами проявления горных ударов даже при отсутствии пород склонных к горным ударам и уровня напряжений в породном массиве, при котором возможно хрупкое разрушение пород, а также глубина расположения которых меньше, чем критическая по удароопасности глубина 700 м установленная в работе Ялымова Р.Н. (1997 г.).



Рисунок 3.4 – Скрин фрагмента 3D модели структурных неоднородностей и локальных природных зон концентрации напряжений на Хайдарканском месторождении: 1 – флексура; 2 – разрывное нарушение; 3 – зоны наибольшей концентрации сжимающих напряжений; 4 – зоны повышенных сжимающих напряжений; 5 – зоны равных напряжений; 6 – зоны пониженных напряжений; 7 – зоны растягивающих напряжений; 8 – штольня гор.+1496 м

Таким образом, своевременный прогноз проявлений негативных геомеханических процессов и установление зоны локальных повышенных природных концентраций напряжений в зонах влияния тектонических нарушений позволяют разработать и внедрить обоснованные научнотехнические решения в практику проектирования, эффективно регулирующие и контролирующие характер и параметры геомеханических процессов в горном массиве практику ведения геологоразведочных и горно-строительных работ.

3.4 Краткое заключение по главе 3

1. Динамические упругие свойства анизотропной породы с тремя взаимно ортогональными осями упругой симметрией необходимо рассчитывать по значениям скоростей волн колебания в направлении распространения и перпендикулярных к ним по основным направлениям упругой симметрии и значения скоростей поперечных волн под углом 45° к ним.

2. Получены численные корреляции для расчёта упругих свойств анизотропных пород по значениям скоростей волн колебания в направлении распространения и перпендикулярных к ним, измеренных по основным направлениям упругой симметрии и скоростей волн под углом 45° к ним.

3. Контроль полученных количественных зависимостей, установления величин и основных направлений анизотропии исследуемых пород, производится предварительным определением принадлежности породы к ортотропной или трансверсально-изотропной упругой симметрией расчетной схеме анизотропии.

4. В результате лабораторных испытаний на одноосное сжатие с одновременным прозвучиванием установлено, что:

скоростей волн колебания величину В направлении на распространения и коэффициента анизотропии их скоростей в слоистых известняках воздействие влажности имеет важное значение. В состоянии полного влагонасыщения произошли текстурные изменения пород. интенсивно выросли скорости волн поперек слою, чем вдоль слоя, в результате коэффициент скоростной анизотропии от 1,45 в сухом состоянии снизился до 1,20;

- на скорость волн колебания в направлении распространения имеет большое значение производимое давление. При нагрузке 50% от разрушающих прирост скорости для пород вкрест слоям $\upsilon_p^{\perp}(p)$ составляет 20-35%, вдоль слоям $\upsilon_p^{\parallel}(p)$ 7-10%. Не линейна связь между скоростью волн колебания в направлении распространения и напряжением сжатия;

- кривая изменения продольной волны вдоль слоев лежит выше кривой изменения скорости поперек слоев, т. е. породам свойственна анизотропия скоростей упругих колебаний и под давлением;

- степень изменения v(p) при нагружениях, различным образом ориентированных к слоистости, неодинакова и зависит от текстурных особенностей среды; уменьшение анизотропии наблюдается при нагружениях вкрест слоистости, при нагружениях по слоистости анизотропия возрастает;

 коэффициенты анизотропии скоростей продольных волн в лабораторных условиях заметно уменьшаются при увеличении давления, и в значительной степени изменения происходят при давлении 20-30% от разрушающего.

Таким образом, проведенные исследования делают возможным описывать корреляции характеристик упругих свойств от величины давления и глубины, иллюстрировать картину распространения абсолютных и относительных напряжений в породном массиве. Полученные для слоистых

известняков A=1.45, для углистых сланцев – A=1.20, являются существенными и необходимым условием для учета напряженного состояния.

Тем не менее, необходимо продолжить исследования по разработке критериев оценки и контроля устойчивости породного массива вокруг выработки по параметрам акустического модуля на основе количественного учета влияния анизотропии А через скорости упругих волн *vp*, *vs* для других малоизученных участков земной коры.

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И УДАРООПАСНОСТЬ УЧАСТКОВ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МАССИВОВ

4.1 Основные черты напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных месторождений

Одной из трех важнейших характеристик геомеханического состояния массива горных пород является естественное напряженно-деформированное состояние. Проводимые в разных странах теоретические и экспериментальные и исследования вносят ясность в картину распределения напряжений в породных массивах и их деформациях под действием естественных и искусственных сил. Прямые измерения напряжений на массивах горных пород во многих частях мира не подтвердили общность гипотез Гейма (1878) и Динника (1926) для оценки естественного напряженно-деформированного состояния массива верхней части земной коры.

факторы, Данные гипотезы не учитывают оказывающие непосредственное влияние на действие естественных напряжений в массиве: последовательность развития геологических событий и основных этапов формирования структуры месторождений, лействия современных тектонических сил напряжений; присущая месторождениям структурная неоднородность их массивов и особенности физико-механических свойств пород слагающих их; влияние пространственно-геометрических параметров рельефа, где расположено месторождение.

Обзор литературы по геомеханическому состоянию горных пород показал, что мнения о строении и напряженном состоянии горных пород расходятся. Массивы горных пород характеризуются значительной структурной неоднородностью, однако можно признать, что для постановки и

рассмотрения задач деформации в массивах часто доступны модели изотропных идеально однородных упругих тел.

Вне сомнений, что модель может быть принята для той или иной группы задач, если охват факторов неоднородности значительно меньше, чем диапазон изучаемой территории или обнажений, взаимодействующих с элементами изучаемого массива, сплошное однородное тело. Однако в таких случаях испытуемый массив следует предварительно тщательно изучить натурными методами эксперимента. В схеме такой модели должны быть воссозданы геометрия систем трещин, параметры блоков, прочностные и деформационные свойства, условия распределения в них естественных напряжений. Разумеется, такая конструктивная модель должна строиться на результатах геологических и дополнительных исследований.

Неотектонические структуры Тянь-Шаня не всегда рассматриваются как общие первичные фоновые данные, характеризующие условия субмеридионального сжатия земной коры для оценки и прогнозирования напряженно-деформированного состояния [56]. Следует отметить, что в силу характера асимметрии наиболее поздние структурные формы группируются в составы северной или южной асимметрии. Такие группы складок, складками продольного изгиба, указывают направления считающиеся напряжений. действующих тектонических Помимо регионального субмеридионального сжатия необходимо учитывать и влияние зональных тектонических сил, изменяющих направление как в плане, так и по глубине.

Анализ геологических характеристик структурно-неоднородных месторождений Кыргызстана выявил, что их зарождение и развитие было поэтапным и коррелирована тектоническим структурообразованием региона в целом. Например, Катранский антиклинорий на Кадамжайском месторождении эволюционировала от среднекаменноугольного этапа до последней перми, образуя дизъюнктивные нарушения. Силурийские сланцы северного крыла горы Катран надвигаются с юга, по Северо-Катранскому

взбросо-надвигу, на отложения верхнего палеозоя. На юге выявлено еще несколько подобных разломов, отражающих перемещение массивов горных пород в северном направлении под воздействием высоких тектонических сил.

Месторождение Кадамжай описывается как антиклинальная складка с крупным широтным рудоконтролирующим Северным разломом со взбросом размахом сдвига 700 м. Северный разлом своим отпором опрокидывает Южный разлом с размахом сдвига 300 м, то есть действуют максимальные напряжения почти меридиального направления. Есть иные нарушения с разрывом и без разрыва сплошности. Окончание складки и юго-западному погружению ее шарнира сочетается изменением поля напряжений в своей симметрии в большей мере.

Тектонические структуры Чонкойского месторождения получили развитие в Карачатырском антиклинарии состоящего из параллельных складчатых дислокаций в виде антиклиналей и синклиналей. Однородность и неоднородность строения, соответственно Южной и Северной зон, указывает на большой диапазон тектонических сил в Северной, вызывающих образование складок и флексур.

Образование и развитие тектонических структур на Хайдарканском месторождении также происходило в несколько этапов от карбона до новейшего. Процесс их образования аналогичен процессу образования Кадамжайских и также зависит от поперечного сжатия меридионального направления. Хайдарканская синклиналь с севера сжата хребтом Катран с известняковой горой Ходжа-Ачкан. Оруденение прослежено под подножьем хребта Катран по южному склону. Породный массив месторождения раздроблен многочисленными тектоническими нарушениями, основными из которых выделены надвиги – Ишметауский, Катранбашинский и др., взбросы – Кара-Арчинский, Центральный, Долинный и взбросо-сдвиги.

На основании общего подхода к механизму тектонического развития структур обоих месторождений можно сделать вывод о напряженном состоянии их массивов от субмеридиального тангенциального сжатия [4].

Корреляционный анализ измеренных напряжений в породных массивах месторождений Центральной Азии и Юго-Восточной части Казахстана дал возможность принять равенства зависимостей усредненных величин главных полных напряжений с глубиной [85,109]:

- для пород с модулем Юнга (*E*) от (5-6) $\cdot 10^4$ до (10-11) $\cdot 10^4$ МПа:

$$\sigma_{\rm X} + \sigma_{\rm y} = 9.5 + 3.9 \gamma \rm H, \, M\Pi a \tag{4.1}$$

$$\sigma_{\rm X} = 5.0 + 2.78 \,\,{\rm \gamma H}, \,{\rm M}\Pi{\rm a}$$
 (4.2)

$$σ_V = 4,5 + 1,12$$
γH, MΠa
(4.3)

- для пород с модулем Юнга (*E*) от $(2\pm 3) \cdot 10^4$ МПа:

$$\sigma_{\rm X} + \sigma_{\rm V} = 5.0 + 2.14 \gamma {\rm H}, {\rm M}\Pi{\rm a}$$
 (4.4)

$$\sigma_{\rm X} = 3.0 + 1.14 \,{\rm \gamma H}, \,{\rm M}\Pi{\rm a}$$
 (4.5)

$$\sigma_{\rm y} = 2.0 + \gamma \rm H, \, M\Pi a \tag{4.6}$$

где σ_{X} , σ_{y} – соответственно горизонтальные и вертикальные напряжения; $\gamma = 2,7 \cdot 10^{-2}$ МПа/м; Н – расстояние от поверхности земли до точки измерения, м.

Как видно из равенств (4.1-4.6), величины напряжений в породном массиве Тянь-Шаня выше, чем по равенству основного закона гидростатики, но ниже величин чем по равенствам Н.Хаста (1969). Принятые опытным путем равенства показывают среднее статистическое значение нормального

напряжения в регионе на этой глубине. Пространственная неоднородность геомеханических структур на некоторых участках могут вызывать большие отклонения от средних значений напряжений. Сложная структура и рельеф месторождения приводит к сложным напряженным условиям различных горных пород. Это зависит от тектонической структуры и расположения рассматриваемого участка относительно ландшафтно-топографической поверхности месторождения.

Был проведен ряд экспериментов и наблюдений, обобщений результатов исследований для определения основной модели распределения полей напряжений в массиве. В результате определено: вертикальные напряжения, на различных расстояниях от поверхности земли до точки измерения равны весу столба налегающих пород [71]; величины горизонтальных напряжений действующих с юга на север превышают величины рассчитанные по равенству Динника А.Н. (1926) до 4-х и более раз, а действующих с севера на юг меньше до 3-х раз и более, чем рассчитанные по равенствам Хаста Н. (1969) [109,110]. На склонах горы Катран выше его уровня подножья значения горизонтальных напряжений поперек направлению протяжения горы превышают вертикальные в 4 раза, вдоль протяжения горы – не значительные. Под подножьем хребта ниже уровня долины, величины минимальных напряжений, действующих в направлении запад-восток или восток-запад в одной широте, увеличиваются в 2-3,4 раза за счет влияния горы Катран [109,110].

Существенно значимым в напряженном состоянии массива пород месторождения Хайдаркан является боковое давление действующее перпендикулярно простиранию дизъюнктивных и пликативных нарушений. Вокруг них, не зависимо от разрыва сплошности, возникают зоны концентрации различных напряжений и разгрузки, иных величин от общепринятых, и достигают величин более в 3 раза от веса налегающих пород. Подобное распределение напряжений определены в породных массивах месторождений Терексай и Чаувай.

Способ оценки геомеханического состояния породных массивов месторождений дает результаты по направлениям действия главных напряжений и их величинам, согласующиеся с вышеприведенными данными, полученными методом разгрузки. Соответственно, геомеханическое состояние структурно-неоднородных месторождений Юго-Западного Тянь-Шаня на прямую сопряжено с деформациями, происходящими в литосфере под воздействием тектонических сил горизонтального сжатия в этом регионе [61, c.83]. Простирание большинства мегаскладок, субширотное, соответствует субмеридиональному направлению основного сжатия. Конечно, геомеханическое состояние породного массива может меняться от региона к зоне, от зоны к району, от района к участку и даже от горизонта к горизонту, в зависимости от ряда факторов, приведенных в настоящей работе при оценке напряженно-деформированного и геомеханического состояния массива.

Поэтому новейшая тектоническая активность сыграла в образовании и имеет важную роль в развитии напряженно-деформированного состояния массивов пород месторождений Тянь-Шаня по настоящее время [29, с.7]. Образование новейших нарушений в сочетании с неравномерным распределением напряжений из-за взаимодействия массива горных пород с разломом, образуют зоны концентрации напряжений.

Структурная неоднородность массивов месторождений влечет за собой неоднородное градирование напряжений на различных их зонах. Зонам активных трещин и флексурных изгибов прямо пропорциональны напряжения сжатий или растяжений значительных величин, превышающих расчетных от столба Как давления пород. правило, горизонтальные напряжения неравнозначны превосходят вертикальные. Анизотропность И горизонтальных напряжений обусловлена воздействием тектонических сил и рельефа.

Величины напряжений в массивах горных пород и соответственно напряженные состояния неодинаковы и в разных месторождениях. Так,

уровень напряжений на Хайдарканском участке в 2-3 раза ниже, чем на Кадамжайском [109,110]. Это связано с тем, что значения касательного сжатия в разных районах Тянь-Шаня и в отдельных морфологических структурах колеблются от 0,01 до 0,3. Обычно она выше в границах смежных зон разного режима.

Породный массив зоны расположения Кадамжайского месторождения претерпевает вздымание, а прилегающая Ферганская равнина нисходит. Хребет Катран и сочлененная с ним Хайдарканская долина испытывает общее поднятие. Поэтому породный массив месторождения Хайдаркан, по сравнению с массивом месторождения Кадамжай, испытывает пониженное напряженное состояние [57].

Из выраженных закономерностей можно сделать вывод, что тектонические нарушения не только создают аномалии в общем поле напряжений, но и их активность благоприятствует перераспределению и образованию нового поля напряжений.

Задача оценки геомеханического состояния структурно-неоднородных массивов требует должного обобщения, научной организации, создания геомеханических моделей на уровне региона, зоны и поиска общих моделей для структурно-неоднородных месторождений.

4.2 Реконструкция полей напряжений и оценка напряженнодеформированного состояния с учетом тектонических структур массива

На основе изучения тектоники Хайдарканского ртутного месторождения: складок (глава 2) и трещин разного порядка (рис. 4.1) определены направления действия основных сил сжатия в разных частях месторождения.

Реконструкцию полей напряжений и оценку напряженнодеформированного состояния массива пород проводили последовательно с учетом тектонического строения массива: определение тектонических напряжений на уровне антиклинали; на уровне разломов; на уровне складок; на уровне трещин. Определены направления осей главных напряжений.

Результаты реконструкции и оценки (рис. 4.1, табл. 4.1) показали, что



Рисунок 4.1 – Анализ тектонической структуры Хайдарканского месторождения на уровне антиклинали, разломов и по складкам третьего порядка [26]

Участок	Порядок складок, вид	Элементы залегания складок, систем трещин, <i>град</i> .		Направления действия напряжений, <i>град</i> .					
	трещин	простирание	паление	σ_3		σ_2		σ ₁	
		npoempanne	падение	прост.	пад.	прост.	пад.	прост.	пад.
	второго и третьего	285	10	105	80	285	10	5	5
Южная	порядков, трещины	85	50	102	75	282	15	12	10
Плавиковая Гора	скалывания	308	45						
	сопряженные	276	10	96	80	275	10	16	5
	второго и третьего	265	5	85	83	265	7	355	5
IOwan vi	порядков, трещины	278	50	74	80	254	10	344	12
Южныи	скалывания	50	42						
	сопряженные	251	15	71	85	251	15	341	5
	второго и третьего	285	10	105	80	285	10	15	5
Северная Плавиковая Гора	порядков, трещины	86	50	110	75	290	15	20	10
	скалывания	304	45						
	сопряженные	275	10	95	80	275	10	5	5

Таблица 4.1 – Направленность главных напряжений на месторождении Хайдаркан [4,75]

Участок	Порядок складок, вид	Элементы залегания складок, систем трещин, <i>град</i> .		Направления действия напряжений, <i>град</i> .					
	трещин	простирание	падение	σ ₃		σ_2		σ_1	
		простирание		прост.	пад.	прост.	пад.	прост.	пад.
	второго и третьего	265 278	7	85 74	83 80	265 254	7	355 344	0
Промежуточный	скалывания	50	45	/+	00	234	10	544	12
	сопряженные	251	15	71	85	251	15	341	5
Нижний	второго и третьего	272	6	92	84	272	6	2	5
Сульункур	порядков	260	10	80	80	260	10	250	-
	второго и третьего	257	5	77	85	257	5	347	5
Северо-Восточный	порядков, трещины	288	45	73	60	253	20	343	15
	скалывания	38	32						
	сопряженные	243	10	63	80	243	0	333	5
	второго порядка,	268	8	88	82	268	8	258	5
Янгуз-Булак	трещины скалывания	268	60	78	80	258	10	348	10
	сопряженные	58	45						
Восточный	второго и третьего	257	5	77	85	257	5	347	5
	порядков, трещины	288	45	74	60	254	20	344	15
	скалывания	40							_
	сопряженные	243	10	63	80	243	10	333	5

Участок	Порядок складок, вид	Элементы залегания складок, систем трещин, <i>град</i> .		Направления действия напряжений, <i>град</i> .					
	трещин	простирацие		σ ₃		σ_2		σ_1	
		простирание	падение	прост.	пад.	прост.	пад.	прост.	пад.
Кара-Арча	второго и третьего порядков, трещины скалывания сопряженные	252 252 48 250	8 55 45 15	72 75 70	82 78 75	252 255 250	8 12 15	342 345 340	5 10 0
Медная Гора	второго и третьего порядков, трещины скалывания сопряженные	272 60 -	5 60 -	92 84 -	85 75 -	272 264 -	5 15 -	2 354 -	0 10 -
Юго-Западный	второго и третьего порядков, трещины скалывания сопряженные	265 278 265	10 50 15	85 74 76	80 80 75	265 254 255	10 10 15	355 344 346	5 10 5
Восточная вершина	второго порядка, трещины скалывания сопряженные	260 282 30 242	5 50 35 10	80 66 62	85 60 80	260 246 242	5 20 10	350 335 332	5 10 5

Участок	Порядок складок, вид	Элементы зал складок, систем град.	Направления действия напряжений, <i>град</i> .						
	трещин	простирание	падение	σ ₃		σ_2		σ_1	
				прост.	пад.	прост.	пад.	прост.	пад.
Заводской	второго и третьего	257	5	77	85	257	5	347	5
	порядков, трещины	288	40	78	65	258	25	348	15
	скалывания	48	35						
	сопряженные	263	13	83	77	263	13	353	5

тектонические силы с горизонтальным сжатием воздействуют на массив пород поперек оси антиклинальной складки меридиально, что свидетельствует о взаимосвязанности разного уровня и порядка структурных нарушений в массиве месторождения.

Исследования последних лет показывают доминирующую роль горизонтальных движений в тектоническом развитии всей внешней коры Земли (тектоника плит, новая глобальная тектоника и др.).

Представления о существовании в Центральной Азии крупных е чем 200 км горизонтальных сдвигов, в том числе Таласо-Ферганский разлом и ряд нарушений северо-западного простирания, подтверждаются работами исследователей [4,109,111,112,113].

Горизонтальное движение рассматриваемой области происходило не только в кайнозое, но и в мезозое и характеризуется непрерывным направлением движения. Осевое направление тензоров деформаций тяньшаньской коры за всю историю геологической эволюции существенно не изменилось. За сравнительно короткий геологический период (30 млн лет) земная кора Тянь-Шаня претерпела значительные перестройки.

Вместо тонкой (35-40 км) оболочки создана толща 50-80 км. Реконструкция сопровождалась не значительными магматическими событиями, поэтому значительное утолщение коры не было связано с проникновением больших объемов молодой магмы. Как и во всей современной Памиро-Тянь-Шанской структуре, утолщение земной коры вызвана остаточными деформациями литосферы в результате сильного горизонтального напряжения, действовавшего на древних платформах Индии и Тарима. Современное горизонтальное движущееся векторное поле коры Тянь-Шаня имеет неоднородную структуру. Обычно для него характерна отрицательная вариация, свидетельствующая об уменьшении объема оболочки по мере ее приближения к платформе. Средняя скорость неогеночетвертичных горизонтальных смещений снижается более монотонно от 6,0

мм/год до 0,5 мм/год в северном направлении. Наибольшая доля последних горизонтальных подвижек приходится на Южный Памир (более 6,0 мм в год) и большие изгибные деформации на Южный Тянь-Шань. Градиент скорости горизонтальных движений в 10 раз и более превышает аналогичное значение для вертикальной составляющей. Тянь-Шань и Памир, в первую очередь подвержена сжимающим напряжениям, вызванных касательными напряжениями, выявленных по векторам, скалярным ареалам и наклонов средних скоростей. Кора Восточной Ферганы испытывает сильное напряжение сдвига и деформацию. Преимущественно растягивающие тангенциальные геодинамические напряжения деформаций свойственны земной коре Восточных Кызылкумов [26, с.153].

Развивая теорию мобилизма (основной механизм – горизонтальные силы) в деформировании земной коры Тянь-Шаня, новейшие тектонические движения можно рассматривать как волновой процесс системы огромных выраженный застывших морских волн структурной асимметрии, . перемещения палеозойских масс по надвигам и взбросам, подъемов и опусканий, перемещения молассовых слоев во впадинах. Чередующиеся между собой в виде бегущей волны структуры, дающие представление о горизонтальной направленности тектонических движений, создают своего рода «силовое поле» – векторы [26, с.153]. Составлена карта – схема вергентных структур, и, по существу, они являются силовыми полями напряжений горизонтальных тектонических И имеют различные направленности в различных складчатых областях региона (рис. 4.2) [24, c.191].

По М.В. Гзовскому [21,22,23], регион Тянь-Шань относится к типу областей, где возможны наибольшие кратковременные действующие касательные напряжения до 100–350 МПа, только за последние 20–15 лет на территории Кыргызстана произошли 10 сильных и десятки слабых землетрясений (см. рис. 4.2) [26, с.153]. Анализ карты 41 сейсмических очагов



Рисунок 4.2 – Состояние породного массива Тянь-Шаня на основе данных о современном движении земной коры и натурных измерений [4,5,26]: а – средние скорости горизонтальных перемещений земной коры за новейшее время (мм/год); 7 – направления максимальных напряжений сжатия в очагах современных землетрясений: 1 – Ташкентское, 2 – Джамбульское, 3 – Сарыкамышское, 4 – Жаланаш-Тюпское, 5 – Чаткальское, 6 – Алайское, 7 – Баткенское и 8 – Хайдарканское; 6 – распределение субгоризонтальных напряжений по измерениям в рудниках региона

выявил некоторую неслучайность распространения районов землетрясений на Тянь-Шане, заключающейся в приуроченности сейсмических зон к зонам крупных разломов и флексур, а по глубине (5–15 км) к наиболее хрупкому «гранитному» слою в ориентации горизонтального максимального напряжения сжатия в направлении меридиана [26, с.153].

Так, например, землетрясения, близкие по времени и месту исследований авторов, Баткенское (31.01.77 в 14 час. 26 мин по Гринвичу, М*6.4, глубиной 15-20 км) и Хайдарканское (30.06.77 в 01 час 05 мин по Гринвичу, М*5,

глубиной 15 км) [26, с.153]. Механизм очага Хайдарканского землетрясения построен на основе знаков первых смещений продольных волн 30 сейсмических станций. Одна из плоскостей разрыва в очаге пологая и ориентирована близко к широтному направлению. Эту плоскость характеризует подвижка типа взбросо-сдвиг. Вектор подвижки для этой плоскости ориентируется в Юго-Восточном направлении. Сдвиг является левосторонним. Вторая плоскость разрыва простирается в субширотном направлении более круто, чем первая. В этой плоскости происходит подвижка типа взбросо-сдвиг с преобладанием [26, с.154] взброса. Напряжения сжатия направлены под углом 348° и действуют в почти горизонтальной плоскости, а растяжения ориентированы под углом 45⁰ и имеют силу в вертикальной промежуточного напряжения близкогоризонтальна плоскости. Ось И направлена на запад. Были проанализированы результаты определений 32 афтершоков данного землетрясения.

Таким образом, анализ схемы построения механизма очагов главного толчка, афтершоков Хайдарканского землетрясения показывает последовательную разрядку тектонических напряжений, сконцентрированных в очаговой области. Исфара-Баткенское землетрясение [26, с.154] (находилось в 40 км к юго-западу от Хайдарканского) тоже возникло в условиях близкогоризонтального действия напряжений сжатия, направленных вкрест простирания основных тектонических структур [26, с.154]. Геодезические и деформаграфические измерения также указывают на подвижность региона. Тензорный анализ геодезических измерений за 20 лет показал, что в Южно-Тянь-Шаньском массиве действуют подповерхностные тектонические силы сжатия практически меридионального направления и силы растяжения, ориентированные вертикально. На массив региона происходит надвиг Таджикской котловины со скоростью до 3 см/год. Деформаграфические массива региона показывают деформации исследования сжатия на

протяжении более полувека в перпендикулярных плоскостях север-юг и восток-запад со скоростями примерно 1,8 см/год и 1,2 см/год [14, с.80].

Наличие в верхней части литосферы Тянь-Шаня напряжений, действующих в горизонтальной плоскости и их значительные величины, подтверждаются измерениями разгрузки, ультразвука и рентгена в породных массивах месторождений Кыргызстана.

Экспериментальные данные показывают, что массивы Хайдарканского, Улуу-Тооского, Кадамжайского, Сарыджазского, Учкошконского, Терек-Сайского месторождений испытывают высокие горизонтальные субмеридиальные напряжения в 3-4 раза выше вертикальных.

Сравнительный анализ и сопоставление планов и карт современных движений с геологическими, геофизическими и сейсмическими условиями, и полевыми измерениями в Тянь-Шане (см. рис. 4.2) объясняет формирование земной коры Центральной Азии от воздействия горизонтальных напряжений новейшего голоценового этапа.

Полное соответствие направлений деформаций земной коры, средних за новейшее время, сейсмическим полям, современным движениям и полям измеренных тектонических напряжений в массивах пород свидетельствует об унаследовании современными деформациями новейших движений земной коры, что в свою очередь делает возможным привлечение результатов исследований новейших движений земной коры для задач прогнозирования тектонических полей напряжений в массиве как всего региона, так и отдельных месторождений [26, с.155]. Следовательно, тектонические структуры – складки и разрывные нарушения носят информацию о характере деформационных процессов, происшедших в породном массиве [26, с.155].

Сравнивание результатов измерения напряжений в натурных условиях с неотектоническими данными на Тянь-Шане указывают на непосредственную связь между измеренными полями напряжений и процессами движения верхней части литосферы, т.е. напряженное состояние высокогорных массивов есть результат общего метаморфизма геологических структур. Поэтому, по совокупности тектонических форм изучаемого района Тянь-Шаня, есть возможность указать зоны аналогичных кинетических поведений и пространственно стабильных напряженных состояний [26, с.156].

Анализ результатов исследований геотектоники, сейсмотектоники и непосредственных измерений напряжений в породном массиве показывает, что модель напряженного состояния земной коры региона гораздо сложнее. Ориентировка тензора напряжений в пространстве зависит от многих факторов, но главным образом – от направлений естественных напряжений, обусловленных действием тектонических сил. В регионе действуют высокие горизонтальные тектонические силы неотектонической природы с зональными распределениями по направлению действия. Причем, как показано в работе [71], вергентность (опрокидывание) новейших структурных форм – это направление действия тектонических напряжений (рис. 4.3, в) и охватывает не только верхнюю часть земной коры (10-15 км), но и всю литосферу Тянь-Шаня.



Рисунок 4.3 – Структура дислокации напряжений в массиве антиклинали и под ней: а – расчетные; б – измеренные и смоделированные; в – измеренные по неотектоническим профилям [71]

4.3 Оценка удароопасности пород и участков структурнонеоднородных массивов рудных месторождений

Анализ проявлений горных ударов на рудных месторождениях показал, что удароопасность месторождения или его части напрямую зависит от наличия в породном массиве месторождения двух основных факторов: структурная неоднородность массива – наличия тектонических нарушений и пород склонных к горным ударам, и уровня напряжений в породном массиве, при котором возможно хрупкое разрушение пород целика или краевой части массива выработки, проявляющееся в виде выброса руды (породы) в подземные горные выработки в процессе ведения горных работ, особенно очистных, тем самым нарушая технологический процесс [31, с.56]. В настоящее время существуют различные методы оценки удароопасности: геологические, аналитические, расчетные, инструментальные, аналогий, визуальные и другие. Степень использования методов, их оперативность, информативность, надежность, достоверность, в зависимости от конкретных геомеханических условий и состояния породных массивов месторождений, весьма различен [31, с.56]. На наш взгляд, исходя из опыта исследований на десятилетий, удароопасности необходим протяжении для оценки комплексный способ, обеспечивающий возможность оценки удароопасности породного массива на разных масштабных уровнях до начала ведения и при ведении горных работ, на основе изучения закономерностей формирования удароопасных зон: структурных особенностей, физико-механических свойств пород, слагающих массив и напряженно-деформированного состояния породного массива месторождения [31, с.57].

Для оценки и контроля удароопасности участков рудных месторождений структурно-неоднородного строения, применялся комплексный способ оценки геомеханического состояния породного массива региона, зоны и месторождения [65, с.83].

Для получения более полной и точной информации о геомеханическом состоянии массива на отдельных участках рудничного поля данные оценки естественного напряженно-деформированного состояния породного массива месторождения контролируются результатами применения зоны И ультразвукового способа определения и контроля устойчивости породного массива краевой части незакрепленной горной выработки [31, с. 57]. Перед постановкой ультразвуковых измерений данным способом при ведении горных работ, необходимо: провести визуальные обследования, на основе которого с учетом прогнозной карты и свойств пород определенных способом, лабораторным устанавливается предварительная схема развивающихся процессов, намечаются места проведения ультразвуковых измерений краевой части массива вокруг подземной горной выработки или предохранительного целика находящихся в зонах повышенных и зонах с наибольшей концентрацией напряжений лабораторным способом [31, с.57, 65].

Современная тектоника Тянь-Шаня представляет собой остаточные деформации литосферы воздействующих Памиро-Гиндукуша от с горизонтальных напряжений. В породных массивах этих районов под действием гравитационных и структурных сил происходит формирование зон напряжений. Высокие естественных горизонтальные тектонические напряжения, зональные по отношению к направлению действия, ответственны высоких концентраций напряжений вокруг за создание подземного обнажения, расположенного поперек этих силовых полей. Это подтверждено данными измерений и полевых обследований горно-капитальных, горноподготовительных и очистных выработок на рудниках месторождений Хайдаркан, Кадамжай, Чаувай, Улу-Тоо, Терексай [24].

Визуальными наблюдениями незакрепленных вертикальных, капитальных и одиночных подготовительных выработок обнаружена деструкция пород их стенок на участках, которые расположены поперек

главным горизонтальным тектоническим напряжениям, а в выработках расположенных вдоль – деструкция пород обнаружена в кровле и почве выработки.

Обследовано эксплуатационное состояние более 200 рабочих и отработанных камер неодинакового срока давности. При осмотре измеряли фактические размеры камерных и межкамерных целиков, слоев, трещин, водонасыщенность, горизонт, площадь и размеры обрушения, направление тектонических напряжений участка. Зарегистрированы обвалы кровли 22 камер в которых: пролеты камер изменяются от 6 до 50-55 метров, расположены на глубинах 20-300 м, площадь обвалов 6-500 м², мощность 0,2-4,0 м. Практически все они обвалились после их отработки.

Анализ результатов визуальных наблюдений демонстрирует, что критическое состояние пород при одном и том же направлении работ на кровле и в почве выработки, в основном, за счет сдавливающей нагрузки от напряжений сжатия. Если выработка проходится поперек к вектору максимального напряжения, напряжения концентрируются в контуре выработки с ростом в 2-3 раза первоначальных напряжений нетронутого массива. Эффект деструкции от тектонических напряжений можно увидеть во всех выработках разного назначения. Проявление потери устойчивости пород варьирует от дробления до отрыва плиты. Основными формами нарушения устойчивости являются скалывание по разнородным поверхностным структурам без разрушения структурного блока. Само дробление структурных блоков под действием тектонических сил является распространенной формой деструкции в очагах скопления напряжений, выраженной в расслоении и отслоения плит согласных обнажению. Это является ВДОЛЬ слоев особенностью взаиморасположению обнажений подчиняющаяся И тектонических сил в пространстве. Развитие деформаций, трещин И деструкция существенно различаются от расположения выработки по
отношению к вектору главных напряжений, происходит перераспределение напряжений в контуре выработки.

Таким образом, по результатам исследований установлено:

1. Напряженное состояние исследуемого массива месторождения является результатом общего процесса образования и развития геологических структур. Поэтому, в зависимости от геологического строения исследуемого участка, можно выделить зоны с одинаковым кинетическим поведением и пространственно стабильным напряженным состоянием.

2. Современная тектоника месторождений представляет собой остаточные деформации, созданные интенсивными горизонтальными геодинамическими напряжениями.

3. В массивах исследованных структурно-неоднородных рудных месторождений действуют горизонтальные тектонические силы, порождающие высокие горизонтальные тектонические напряжения с зональным распределением по направлению действия, которые в свою очередь, являются источником формирования высоких концентраций напряжений вокруг выработки, проводимой перпендикулярно тектоническим силам.

4. Наличие горизонтальных напряжений со значительными величинами, взаимосвязь складчатых и разрывных структур месторождений указывают на то, что всестороннее изучение закономерностей удароопасных зон представляется наиболее перспективным путем к разработке методов оценки удароопасности пород и участков месторождений.

По прочностным свойствам массив рудных месторождений сложен от слабых серпентинитов и сланцев с пределом прочности на сжатие от 70 до 600 кг/см², до прочных рудных джаспероидов, брекчии и лиственитов с прочностью 1000-3500 кг/см² [26, с.118]. Среднюю прочность, в основном, имеют разновидности известняков с прочностью 600-1200 кг/см² [26, с.121]. На рудных месторождениях преобладают руды и вмещающие породы с

несколькими неодинаково ориентированными системами трещин в основном крутого падения. Сланцы, серпентиниты, доломиты, тонкослоистые известняки сильно трещиноваты с расстоянием между трещинами от 0,1-0,3 до 0,6м [26, с.121].

Для рудных месторождений Кыргызстана наиболее часто встречаются следующие виды пород: наносы, сланцы, серпентиниты, известняки, джаспероиды, брекчии, листвениты, песчаники, доломиты. Эти породы имеют различные физико-химические свойства [26, с.121].

Основными из физико-химических свойств пород, оказывающими наиболее существенное влияние на выбор способа управлением горным давлением и прочность конструктивных элементов систем разработки являются: объемный вес, прочность на сжатие и разрыв ($\sigma_{c,m}$, σ_p), упругие свойства (модуль упругости *E* и коэффициент Пуассона μ) [26, c.121].

На рудных месторождениях Кыргызстана основной рудовмещающей толщей являются известняки. В зависимости от структуры сложения известняки делятся на массивные, толстослоистые, среднеслоистые и тонкослоистые [26, с.121].

Все разновидности известняков содержат значительные количества примесей и обладают высоким сопротивлением сжатию и разрыву. Анизотропные свойства, вызванные слоистостью, возрастают от массивных известняков к слоистым [26, с.121].

В налегающей толще пород на месторождениях преобладают глинистые, углистые и кварцево-глинисто-серицитовые сланцы и серпентиниты. Физические свойства их характеризуются относительно высокой пластичностью. Сланцам свойственны большая удельная слоистость, что нередко определяет их экранирующую роль в рудообразовании [26, с.121].

Среди песчаников и конгломератов преобладают известняковые и сланцево-известняково-кремнистые разности, которые отличаются высокой прочностью на сжатие и слабой на растяжение, очень низкой пластичностью и высокой хрупкостью. Низкий коэффициент Пуассона и относительно высокий модуль упругости характеризует эти породы как жесткие наиболее склонные к хрупким деформациям [26, с.121].

Большинство рудных месторождений Тянь-Шаня сложено [26, с.121] потенциально удароопасными рудами и горными породами, на которые могут влиять их физико-механические свойства. Это – крепкие и средней крепости горные породы магматического и метаморфического происхождений, обладающими высокими значениями модуля упругости и хрупкости (табл.4.2) [26, с.122]. Первые проявления горных ударов, «стреляний», процессы интенсивного шелушения и заколообразования имели место на рудниках Курусай, Кансай и Кадамжай, но в дальнейшем и на других рудниках, шахтах региона. Поэтому решение проблемы прогноза и предотвращения горных ударов на рудниках, шахтах региона является одной из важнейших задач эффективной и безопасной отработки месторождений полезных ископаемых [26, с.122].

При исследовании проблемы горных ударов степень хрупкости и упругости породы, как известно, оценивается с помощью, так называемых коэффициентов удароопасности, определяемых в лабораторных или натурных условиях путем проведения соответствующих испытаний. Общим показателем хрупкости породы является числовое значение коэффициента удароопасности [26, c.122]:

$$K_{y\partial} = \frac{\varepsilon_{ynp}}{\varepsilon_{no,\pi H}} \cdot 100\%$$
(4.7)

		Скорости упругих		Коэф-	Модуль	Модуль	Коэффициент
Порода, место	Направление			фициент	упругости	сдвига	анизотропии
измерения измерения		волн, м/сек		Пуассона,	$E \cdot 10^{10}$,	$G \cdot 10^{10}$,	скорости продольной
		υ _p	$\upsilon_{\rm s}$	μ	H/M^2	H/M^2	волны А, %
	Хайдаркан						
Известняки	По напластованию	5100	2960	0,23	5,85	2,35	
слоистые,	Вкрест напластования	4890	2670	0,28	5,44	1,93	
точка 1	45° к напластованию	5000	2800	0,26	5,31	2,12	+5,8
	Горизонтальная	5090	2940	0,24	5,94	3,09	
	составляющая	5070					
Джаспероиды,	Вертикальная	5240	2900	0,26	5,73	2,04	
точка 3	составляющая	5240					
	45° к вертикальной	5210	2900	0.25	5.82	2.04	-3.0
	составляющей	0210	_>00	0,20	0,02	2,01	2,0
Терексай							
Амфиболиты,	По напластованию	5490	3070	0,26	6,00	2,53	
точка 3	Вкрест напластования	5690	3920	0,21	7,91	3,31	+3,5
Джаспероиды,	По напластованию	3760	2480	0,16	3,22	1,52	
точка 2	Вкрест напластования	4440	2640	0,20	4,20	1,63	-18,6
	Горизонтальная	5400	3080	0,27	6,23	2,50	
Мраморизованные	составляющая	5470					
известняки	Вертикальная составляющая	4830	2650	0,26	4,81	1,83	+13,6

Таблица 4.2 – Упругие характеристики анизотропного массива горных пород [26, с.122]

Этот коэффициент определяет отношение упругой деформации ε_{ynp} к полной деформации ε_{non} при одноосном сжатии образца горной породы в естественных или лабораторных условиях, подвергающейся нагрузке не менее 80% от его разрушающего напряжения. Коэффициент отражает количество упругой энергии, запасенной в породе до деструкции, а также способность поглощать и выделять энергию при деструкции, и для удароопасных пород имеет значение K_{yo} >70%.

В результате определения величины $K_{y\partial}$ было установлено, что на месторождениях региона к неудароопасным относятся следующие породы [26, с.122]:

на Чон-Койском ртутном месторождении – сланцы, серпентиниты,
 основные эффузивы, залегающие непосредственно в лежачем и висячем боках
 рудных тел [26, с.125];

на Кадамжайском сурьмяном месторождении – глинистые сланцы,
 залегающие в кровле рудного тела [26, с.125];

на Сумсарском свинцово-цинковом месторождении – глинистые
 сланцы, перекрывающие рудное тело [26, с.125].

Как показали испытания, для отмеченных пород K_{yo} в основном изменяется от 45 до 65% и в редких случаях превосходит 70% [26, с.125].

Ряд рудных месторождений Тянь-Шаня приурочен к карбонатным породам или непосредственно связан с ними – доломитами, мраморами, мраморизованными известняками и т.п. В частности, скарноворудные тела Алтын-Топканского свинцово-цинкового месторождения находятся в непосредственном контакте с известняками и доломитами. На шеелитовом месторождении Ингичке скарноворудные тела перекрыты мраморами и доломитами. На Кадамжайском месторождении рудные тела непосредственно подстилаются известняками и доломитами [26, с.125].

Рудные тела Хайдарканского ртутного месторождения в форме линз, гнезд, субпластовых залежей и т.п. размещены среди известняков, джаспероидов (окремненных известняками) и сланцев [26, с.125].

Результаты определения коэффициента удароопасности карбонатных пород свидетельствуют о том, что последние занимают как бы промежуточное положение между явно опасными (гранитоиды, хрупкие эффузивы и т.п.) и неопасными по горным ударам породами [26, с.125]. Даже в пределах одного месторождения различные участки массивов карбонатных пород могут характеризоваться разными значениями коэффициента удароопасности: в одних случаях $K_{yo} > 70\%$, в других – $K_{yo} < 70\%$ [26, с.125]. Так, на полиметаллическом месторождении Куру-Сай по результатам испытания образцов мраморизованного известняка, отобранных из кернов скважин, пробуренных в трех местах XIII горизонта, получены следующие результаты: в одном случае (n=16) $K_{yo}=69,1\%$, во втором (n=18) $K_{yo}=79,2\%$ и в третьем (n=14) $K_{yo}=67,6\%$. В среднем у указанных известняков немного больше практического значения коэффициента удароопасности K_{yo} [26, с.125].

Аналогичная картина наблюдается и при испытании этих мраморизованных известняков методом статического вдавливания жесткого штампа в зашлифованный забой скважины на основе использования известного прибора *БП-18*. Условный коэффициент хрупкости породы и, следовательно, ее потенциальная удароопасность при данном методе определяются по формуле [26, с.126]:

$$K_{xp} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{h_1}{h_2} \tag{4.8}$$

*h*₁ – глубина насаждения индентора в забой скважины на начало фазы деструкции (деформация породы), мм;

*h*₂ – полная глубина насаждения индентора до фазы окончания деструкции (общая глубина лунки выкола), мм.

При K_{xp} породы на участке массива способны к проявлению горных ударов [26, с.126].

Для определенной горной породы соответствующие испытания проводятся по нескольким скважинам. Минимально необходимое число определений коэффициента хрупкости по одной скважине составляет 10 [26, с.126].

Возможности возникновения динамических явлений в карбонатных породах, склонных к горным ударам ($K_{xp} \approx 3$ и более), на рудниках Тянь-Шаня следует ожидать, начиная с глубины 450-500м [26, с.127].

Все остальные породы (магматического происхождения и метаморфические), слагающие рудные месторождения Тянь-Шаня, относятся к явно удароопасным. Для этих пород во всех случаях коэффициент удароопасности K_{yd} >70%, а коэффициент хрупкости K_{xp} >3,0 [26, c.127].

В связи с изложенным следует подчеркнуть, что на основе отмеченных коэффициентов не всегда возможно строго отделить удароопасные породы от неудароопасных. Это особенно относится к тем разновидностям пород, для которых значения $K_{y\partial}$ несколько меньше 70%. Поэтому целесообразно на каждом месторождении выделить: явно удароопасные породы; явно неудароопасные породы; породы промежуточного типа [26, с.127].

В целом на месторождениях Тянь-Шаня к явно неудароопасным относятся такие породы как глинистые, углисто-глинистые и углисто-кремнистые сланцы, существенно дислоцированные вулканогенно-осадочные породы и эффузивы, грейзеновые оторочки кварцевых жил и т.д. [26, с.127].

К явно удароопасным относятся всевозможные гранитоиды, хрупкие эффузивы, роговики, прочные скарны и песчаники и т.п. Для всех этих пород $K_{yo} > 70\%$ и обычно равен 85-100% [26, с.127].

Промежуточное положение между указанными типами горных пород, как уже отмечено, занимают палеозойские карбонатные и некоторые другие породы рудных месторождений. В определенной части массивов доломитов, мраморов, мраморизованных и окремненных известняков, особенно в слабо нарушенных, нередко достаточно активно проявляются динамические формы разрушения под действием горного давления [26, с.127]. Также хорошо известно, что и в других районах в ряде случаев карбонатные породы являются удароопасными. Именно в таких породах промежуточного типа очень важно определить степень ИХ удароопасности на различных участках месторождения. Интенсивно трещиноватые участки этих пород зачастую не являются удароопасными [26, с.128].

Говоря о степени потенциальной удароопасности магматических пород, можно строго отнести подавляющее их большинство к явно удароопасным, причем для многих из них K_{yo} равен или близок к 100%. И хотя по величине K_{yo} различные магматические породы будут близки или равны друг другу, однако степень проявления горных ударов в них при прочих равных условиях будет неодинакова. Например, степень разрушения и разлета породных кусков при горном ударе в относительно однородном массиве хрупких фельзитов или порфиритов может оказаться значительно выше, чем в трещиноватых гранитах. Поэтому целесообразно при благоприятных технических условиях использовать такие методы, которые позволяют осуществлять более дифференцированную оценку степени потенциальной удароопасности горных пород [26, c.128].

В частности, в этом отношении более эффективным следует считать метод оценки склонности пород к динамическому разрушению по запредельным характеристикам, получаемых на основе испытания породных образцов на «жестких» прессах [26, с.128].

Выполненными исследованиями установлено, что коэффициент соотношения значения скорости затухания напряжений при увеличении

величины относительной деформации в убывающей части кривой к модулю упругости (*M/E*) является показателем удароопасности пород [26, с.128].

Согласно исследованиям при $\lambda = \frac{M}{E} > I$ порода считается потенциально удароопасной, а при $\lambda = \frac{M}{E} < I$ порода не опасна в отношении возникновения горного удара [26, с.128]. Различные по механическим свойствам породы Тянь-Шаня имеют различные модули спада за пределом прочности, соответственно они имеют и разные значения коэффициента удароопасности [26, с.129].

Следует, однако, подчеркнуть, что данный коэффициент удароопасности, как, впрочем, и другие соответствующие коэффициенты, определенные по условиям деформирования породы в допредельной области, является лишь относительной характеристикой породы. Критериальные значения « λ » для различных пород и месторождений в определенной мере могут отличаться от названных выше. Возможность возникновения горного удара зависит не только от свойств породы и ее напряженного состояния, но и от условий взаимодействия участка очага горного удара со структурными элементами горного массива [26, с.129].

В итоге можно отметить, что горный удар возможен, особенно если породы в массиве достаточно упругие, чтобы аккумулировать большое количество потенциальной энергии сжатия [26, с.129]. Во-вторых, порода должна быть склонна к хрупкому разрушению. В-третьих, массив или целик должны быть близок к предельному напряженному состоянию. В-четвертых, породы, вмещающие отрабатываемую залежь или жилу, как при сплошной выемке руды, так и при выемке с оставлением целиков, должны обладать прочностью не ниже, чем у руды [26, с.132].

4.4 Краткое заключение по главе 4

1. Обоснованы и установлены основные черты напряженнодеформированного состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений, с учетом установленных взаимосвязей свойств и напряженно-деформированного состояния массивов рудных месторождений.

2. Проведена реконструкция полей напряжений и оценка напряженнодеформированного состояния структурно-неоднородных массивов Хайдарканского месторождения.

3. Сравнительным анализом и сопоставлением схем, планов и карт современных движений с геологическими, геофизическими и сейсмическими условиями, и с результатами полевых измерений в Тянь-Шане установлена первостепенная роль горизонтальных напряжений в истории развития земной коры Центральной Азии.

4. Одним из основных характеристик геомеханического состояния структурно-неоднородных массивов является удароопасность пород и участков месторождений. Определены удароопасные породы и участки глубоких горизонтов структурно-неоднородных массивов рудных месторождений Кыргызстана.

ГЛАВА 5. ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

5.1 Разработка способа определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки

При определении и контроле устойчивости [31, с.57] горного массива вокруг существующей подземной выработки устанавливается распределение напряжений и проверяется их изменение во времени. Ни один класс методов (механических, структурных, сейсмических, электромагнитных, радиометрических), разработанных в настоящее время для определения напряжений и контроля состояния массива горных пород, не удовлетворяет этим требованиям. Они не позволяют оценить состояние горных пород в неповрежденных объемах и достоверно определить границы зон по устойчивости горного массива [27,29].

Оценка геомеханической ситуации, безопасное и рациональное управление неблагоприятными воздействиями геомеханических процессов может быть получено путем непосредственного наблюдения за напряжениями вокруг выработок при их проходке. Для этого был разработан способ определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки [133].

Горный массив считается изотропной, трансверсально-изотропной и ортотропной средой упругой симметрии. Число и направления главных осей тензора напряжений определяются в трехмерном пространстве по графикам распределения скоростей волн колебания вдоль направления распространения, т.е. в трех взаимно перпендикулярных плоскостях.

Разработанный способ [133, с.1] включает бурение трех шпуров из выработки по схеме прямоугольного треугольника, образующие трехмерное

пространство, прозвучивание ультразвуковыми сигналами с помощью излучающего и приемного преобразователей между тремя шпурами производят измерение скоростей продольных v_p и поперечных v_s волн в вертикальной и горизонтальной плоскостях, по результатам измерения строят график распределения акустических модулей в вертикальной плоскости $M_a^{\ e}$ и в горизонтальной плоскости M_a^2 , выделяют зоны естественных напряжений, при этом за границы зоны пониженных напряжений принимают значения $M_a^{o \delta p} \leq \widetilde{M}_a^{\scriptscriptstyle B}$ и $\widetilde{M}_a^{\scriptscriptstyle \Gamma} < M_a^{o \delta p}$, акустических моделей за границы зоны повышенных напряжений принимают значения акустических модулей $M_{a \ \kappa p \mu \tau}^{o \delta p}$: \widetilde{M}_{a}^{B} и $\widetilde{M}_{a}^{\Gamma} \leq M_{a \ \kappa p \mu \tau}^{o \delta p}$, за границы естественных напряжений принимают акустических модулей $M_{a \ Kput}^{o \delta p}$: \widetilde{M}_{a}^{B} и $\widetilde{M}_{a}^{\Gamma} \ge M_{a \ Kput}^{o \delta p}$, значения затем по графикам взаимного расположения кривых акустических модулей В вертикальной плоскости $M_a^{\ e}$ и в горизонтальной плоскости $M_a^{\ 2}$ и линий верхнего и нижнего предела прочности пород судят о категории устойчивости пород, при чем для первой категории «массив устойчив»: вертикальные области опорного давления близки напряжения В К напряжениям естественным, максимальные напряжения предела прочности, ниже горизонтальные напряжения не превышают вертикальных; для второй категории «массив устойчив, но с небольшим запасом прочности»: величина вертикальных напряжений близка пределу прочности, максимальных значения горизонтальных напряжения достигают, а местами выше вертикальных напряжений; для третьей категории «массив неустойчив»: зона максимальных напряжений занимает значительную площадь, величина максимальных напряжений превышает величину напряжений по сечению выработки, горизонтальные напряжения равны или больше вертикальных напряжений.

Предлагаемый способ основан на следующих известных физических принципах.

Любая подземная выработка в массиве всегда предполагает выемку определенного количества породы, происходит перераспределение напряжений, обновляется начальное напряженное состояние, генерируется локальное вторичное поле напряжений вокруг выработки. Это поле, изменяющееся по мере удаления от рабочего контура, зависит от уровня и характера начальных естественных напряжений, от физико-механических свойств и структурных характеристик разрабатываемых пород, от геометрии и размеров выработки, так и топографии. Под воздействием различающихся векторов напряжений вокруг выработки образовываются три зоны: пониженных напряжений (разгрузки) – повышенной нарушенности от техногенных воздействий, характеризуется более низкими напряжениями, чем до процесса разработки породы; зона повышенных напряжений (опорного давления), характеризуется более высокими напряжениями, чем до процесса разработки породы; зона начальных естественных напряжений, характеризуется напряжениями процесса равными напряжениям ДО разработки породы [133, с.6].

Возможность определения этих зон, за исключением зоны естественного напряжения, зависит от наличия процессов разрушения и дезинтеграции горных пород (пониженных напряжений), процессов их консолидации и усиления (повышенных напряжений). Таким образом, каждая область характеризуется степенью структурной неоднородности и анизотропии, что проявляется в параметрах ультразвуковой информации [133, с.7].

Экспериментальные исследования авторов показывают, что продольная и поперечная скорости волн ультразвуковых сигналов наиболее чувствительны к изменению неоднородности и анизотропии исследуемых массивов, например их напряженно-деформированного состояния при условии их излучения одним акустическим преобразователем и не подвержен влиянию других факторов, кроме задействованных факторов, связанных с действующими напряжениями, неоднородностью и анизотропией. К таким

факторам в основном относится различие звуковых баз приемника и выходных преобразователей в вертикальной и горизонтальной плоскостях, одинаковые условия работы которых обеспечиваются в разработанном способе синхронным движением излучателя и приемника [133, с.7].

Это позволяет определить величины и направления действия трех взаимно перпендикулярных главных напряжений и позволяет качественно определить состояние породного массива вокруг незакрепленной выработки по трем категориям устойчивости в зависимости от степени напряженности породного массива.

Схема реализации разработанного способа иллюстрируется на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 – Схема реализации способа (а); поперечный разрез (б) [133, с.18, фиг.1-2]

На рис. 5.2 представлены Кривые $M_a^{\ e}$ и $M_a^{\ c}$, и прямые $M_a^{\ o \delta p}_{\ \kappa pum}$ и $M_a^{\ o \delta p}$ отражающие степень напряженности и устойчивости породного массива вокруг незакрепленной выработки.

В табл.5.1 приведены зависимости определения степени напряженности и устойчивости породного массива вокруг незакрепленной выработки от распределения акустического модуля в функции от расстояния *l* вдоль шпура от контура выработки.

a)



 X_1 — зона пониженных M_a X_2 — зона повышенных M_a X_1 — зона естественных M_a



 X_1 — зона пониженных M_a X_2 — зона повышенных M_a X_1 — зона естественных M_a



Рисунок 5.2 – Схемы кривых $M_a^{\ e}$ и $M_a^{\ c}$, по отношению к прямым $M_a^{\ o \delta p}_{\ \kappa pum}$ и $M_a^{\ o \delta p}$: а – ниже критических; б – равны критическим, в – выше критических [133, с.19-20, фиг.3-6]

Таблица 5.1 – Определение степени напряженности и устойчивости породного массива вокруг незакрепленной выработки [133, табл. 1, с.13-16]

№ п/п	Распределение и величины акустических модулей М ^в а и М ^г а в породном массиве вокруг горной выработки	Характер и величины акустических модулей Мави Ма, Дж/м ³	Напряженное состояние вокруг выработки	Категория устойчивости массива вокруг выработки
1	Зоны повышенных акустических модулей М ^в _а и М ^г _а расположены в краевом участке выработки.		Вертикальные напряжения в	Устойчив (1,25<Ак<1,45
2	Величины акустических модулей M_a^B и M_a^Γ по сечению выработки намного меньше величины акустического модуля при критических нагрузках $M_a^{oбp}$: $M_a^{o6p} \leq \widetilde{M}_a^B$ и $\widetilde{M}_a^\Gamma \leq M_{a \ \kappa p \mu T}^{o6p}$	$M_{a \ крит}^{o \delta p}$ В C 1 $Д$ E M_{a}^{e} выработка	области опорного давления близки к напряжениям естественным. Максимальные напряжения ниже предела прочности.	2,50 <an<2,80)< td=""></an<2,80)<>
3	Величина прозвучиваемой области массива близка к диаметру выработки: $L_{\rm прозв} = \frac{l_{\rm прозв}}{l_{\rm факт}} = 0,8 \div 0,9$	X_1 X_2 X_3 M_{Ia}	Горизонтальные на- пряжения не превышают вертикальных.	
4	В зоне опорного давления величина акустического модуля в горизонтальной плоскости \widetilde{M}_{a}^{r} не превышает величину акустического модуля в вертикальной плоскости \widetilde{M}_{a}^{B} : $A = \frac{\widetilde{M}_{a}^{r}}{\widetilde{M}_{a}^{B}} < 1,0$	X1 – зона пониженных Ма X2 – зона повышенных Ма X1 – зона естественных Ма		
1	Зоны повышенных акустических модулей M ^B _a и M ^r _a перемещаются в сторону контура выработки.		Происходит перераспределение напряжений. Вели-	Устойчив, но с небольшим запасом
2	Величины акустических модулей М ^в и М ^г в повышенной зоне достигают величины акустического модуля в образце при		чина максимальных вертикальных напряжений близка	прочности (1,10<Ак<1,25 2,25<Аn<2,50)

№ п/п	Распределение и величины акустических модулей Мави Мав породном массиве вокруг горной выработки	Характер и величины акустических модулей Мави Ма, Дж/м ³	Напряженное состояние вокруг выработки	Категория устойчивости массива вокруг выработки
	критических нагрузках $M_{a \ крит}^{o \delta p}$: \widetilde{M}_{a}^{B} и $\widetilde{M}_{a}^{\Gamma} \leq M_{a \ крит}^{o \delta p}$	$\begin{bmatrix} C & I & M_{a \ \kappa pum} \\ A & E & M_{a}^{e} \\ 2 & M_{a}^{e} \end{bmatrix}$	пределу прочности. Горизонтальные напряжения дости-	
3	размеры нарушенной зоны x_1 превышают обычные, вызванные буровзрывными работами: 0,5 ÷ 0,6 < $L_{прозв}$ < 0,8 ÷ 0,9	выработка X_1 X_2 X_3 $M_a^{o \delta p}$	гают, а местами выше вертикальных напряжений.	
4	Величина акустического модуля в горизонтальной плоскости \widetilde{M}_{a}^{r} достигает, а местами превышает величину акустического модуля в вертикальной плоскости \widetilde{M}_{a}^{B} : A = $\frac{\widetilde{M}_{a}^{r}}{\widetilde{M}_{a}^{B}} \geq 1,0$	X ₁ – зона пониженных M _a X ₂ – зона повышенных M _a X ₁ – зона естественных M _a		
1	Зоны повышенных акустических модулей М ^в и М ^г а находятся ближе к контуру выработки.	$B \qquad C \qquad 1 \qquad Ma \ kpum \qquad Ma \$	Зона максимальных напряжений	Не устойчив (Ак<1,05
2	Величины акустических модулей M_a^B и M_a^{Γ} в повышенной зоне больше или равны величине акустического модуля при критических нагрузках $M_a^{oбp}$: \widetilde{M}_a^B и $\widetilde{M}_a^{\Gamma} \ge M_a^{oбp}$	выработка A	занимает значи- тельную площадь. Величина макси- мальных напря-	An<2,10)
3	Размеры непрозвучиваемой зоны области значительны: $L_{прозв} \ge 0,5 \div 0,6$		жении превышает величину напряже- ний по сечению	
4	Величина акустического модуля в горизонтальной плоскости $\widetilde{M}_{a}^{\Gamma}$ в повышенной зоне больше величины акустического модуля в вертикальной плоскости \widetilde{M}_{a}^{B} : $\widetilde{M}_{a}^{\Gamma} \geq \widetilde{M}_{a}^{B}$	X1 – зона пониженных Ma X2 – зона повышенных Ma X1 – зона естественных Ma	выработки. Горизонтальные напряжения равны или больше верти- кальных.	

Схема включает горную выработку, измерительные шпуры 1, 2 и 3, пробуренные в ее стенке по схеме прямоугольного треугольника, излучающий ультразвуковой преобразователь 5 помещенный в шпуре 3, приемные ультразвуковые преобразователи 6 и 7 помещенные в шпурах 2 и 4, ультразвуковой прибор 8, помещенный в выработке и к которому подсоединены излучающий и приемный преобразователи.

На чертеже параметрами обозначены l, d, L – длина, диаметр и расстояние между шпурами соответственно; Δl – шаг перемещения излучателя и приемника; L_{2-3} , L_{3-4} и L_{2-4} – расстояния между шпурами; d – диаметр шпуров.

Кривые M_a^e и M_a^e на рис.5.2 отражают характер распределения акустических модулей соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях от контура выработки вглубь породного массива в зонах: пониженных (отрезок AB = X₁), повышенных (отрезок BCД =X₂) и естественных (отрезок ДЕ =X₃) напряжений; прямые $M_a^{oбp}_{\kappa pum}$ (верхний предел) и M_a^{o6p} (нижний предел) отражают соответственно пороговые значения акустического модуля в образце испытуемой породы при одноосном сжатии и в образце при атмосферном давлении.

Разработанный способ осуществляется следующим образом.

Из горной выработки по схеме прямоугольного треугольника пробуриваются три шпура 1, 2 и 3. Вначале бурят шпур 2 и параллельно ему в вертикальной плоскости шпур 1, а в горизонтальной плоскости – параллельно шпур 3. В шпуре 2 вблизи ее устья размещают излучающий ультразвуковой преобразователь 5, а в шпурах 1 и 3 – приемные ультразвуковые преобразователи 6 и 7. При этом излучающий ультразвуковой преобразователь 5 и приемные ультразвуковые преобразователи 6 и 7. При этом излучающий ультразвуковой преобразователь 5 и приемные ультразвуковые преобразователи 6 и 7 закрепляют в измерительных шпурах с помощью штанг, и с помощью штанг синхронно передвигают вдоль шпуров с шагом Δl .

В каждой точке с шагом Δl вглубь массива производят измерение скоростей продольных v_p и поперечных v_s волн в вертикальной (L_{2-3}) и горизонтальной (L_{3-4}) плоскости.

По результатам измерений строят графики распределения акустических модулей в вертикальной плоскости M_a^e и в горизонтальной плоскости M_a^e , по которым судят о пространственном распределении напряжений в породном массиве вокруг незакрепленной выработки 1. Для этого на графиках M_a^e и M_a^e выделяют глубины X₁, X₂ и X₃ (см. рис.5.2). Глубины от 0 до X₁ принимают за границы зоны пониженных (зоны разгрузки) напряжений. Глубины X₁ и X₃ принимают соответственно за нижнюю и верхнюю границы зоны повышенных (зоны опорного давления) напряжений. Глубину X₃, начиная с которой M_a^e сопst и M_a^e сопst, принимают за нижнюю границу первичных естественных напряжений.

Распределение, характер и величины акустических модулей M_a^{e} и M_a^{2} в породном массиве вокруг незакрепленной горной выработки, в зависимости от пороговых значений акустического модуля в образце испытуемой породы при одноосном сжатии, $M_a^{o \delta p}_{kpum}$ (верхний предел) и в образце при атмосферном давлении $M_a^{o \delta p}$ (нижний предел), позволяют пойти дальше чем определение зон напряжений по глубине породного массива, и дают возможность судить о степени напряженности и устойчивости породного массива вокруг этой незакрепленной выработки 1 с выделением категорий устойчивости пород массива. Для этого на графиках M_a^{e} и M_a^{e2} с глубинами X₁, X₂ и X₃ отображают прямые $M_a^{o \delta p}_{kpum}$ и $M_a^{o \delta p}$ (см. рис.5.2 и табл.5.1). Породный массив вокруг незакрепленной выработки 1 разбивается на три категории по степени напряженности и устойчивости.

Первая категория – «массив устойчив», при этом вертикальные напряжения области опорного давления близки к В напряжениям естественным, максимальные напряжения ниже предела прочности, горизонтальные напряжения не превышают вертикальных. Критерии: зоны повышенных акустических модулей Ма и Ма расположены в краевом участке выработки; величины акустических модулей Ма и Ма по сечению выработки намного величины акустического модуля при меньше критических нагрузках

 $M_{a \ \kappa p \mu \tau}^{o 6 p}$: $M_{a}^{o 6 p} \leq \widetilde{M}_{a}^{B}$ и $\widetilde{M}_{a}^{r} < M_{a \ \kappa p \mu \tau}^{o 6 p}$ [133, c.11]; величина прозвучиваемой области массива близка к диаметру выработки: $L_{проз B} = \frac{l_{проз B}}{l_{\phi a \kappa \tau}} = 0,8 \div 0,9$; В зоне опорного давления величина акустического модуля в горизонтальной плоскости \widetilde{M}_{a}^{r} не превышает величину акустического модуля в вертикальной плоскости \widetilde{M}_{a}^{B} : $A = \frac{\widetilde{M}_{a}^{r}}{\widetilde{M}_{a}^{B}} < 1,0.$

Вторая категория – «массив устойчив, но с небольшим запасом прочности», при этом происходит перераспределение напряжений, величина максимальных вертикальных напряжений близка пределу прочности, горизонтальные напряжения достигают, а местами выше вертикальных напряжений. Критерии: зоны повышенных акустических модулей M_a^B и M_a^r перемещаются в сторону контура выработки; их величины в повышенной зоне достигают величины в образце при критических нагрузках $M_{a \ KPMT}^{oбp}$: \widetilde{M}_a^B и $\widetilde{M}_a^r \leq M_{a \ KPMT}^{oбp}$; зоны деструкции X_1 по своим границам больше зон обусловленных взрывными работами: $0,5 \div 0,6 < L_{прозв} < 0,8 \div 0,9$; величина акустического модуля в горизонтальной плоскости \widetilde{M}_a^r достигает, а местами превышает величину акустического модуля в вертикальной плоскости \widetilde{M}_a^B : $A = \frac{\widetilde{M}_a^r}{\widetilde{M}_a^s} \ge 1,0$.

Третья категория – «массив неустойчив», при этом зона максимальных занимает значительную площадь, напряжений величина максимальных напряжений превышает величину напряжений по сечению выработки. Горизонтальные напряжения равны или больше вертикальных напряжений зоны повышенных акустических модулей Ма и Ма находятся ближе к контуру выработки; величины акустических модулей Ма и Ма в повышенной зоне больше или равны величине акустического модуля при критических нагрузках $M_{a \ \kappa p \mu \tau}^{o \delta p}$: \widetilde{M}_{a}^{B} и $\widetilde{M}_{a}^{\Gamma} \ge M_{a \ \kappa p \mu \tau}^{o \delta p}$ [133, с.12]; размеры непрозвучиваемой зоны области значительны: $L_{\text{прозв}} \ge 0.5 \div 0.6$; величина акустического модуля В горизонтальной плоскости \widetilde{M}^{r}_{a} в повышенной зоне больше величины акустического модуля в вертикальной плоскости $\widetilde{M}_a^{\scriptscriptstyle B}$: $\widetilde{M}_a^{\scriptscriptstyle \Gamma} \geq \widetilde{M}_a^{\scriptscriptstyle B}$.

5.2 Оценка устойчивости породного массива вокруг горной выработки геоакустическим методами

Геомеханическое состояние породных массивов – это совокупность показателей, характеризующих их деформируемость, прочность и устойчивость при определенном силовом воздействии [71, с. 205].

Оценить геомеханическое состояние породного массива вокруг горной выработки – это значит установить возможность разрушения пород в окрестности выработки и произвести количественную оценку возникающих при этом геомеханических процессов и явлений [56, с.18].

Анализ имеющихся исследований по оценке устойчивости незакрепленной горной выработки показывает, что прогнозирование их устойчивости обычно привязано к проверке выполнения следующего условия [5,73]:

$$\sigma_{\Gamma} - \sigma_{C\mathcal{K}} \le 0 \tag{5.1}$$

где σ_{Γ} – главное максимальное напряжение, действующее на контуре незакрепленной выработки [73].

При выполнении условия (5.1) породное обнажение классифицируется как устойчивое. Невыполнение данного условия связано с образованием в окрестности выработки области предельного равновесия – породное обнажение считается неустойчивым. На базе этого условия разработан ряд численных критериев, позволяющих классифицировать породные обнажения по степени устойчивости. Наибольшее распространение получил критерий устойчивости вида [5, с.167, 73]:

$$K = \frac{\gamma H}{\sigma_{C\mathcal{K}}} \tag{5.2}$$

где γ – объемный вес пород; Н – глубина заложения выработки; σ_{сж} – предел прочности на одноосное сжатие.

Статическая обработка данных о состоянии породного массива, разрабатываемого без крепи, позволила установить численные значения этого критерия, характеризующие устойчивое и неустойчивое состояние.

Так, при значениях: К<0,1 – состояние выработки может быть охарактеризовано как устойчивое; 0,1 ≤ К ≤ 0,24 – средней устойчивости; К> 0,24 – неустойчивое [5,73].

Вместе с тем, предложения по прогнозированию устойчивости незакрепленной выработки, основанные только на условии (5.2), не учитывают особенностей механического поведения пород в закрепленном состоянии. Условие (5.2) основано на модели предельно хрупкого массива, согласно которой несущая способность пород исчерпывается сразу по достижению напряжения σ_{Γ} критического значения рис.5.3а. И, как показывает практика, выполнение данного условия не приводит к эксплуатационной потере выработки [5,73].



Рисунок 5.3 – Диаграммы деформирования для различных геомеханических моделей [5,73]

При разрушении массива происходит перераспределение напряжений, поэтому несущая способность породных массивов с учетом перераспределения напряжений в результате его разрушения оказывается выше, чем без учета процесса разрушения. Невыполнение условия (5.2) говорит лишь о том, что разрушения должны иметь место, однако каковы их возможные размеры, это условие не определяет. А именно этот момент и является решающим для предварительного выбора средств и способов поддержания выработки. Поэтому

для обыкновенного решения вопроса об управлении геомеханическими процессами, необходима количественная оценка их проявлений. Это значит, оценить геомеханическое состояние породного массива вокруг горной выработки и определить: происходит ли течение породы рис.5.36; размеры образующихся зон запредельного состояния руинного разрушения рис.5.3в; величину смещений породного контура [5,73].

Для оценки устойчивого состояния породного массива вокруг горизонтальных выработок приняты следующие критерии: в одних случаях – смещение на контуре поперечного сечения выработки за весь срок ее службы при отсутствии крепи, т. е. в незакрепленном состоянии табл.5.2, в других случаях – склонность пород к вывалообразованию, к разрушению табл. 5.3 [5,73].

Таблица 5.2 – Оценка степени устойчивости пород по величине смещений за весь срок службы выработки при отсутствии крепи [5,73]

	Степень устойчивости	Смещения в породах, мм			
Категория		Осадочных (песчаники, алевролиты, известняки, уголь и др.)	изверженных (граниты, диориты, порфириты, базальты и др.)	соляных (каменная соль, сильвинит и др.	
Ι	Устойчивые	До 50	До 20	До 200	
II	Средней устойчивости	Свыше 50–200	Свыше 20–200	Свыше 200–300	
III	Неустойчивые	Свыше 200–500	Свыше 100–200	Свыше 300–500	
IV	Весьма неустойчивые	Свыше 500	Свыше 200	Свыше 500	

Однако, в производственных условиях встречаются различные формы геомеханических процессов: вывалообразование в выработки под действием собственного веса образующихся пород; разрушение пород в обнажении под влиянием естественного поля напряжений в массиве; чрезмерное смещение

Таблица 5.3 – Оценка степени устойчивости пород по склонности к разрушению [56, с.19, 73]

Иd		Общая характеристика состояния пород склонных к				
Категој я	Степень устойчивости	вывало- образованию	разрушению	вязко- пластичному течению		
Ι	Вполне устойчивые (до 1000 м ²)	Вывалы отсутствуют	Разрушения отсутствуют	Смещение пород до 10 см		
II	Устойчивые (до 500 м ²)	Возможны отдельные не значительные отклонения	Возможны неупругие деформации без разрушения, возникновение технологических трещиноватостей	Смещение пород до 20 см		
III	Средней устойчивости (до 200 м ²)	Возможно образование вывалов из кровли выработок	Образование локальных зон разрушения	Смещение пород до 30 см		
IV	Неустойчивые	Образование вывалов вскоре после обнажения пород, в боках выработки	Зоны разрушения охватывают большую часть сечения выработки	Смещение пород до 50 см		
v	Весьма неустойчивые	Обрушение пород вслед за обнажением	Значительные развитые зоны разрушения, охватывающие весь контур сечения выработки Пучение почвы выработки	Смещение свыше 50 см, не затухающее во времени смещение пород		

пород в выработку без видного их нарушения. Анализ показал [73], что степень устойчивости пород определяется следующим основными факторами: величиной и направлением главных напряжений в нетронутом породном массиве; механическими характеристиками пород (σ_{CW} , σ_P , c, ϕ и др.); степенью

нарушенности (число и характер трещин, наличие ослабленных поверхностей); обводненностью пород; формой и размерами поперечного сечения выработки.

В зависимости от особенностей деформирования различных горных пород, за пределом прочности геомеханические процессы, связанные с разрушением, могут реализоваться в виде пластичного течения или в виде хрупкого разрушения. В общем случае, вокруг выработки образуются три характерные области рис.5.4 [73].



Рисунок 5.4 – Расчетная схема плоской задачи о запредельном деформировании породного массива (а) и распределение прочности породного массива вокруг выработки (б) [5,73]

Область руинного разрушения (остаточная прочность). Предельное состояние пород в этой области рис.5.5, зона *ек*, описывается выражением вида [5,30,73]:

$$\sigma_1 = (2\lambda + 1) \cdot \sigma_3 = \sigma_{C\mathcal{K}}^0 \tag{5.3}$$

где σ_1 и σ_3 – главные нормальные максимальные и минимальные напряжения; σ_{CW} – остаточная прочность; λ – коэффициент бокового распора.

Распределение радиальных σ_r и окружных σ_{θ} напряжений в области руинного разрушения описывается следующими выражениями [5,73]:

При хрупком деформировании:

$$\begin{cases} \sigma_r = \left(P + \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda}\right) \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda}; \\ \sigma_\theta = (2\lambda + 1) \cdot \left(P + \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda}\right) \cdot \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda} \end{cases}$$
(5.4)



Рисунок 5.5 – Полная диаграмма деформирования пород: є_∥ – продольные линейные деформации; є⊥ – поперечные деформации; диаграмма разделена на три характерные области деформирования: допредельная (ed), запредельная (de) и руинного разрушения (ek) [5, с.43, 73]

При пластичном деформировании:

$$\begin{cases} \sigma_r = \left(P + \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda}\right) \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda}; \\ \sigma_\theta = (2\lambda + 1) \cdot \left(P + \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda}\right) \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_{C\mathcal{K}}^0}{2\lambda} \end{cases}$$
(5.5)

где P – реактивное сопротивление крепи; λ – коэффициент бокового распора.

Область запредельного состояния (см. рис.5.4, зона II; см. рис.5.5, зона de) характеризуется прочностной и деформированной неоднородностью, так как породы разрушены неравномерно: от наибольшего разрушения на внутренней границе области $r = r_P$ до ненарушенного состояния на внешней границе r = r_n. Процесс деформирования в указанной области сопровождается интенсивным объемным расширением (дилатансией) [73].

Связь между продольными ε_{\parallel} и поперечными ε_{\perp} деформациями (см. рис.5.5) определяется зависимостью [5, с.298, 73]:

$$\varepsilon_{\parallel} = -\beta \varepsilon_{\perp} \tag{5.6}$$

где *β*- коэффициент поперечной деформации для запредельного состояния.

Получены выражения для полных напряжений в области запредельного состояния [5,73]:

$$\sigma_{r} = \left(P \cdot r^{2\lambda} + A\xi + \beta + 1\right) \cdot \sigma_{C\mathcal{K}} \cdot 2\lambda \cdot (\beta + 1) \cdot \left(\frac{r^{2\lambda}}{r_{P}^{2\lambda} - 1}\right) \cdot \frac{A\xi}{(\beta + 1) \cdot (\beta + 1 + 2\lambda)} \cdots \left(\frac{r_{n}^{\beta + 1}}{r_{P}^{\beta + 1}} - \frac{r_{n}^{\beta + 1} \cdot r^{2\lambda}}{r_{P}^{\beta + 1 + 2\lambda}}\right); \sigma_{\theta} = (2\lambda + 1) \cdot \sigma_{r} + \sigma_{C\mathcal{K}}^{0} - A\xi + \beta + 1(\frac{r_{n}^{\beta + 1}}{r_{P}^{\beta + 1} - 1}); \tau_{r\theta} = 0$$

$$(5.7)$$

где $A = \frac{3}{2} \cdot (2\lambda\gamma H + \frac{\sigma_{CK}}{1+\lambda}); \xi = \frac{E_1}{E}$ – параметр, характеризующий отношение

модуля деформации в допредельном состоянии [56, с.14].

$$r_{n} = \left\{ \frac{1}{P} \cdot \left[\frac{A\xi}{(\beta+1)\cdot(\beta+1+2\lambda)\cdot(\rho^{\beta+1+2\lambda}-1)} - A\xi + \frac{\sigma_{CK}\cdot(\beta+1)}{2\lambda} + (\beta+1) \cdot \left(\rho^{\beta+1+2\lambda} - 1 + \gamma H - \frac{A}{3} \right] \right\}^{\frac{1}{2\lambda}}$$
(5.8)

где $\rho = \left[1 + \frac{\sigma_{CK} \cdot (\beta+1)}{A^{\xi}}\right]^{\frac{1}{\beta+1}}$.

На запредельной стадии определяющими являются процессы разрушения: с ростом деформации напряжения уменьшаются до некоторого минимального уровня, при разгрузке большая часть деформаций затухают и разрыхление пород достигает значительных размеров [73].

В области до предельного состояния (рис. 5.4, зона III; рис. 5.5, зона *od*) объемные изменения породы при их деформировании носят двоякий характер и на границе r равной r_n , практически равны 0 [73, с.87].

Компоненты полных напряжений можно рассчитать [73]:

$$\sigma_{r} = \gamma H \left[\frac{1+\lambda}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{r^{2}}\right) + \frac{1-\lambda}{2} \cdot \left(1 - \frac{4}{r^{2}} + \frac{3}{r^{4}} \cdot \cos 20\right]; \right]$$

$$\sigma_{z} = \gamma H \left[\lambda - \mu \cdot \frac{1-\lambda}{2} \cdot \frac{4}{r^{2}} \cdot \cos 20\right];$$

$$\sigma_{\theta} = \gamma H \left[\frac{1+\lambda}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{r^{2}}\right) - \frac{1-\lambda}{2} \cdot \left(1 + \frac{3}{r^{4}} \cdot \cos 20\right]; \right]$$

$$\tau_{r\theta} = -\gamma H \cdot \frac{1-\lambda}{2} \cdot \left(1 + \frac{2}{r^{2}} - \frac{3}{r^{4}} \cdot \sin 20.\right]$$
(5.9)

где σ_z, τ_{rθ} – вертикальные касательные напряжения; r – полярная координата; μ – коэффициент Пуассона; H – глубина заложения выработки; γ – объемный вес породы.

Величина концентрации и характер образующего поля напряжений и перемещений вокруг выработок в целом зависит от совокупных условий многих взаимосвязанных факторов [73, с.87]:

- пространственно-геометрических параметров рассматриваемых выработок: формы и размеры поперечного сечения, соотношения длины, ширины и высоты выработки, близости соседних параллельных и наличие пересекающихся выработок;

- деформированных характеристик пород в непосредственной близости от контура выработки; особенности естественного поля напряжений;

характеристики воздействия на породы вокруг выработки в процессе ее проходки и дальнейшей эксплуатации; динамических нагрузок при работе комбайнов в проходке и с помощью БВР;

- влияние агентов выветривания (вода, воздух), изменение температурного режима и др.

При изучении указанных факторов, оценке и контроле устойчивости незакрепленной горной выработки особое внимание следует обратить на геоакустические методы [73].

При этом, схема прозвучивания выбирается в зависимости от типа пород, пространственной ориентировки, направления и угла наклона слоев, степени трещиноватости. Система точек контроля представляет собой взаимное расположение в пространстве в пределах выделенного угла оценки свойств и контроля участка массива, точек размещения датчиков. Под параметрами схемы измерений понимается: расположение измерительных шпуров относительно друг друга и к горной выработке; величина базы прозвучивания L массива; величина шага прозвучивания Δl , т. е. расстояние между точками размещения датчиков в шпуре [73,133].

Детальность контроля определяется: размером выделяемой неоднородности *a*; базой и шагом прозвучивания; длиной волны $\lambda = \frac{v_{\Pi P}}{f}$ в массиве, где *f* – частотой упругих колебаний. При этом целесообразно выделить область воздействия эксперимента, т. е. участок v_0 породного массива, который оказывает существенное влияние на параметры распространяющегося в этом массиве акустического сигнала. Область воздействия эксперимента при измерении $v_{\Pi P}$, $v_{\Pi \Pi}$ в массиве представляет собой эллипсоид вращения с радиусом среднего сечения [73, с.89]:

$$R_{(CM)} = 0.5 \sqrt{\frac{L_{(CM)} \cdot v_{\Pi P(M/C)}}{40 \cdot f_{(K\Gamma II)}}}$$
(5.10)

Величина базы прозвучивания L определяется: необходимой точностью измерений скоростей $v_{\Pi P}$, $v_{\Pi \Pi}$; минимальным влиянием на результаты измерений концентрации напряжений вокруг измерительных шпуров; соотношением между размерами неоднородности a и области воздействия эксперимента R. По фактору необходимой точности определения скоростей база прозвучивания массива должна удовлетворять условию [73, с.89]:

$$L_{(M)} \ge \sqrt{\frac{(\Delta L)^2}{\delta_v^2 - \delta_t^2}} \tag{5.11}$$

где ΔL – абсолютная погрешность определения базы прозвучивания, m; δ_t – относительная погрешность отсчета времени первого вступления, %; δ_v – допустимая относительная погрешность измерения скорости в массиве, %. Величина δ_v должна быть, по крайней мере, на порядок меньше относительного прироста скорости v_v за счет напряженного состояния массива. Минимальная база прозвучивания с учетом влияния измерительных шпуров определяется диаметром шпура d и упруго-прочностными свойствами массива. Минимально допустимое расстояние между шпурами должно составлять [73]:

$$L \ge (4 \div 6)d \tag{5.12}$$

Для получения статистически независимых результатов измерений в соседних участках массива необходимо, чтобы области воздействия эксперимента не пересекались, т. е. выполнялось условие [73]:

$$\Delta l > 2R \tag{5.13}$$

С другой стороны, зная порядок величины *а* пространственной неоднородности, которую необходимо выявить в процессе контроля, можно выбрать соответствующие значения *L* и *f*, чтобы выполнялось условие [73]:

$$a \ge nR$$
, (5.14)
174

где $n = 2 \div 10$. С учетом (12)–(16) для допустимой базы прозвучивания имеем [73]:

$$L \le \frac{40 \cdot f_{(\mathrm{KFII})} \cdot a_{(\mathrm{CM})}^2}{n^2 \cdot M a_{(\mathrm{CM})}} \tag{5.15}$$

При этом выделяемая неоднородность массива выступает в форме медленно меняющейся компоненты и может быть выделена методом текущего сглаживания экспериментальных данных. Выбор шага прозвучивания Δl определяется соотношением величин R/a и основывается на достаточно детальной информации о массиве и на получении статистически независимых результатов измерений в соседних точках массива.

С учетом (5.10)–(5.15) имеем [73]:

$$\Delta l_{(\text{CM})} \ge \sqrt{\frac{L_{(\text{CM})} \cdot Ma_{(\text{M/}_{C})}}{40 \cdot f_{(\text{KFII})}}}$$
(5.16)

Выбор несущей частоты ультразвуковых колебаний определяется конструктивными особенностями используемых датчиков, соотношениями (5.11)–(5.16), а также условием [73]:

$$L \gg \lambda$$
 (5.17)

Так, при погрешностях измерений $\Delta L = 1$ см, $\delta_t = 1\%$, $\delta_v \approx 3\%$ с учетом выражения (5.16) величина $L \ge 35$ см.

С учетом влияния измерительных шпуров $\emptyset = 42$ мм, $L \approx 25$ см для обеспечения требуемой детальности измерений на частоте f = 80 кГц при $v_{\Pi P} = 5000$ м/с, n = 4 и выявления неоднородностей в массиве размером a =40 см и выше с учетом выражения (5.17) имеем $L \leq 64$ см. Таким образом, рациональная база прозвучивания находится в пределах $L = (40 \div 60)$ см. Шаг прозвучивания выбирается равным 10 ÷ 30 см в зависимости от требуемой детальности исследований [73].

Таким образом, при оценке устойчивости массива наиболее важной является проблема регистрации момента разрушения пород или наступления предела их прочности. Определение их в массиве весьма сложно, так как предел прочности породы является величиной переменной и зависит от вида напряженного состояния, изменяясь от минимальной величины при одноосном сжатии, до максимума – при объемном. В то же время задача регистрации момента наступления предела прочности пород в массиве является весьма актуальной, так как ее решение позволило бы разработать методы контроля и прогнозирование разрушаемости и устойчивости породного массива. В этой связи очевидны преимущества метода оценки геомеханического состояния породного массива в создании общей геомеханической модели объекта, а на ее основе при ведении горных работ, вокруг выработок и обнажений, применение разработанного способа определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки [133].

Всевозможные инженерные сооружения возводятся в массиве пород в результате различных технологических приемов – котлованы, траншеи, канавы, откосы, дороги, подземные горные выработки разных форм и параметров. Определить их безаварийность еще на стадии проектирования, затем строительства и эксплуатации, обеспечить их устойчивость в различных горногеологических и горнотехнических условиях во времени становится одной из основных задач инженерных наук и производства. Величина и характер распределения напряжений вокруг выработки, в частности, в зонах их концентрации, являются критическими показателями устойчивости массива.

Для количественной оценки распространения этих зон [73], автором обосновано применение разработанного способа [133], который дает преимущество в регистрации критических напряжений в массиве по уменьшению относительной скорости волны колебания вдоль направления

распространения на основе знания величины и направления основных напряжений и сопротивления породы напряжениям.

Результаты измерений, выполненных в промышленных условиях вблизи выработок различной конфигурации, показывают особенности распространения скоростей продольных волн в горных породах.

Причем размеры зон концентрации скоростей, направление максимальных значений скоростей в вертикальной и горизонтальной плоскостях, постоянно изменяются. Приведены принципы оценки устойчивости незакрепленной горной выработки и разработанные критерии оценки и контроля устойчивости породного массива вокруг выработки по параметрам акустического модуля [27].

Исследованиями прослежены изменения дислокации акустического коэффициента по сечению горной выработки и выявлены некоторые особенности в них. Акустический коэффициент снижается в вертикальной плоскости Ма^в и увеличивается в горизонтальной Ма^г в зонах концентрации напряжений, изменяется дислокация акустического коэффициента по сечению обнажений. Постоянно изменяются границы зон концентрации акустического коэффициента в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Это объяснимо механизмом и физической моделью деструкции пород. При поперечном сечении тела на разных стадиях деструкции выполняются условия c1 < c2 < c3 < c4, где $c = \sigma_1/\sigma_2$ при начальных условиях $\sigma_1 > \sigma_2$. Прозвучивая данные сечения в направлении действия σ_1 , σ_2 , а также вдоль плоскости сдвига ω на разных стадиях нагружения выясним, что Ma^B будет уменьшаться, так как происходит снятие контактов и отрыв, Ma^Г увеличивается, поскольку по условию σ_2 возрастает, а максимум модуля будет отклоняться вдоль плоскости сдвига ω до угла 45°, так как участки тела модели в этом направлении наименее нарушены.

Измерения в опорном целике в период 3-х лет (рис.5.6), иллюстрируют самое большое изменение акустического коэффициента от исходного вертикального направления на <u>+</u>45°, уменьшается показатель Ma^B и

увеличивается показатель Ма^г, говоря иными словами, диаграмма перемены коэффициента соответствует механизму деструкции пород.



Рисунок 5.6 – Снижение Ма^в и повышение Ма^г в массиве на расстоянии 60 (о), 100(□) и 200(Δ) см от обнажений [159, с.40]

Выявлена еще одна особенность, связанная с формированием анизотропии акустических модулей в горизонтальном и вертикальном направлениях. Значимость Ma^B и Ma^{Γ} возрастает с увеличением горного давления в зонах концентрации напряжений. В целике, от очистных работ, проводимых рядом, последовало снижение Ma^B и повышение значения Ma^{Γ} (рис.5.7). Затем, от уменьшения темпов очистных работ показатель Ma^{Γ} незначительно уменьшался, затем, от посадки кровли на нижнем горизонте, показатель акустического коэффициента Ma^{Γ} стал больше Ma^B , следствием чего, стала деструкция целика на пятом годе наблюдения. Сходные результаты достигнуты и по другим измерениям в массиве.

Передвижение зоны повышенных напряжений в центр целика от деструкции пород в зоне концентрации в краевой области, приведено на рис.5.8, где показано одновременное снижение акустического модуля на расстоянии 60

см от обнажений и возрастание её на глубине 160 см. Это означает, что изменение горного давления могут перераспределять первоначальные зоны концентраций с окраин обнаженного массива вглубь массива.



Рисунок 5.7 – Изменение акустических модулей Ма^в, Ма^г и параметра *F* в зоне аккумуляции напряжений в 100 см от обнажений [159, с.40]



Рисунок 5.8 – Снижение зоны концентрации напряжений в центр целика на расстоянии 60(о) и 170(□) см от обнажений [159, с.41]

Многолетние геоакустические измерения позволили проследить изменения распределения акустического модуля Ma, а следовательно, и напряжений в разрезе обнажений от возникновения до разрушения. При росте горного давления акустический модуль Ma^B в зоне концентрации увеличивается, со снятием давления – уменьшается; одновременно происходит рост Ma^F, причем её значение может повысить значение Ma^B; снижение Ma^B в зоне концентрации приводит к росту Ma^F в соседних участках обнажений, т. е. зоны концентрации напряжений смещаются [133, с.11].

Подтвержденные изменения акустического коэффициента, уменьшения в вертикальной и роста в горизонтальной, передвижение зоны увеличенных коэффициентов, представляют признаки процесса обрушения горных пород в концентрации напряжений. Анизотропия зонах акустических модулей объясняется соотношением участков пород, начавших разрушаться. Обратное увеличение вертикальной нагрузки в зонах нарушенности создает условия высоких горизонтальных давлений в зонах концентрации, что, как показывают исследования, может увеличить результаты вертикальную компоненту, действующую в настоящее время в этой зоне.

Поэтому критическое состояние горного массива вокруг обнажения качественно оценивают по следующим акустическим критериям: понижением или повышением Ma^B; увеличением Ma^Γ и возникновением анизотропии акустических модулей Ma^B и Ma^Γ; смещением зон повышенных акустических модулей по сечению выработок. Эти факты позволяют перейти к оценке состояния породного массива вокруг незакрепленной выработки по результатам геоакустических измерений [133, с.8].

Породный массив рассматривается как изотропная, трансверсальноизотропная и ортотропная среда с упругой симметрией. Количество и основные направления осей анизотропии определяются на основании диаграмм распределения скоростей продольных и поперечных волн по трем взаимно перпендикулярным сторонам блоков по радиальному профилю. При анизотропном расположении правильной симметрией считается следующая
интерпретация: скорости волн, измеряемые по контуру выработки как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, а также с отклонением направлений прозвучивания относительно оси максимальной чувствительности на углы $\pm 45^{\circ}$, являются главными показателями, несущими информацию о массиве.

В основу оценки устойчивости незакрепленной горной выработки положены следующие принципы.

Свойства иерархизации напряжения определяются свойствами коэффициента. иерархизации акустического Зоны низких, высоких И коэффициентов естественных областям акустических соответствуют ослабленных пород, повышенных и естественных напряжений, что выявлено на примере контроля массивов выработки и целика (рис.5.9).

Сразу после проведения выработки распределение напряжений характеризуется наличием их концентраций на окраинах разрезов. Затем концентрация достигает критических значений увеличиваясь по мере



Рисунок 5.9 – Распределение акустического модуля в массиве целика (Б) и выработки (А) с изменением горного давления от возникновения (а) до деструкции (3) [159, с.41]

увеличения давления в зоне. В этом случае вертикальное напряжение уменьшается, а горизонтальное увеличивается и превышает вертикальную компоненту.

При этом области концентрации напряжений передаются в глубь массива, сливаются и образуют область аккумуляции в глубине массива. Далее, с ростом давления и аккумуляцией горного давления напряжения нарастают до величин деструкции пород. Предполагаемый процесс сопровождается снижением несущей способности массива, так как область разрушенности пород распространяется на глубину массива.

Наличие критических напряжений отражается на идеальном значении акустического модуля.

Рост горного давления приводит к формированию неоднородного поля напряжений с максимальными напряжениями в зонах их аккумуляции и когда они достигают или превышают предел прочности породы, происходит потеря устойчивости или процесс разрушения в виде вывалов или сколов.

Акустическим показателем, определяющим наличие критического напряжения в массиве, может быть абсолютное значение акустического модуля Ма. Значение акустического модуля Ма^{обр} при атмосферном давлении использовалось в качестве порогового значения при атмосферном давлении и при анализе результатов на одноосное сжатие.

Поскольку порода в массиве может находиться в объемном или одноосном напряженном состоянии, а при последнем случае предел прочности и рост акустического модуля являются минимальными, а также учитывая не влияния вида нагружения на условия предельных состояний, за пороговое значение принимаем значение акустического модуля разрушения образцов при одноосном сжатии. Превышение порогового акустического модуля в массиве будет свидетельствовать о его сложнонапряженном состоянии с напряжениями близким к пределу прочности породы.

Сопоставляя механизмы разрушения образца и массива, можно сделать вывод, что момент деструкции образца сопровождается лавинообразной

деструкцией сплошности, в которой продолжается нарастание нагрузки. По мере увеличения давления в нормальном отвесном направлении массы в материале возникают направленные микротрещины и одновременно происходит деформация. В этом смысле снижается нагрузка и теряют силы процессы. Сложное напряженное состояние первоначально приводит к тому, что основное напряжение смещается от вертикальной оси, а горизонтальная составляющая становится вертикальной. Следовательно, продольная и поперечная анизотропия акустического модуля свидетельствует об анизотропии напряжений.

Уровень напряженности массива оценивается в такой последовательности. Отставание акустического модуля в массиве Ма от акустического модуля в образце $Ma^{o 6 p}$ и при этом вертикальная Ma^B выше горизонтальной Ma^{Γ} , то его значение можно считать вызванным воздействием структурной неоднородностью породного массива (рис.5.10, 1 зона). Если значение акустического модуля находится в пределах $Ma^{o 6 p} < Ma < Ma^{o 6 p}_{крит}$ и $Ma^B \ge$ Ma^{Γ} , то порода будет испытывать упругую деформацию (зона 2). Последующий рост напряжений сочетается ростом акустического модуля.

Значения $Ma \ge Ma_{\kappa pur}^{o 6 p}$ и $Ma \le Ma^{o 6 p}$ относятся к сложному напряженному состоянию горных пород и к потенциальным критическим напряжениям в этой области (3 зона). Значения $Ma \ge Ma^{o 6 p}$ и $Ma^B = Ma^{\Gamma}$ или $Ma^B \ne Ma^{\Gamma}$ отражают время t_1 наступления критического состояния пород. Последующее одновременное снижение Ma^B и рост Ma^{Γ} , т. е. $Ma^B \rightarrow Ma^{o 6 p}$, а $Ma^{B} \rightarrow Ma_{\kappa pur}^{o 6 p}$ показывают время t_2 смещения зоны повышенных модулей вглубь массива и начало предшествующей микроразрушению фазы. Значение $Ma^{\Gamma} > Ma^{B}$ отражают время t_3 начала микроразрушения массива (4 зона). Значение $Ma^{B'\Gamma} < Ma^{o 6 p}$ паказывают время t_4 когда имело место макродеструкции пород и границы прозвучивания сократились (5 зона).



Рисунок 5.10 – Зоны массива по степени напряженности от значений акустического модуля: 1 – разгруженная; 2 – упругого деформирования; 3 – критических напряжений; 4 – микроразрушений; 5 – разрушений [159, с.42]

Сдвиговые напряжения, происходящие от превосходства горизонтальных напряжений над вертикальными, приводят к утрате устойчивости массива, что установлено экспериментальными наблюдениями в комбинации методов разгрузки и геоакустики [57].

Отношение акустических модулей в горизонтальной плоскости Ma^{Γ} к вертикальной плоскости Ma^{B} , $C = Ma^{\Gamma}/Ma^{B}$, является показателем, характеризующим степень анизотропии напряжений в изотропной породе. Количественные значения определяются экспериментально. Например, в целике в течение первого года измерений заданной глубине порода претерпевает доминирующее влияние вертикальной компоненты (рис. 5.11).

В связи с увеличением нагрузки на целик за счет развития выемки пород модуль Ма^В снижается, а Ма^Г увеличивается на 1,2 %, вновь, за счет релаксации напряжений снижается до 1,0. Далее, в течение года между измерениями, проводилась интенсивная выемка пород нижележащего горизонта, нагрузка на



Рисунок 5.11 – Уровень анизотропии напряжений в массиве:

С < 1 – одноосное напряжение; С \approx 1 – объемное напряжение; 1,12 > C > 1 – анизотропия напряжений; С > 1,12 – разрушение [159, c.43]

целик возрастает, значение С снова увеличивается и достигает 1,13 и произошла деструкция целика на пятый год. Наблюдения в течении этого периода подтвердили, что величина C=1,12 еще не является деструктивным для пород. Деструктивным являются значения выше 1,12, которое принято за критическое значение анизотропии напряжений.

5.3 Определение характера распределения напряжений породного массива вблизи горных выработок в анизотропных массивах

Слоистость горных пород имеет важное значение в формировании напряженного состояние анизотропного массива:

а) при мощности отдельных слоев h меньше длины волны ультразвука λ , массив однородно анизотропный. При условиях h/λ <2,0 слои считаются тонкими, однородно анизотропными. Длина волны основана на соотношении между скоростью распространения волны конкретной породы и рабочей

частотой пьезоэлектрического преобразователя – $\lambda = V / f$ см. Например, при vp = 6000 м / сек f = 60 Гц ÷ 60кГц, то $\lambda = 10$ см. На данном основании, исследованные анизотропные слоистые известняки и углистые сланцы месторождения Хайдаркан были признаны однородно-анизотропными;

б) в итоге, показатели испытаний подтвердили правильность принятой схемы расчета для пород с трансверсально изотропной упругой симметрией с различными свойствами в различных направлениях внутри;

в) для достоверности исследуемые образцы были синхронно испытаны на одноосное сжатие с прозвучиванием. По расчетной схеме анизотропии образцы известняка и сланце испытывали в других основных направлениях анизотропии, т.е. при приложении усилия нагрузки вдоль и поперек слойчатости.

По результату испытаний можно определить особенности изменения модуля волны колебания вдоль направления распространения с давлением в относительно ориентации нагрузки к плоскостям упругой симметрии. У известняков слоистых при половине давления от разрушающих множитель анизотропии понижается на 25-26% (с 1,45 до 1,08).

г) лабораторные и полевые исследования анизотропных пород методом разгрузки и геоакустическим методом выявили значительную конвергенцию в характере распределения модуля и напряжения. Каждый проанализированный образец слоистого известняка характеризовался снижением коэффициента модульной анизотропии в 1,05. На основании лабораторных испытаний такое снижение анизотропии может свидетельствовать о напряжениях не менее 50÷60% от разрушающих;

д) исследованы параметры анизотропии. Достаточно качественно оценить анизотропию пород с наблюдаемой симметрией с акустическими модулями, полученными вдоль и поперек слоям. Установленные значения A^{сл}_{извест} = 1.45 и A_{сланца} = 1.2 весьма значимы для оценки напряженного состояния.

Воздействие анизотропии на напряженное состояние оценивалось коэффициентами Ак и Ап через величины скоростей волн v_p и v_s , измеренных по главным направлениям анизотропии:

с трансверсально-изотропной симметрией как,

$$A\kappa = \frac{v_{px}}{v_{pz}}; An = \sqrt{2\frac{v_{px}}{v_{pz}} - \frac{v_{px}^2}{v_{Szx}^2} - \frac{2\mu_{zx}}{1 - \mu_{xy}}},$$
(5.20)

где Ак – коэффициент анизотропии скорости волн колебания по направлению распространения; А*n* – коэффициент анизотропии скорости волн колебания перпендикулярно направлению распространения.

а с ортотропной симметрией как,

$$A\kappa = \frac{v_{px}}{v_{pz}}, \quad An = \sqrt{2\frac{v_{px}}{v_{pz}} - 2\mu_{zx}}.$$
(5.21)

Параметры анизотропии целиков слоистого известняка составили Ак = 1,06, An = 2,208. То есть упругие модули не различались по основным направлениям анизотропии (значения Ак близки к 1,0). Однако эффект анизотропии влияет на значение параметра An, указывая на наличие сдвиговых компонент напряжения, хотя и незначительное.

Если значение параметра Ак существенно отличается от 1,0, а An ≈ 2,0, это может свидетельствовать о преобладании растягивающе-сжимающих напряжений над сдвиговыми деформациями массива на данном этапе.

Если $A_K \approx 1,0$ и An отличается от 2,0, это является признаком напряжений сдвига.

Если A_K и An значительно меньше или больше от 1,0 и 2,0 соответственно, это является признаком сложного напряженного состояния породного массива.

При тех же горно-технологических ситуациях, угол наклона слоев к горизонту, значительно воздействует на устойчивость целика.

Как видно, величину воздействия анизотропии на напряженное состояние и устойчивость горных работ, можно оценить через приведенные параметры.

Деструкцию массива вокруг выработок могут вызвать взрывные работы или горное давление. Так что полная нагрузка – это не разрушенная часть, а напряжение в разрушенных зонах ниже.

Площадь эффективного сечения выработки определяется отношением прозвученной области Sэф к фактической Sф:

$$Q = S \mathfrak{b} \phi / S \phi \tag{5.22}$$

При Q=0,8÷0,9 массив устойчив, при Q<0,5÷0,6 – массив разрушается.

На основании анализа большого объема экспериментальных данных выделены основные акустические показатели, характеризующие напряженное состояние и устойчивость незакрепленной горной выработки (табл.5.4) [4, с.295, 159].

Таблица 5.4 – Выявление оценочных показателей по степени напряженности массива вокруг выработки [4, с.295, 159]

Акустический критерий	Оцениваемый показатель	
Характер распределения акустического	Характер распределения	
модуля	напряжений	
Абсолютные величины акустического		
модуля относительно Ма ^{обр} и Ма ^{обр}	Критические напряжения, о _{крит}	
Отношение акустических модулей $C = Ma^{\Gamma} / Ma^{B}$	Степень анизотропии напряжений	
Отношение прозвучиваемой области к	Площадь эффективного сечения	
ϕ актическому $Q = S \Im \phi / S \phi$	выработки	

Таким образом, с помощью параметров акустического модуля возможно производить оценку степени напряженности [4,159, с.44] и соответственно геомеханического состояния породного массива вокруг обнажений. Критическое состояние пород вокруг обнажений качественно оценивается: по снижению акустического модуля и одновременного его увеличения соответственно в вертикальной Ма^В и в горизонтальной плоскостях Ма^Г с генезисом анизотропии у последнего; по передвиженью их повышенных зон вокруг выработки.

Степень обнажений напряженности породного массива вокруг оценивается с помощью параметров акустического модуля: характер вокруг выработки распределения напряжений В массиве определяется характером распределения акустического модуля; наличие критических напряжений в массиве вокруг обнажений выявляется абсолютными значениями акустического модуля; степень анизотропии напряжений в породном массиве определяется отношением акустического модуля в горизонтальной плоскости к акустическому модулю вертикальной плоскости; площадь эффективного сечения, например горной выработки, определяется отношением прозвучиваемой области к фактическому.

Нарушение породного массива выработками различного назначения (капитальные, подготовительные и очистные) изменяет характер естественных физических полей. Создаются искусственные аномалии гравитационного, механического и электрического полей.

Изменение полей проявляется в форме механических, тепловых, гидравлических и газодинамических процессов в нарушенном породном массиве.

5.4 Разработка способа крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов

Исследования для разработки способа крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов основаны на устойчивости горизонтальных определении выроботок с рассмотрением применения улучшенных возможности типов крепей, с обоснованием применения эффективного типа крепления, повышающей техникотехнологические, эксплуатационные и экономические показатели рудника [152,153,154,155,156,157,158,159].

Авторами работы [152] по результатам расчетов по условиям СНиП II-94-80 – Подземные горные выработки [136] установленно, что наиболее 190 рациональным типом крепления в исследуемом руднике является комбинированные крепи из анкеров и набрызг-бетона, что позволяет уменьшить затраты на материалы крепи в 1,7 раза, а также увеличить скорость проходки в 1,6 раза по сравнениию с металической крепью.

В работе [160] предложен новый подход к обоснованию эффективного метода крепления:

 путем сопоставления затрат при проходке горизонтальных подземных горных выработок в горно-геологических условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов;

- численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива месторождения, что было выполнено в программе RS2 в двухмерной постановке с учетом категорий устойчивости пород [57] рассмотренных в параграфе 5.1 настоящей главы 5;

- установлен вид комбинированной крепи обеспечивающий снижение их материалоемкости и стоимости, повышающий устойчивость выработки и производительность труда проходчиков.

Повышение конкурентоспособности добычи руд непосредственно зависит от понижения лежащих в основе себестоимости затрат на готовую продукцию, в которых важное значение имеют затраты на обслуживание горных выработок.

Ближайшая и отдаленная перспектива развития горной промишленности от повышения результативности процессов извлечения минерального сырья, в обслуживание том числе проведение И главных И участковых горноподготовительных выработок в требуемом эксплуатционном состояни является актуальной и важной научно-технической задачей. Большинство таких выработок размещены в весьма структурно-неоднородных массивах горных пород с горным давлением динамичного проявления, что значимо отражается на себестоимости извлечения минерального сырья увеличивая расходы на их обслуживание.

По проведенным лабораторным изысканиям определены три основных инженерно-геологических комплекса пород [160, с.79].

1) Комплекс тертых карбонатных, мелкозернистых серпентинитов, с низкой прочностью горных пород (Rcж=15,2 МПа, Rp=1,3 МПа, коэффициент прочности по шкале Протодьяконова f=1,5, категория бурения III), что характерно в верхней части месторождения.

2) Комплекс серпентинизированных дунитов:

– мелкозернистый дунит является прочным (Rcж=55,3 МПа, Rp=4,3 МПа, коэффициент прочности по шкале Протодьяконова f=6, категория бурения VII);

– среднезернистый дунит представлен породами средней прочности (R_{CЖ}=27,1 МПа, Rp=3,1 МПа, коэффициент прочности по шкале Протодьяконова f=2,7, категория бурения VII);

– крупнозернистый дунит относится к прочным породам (Rcж=64,5 МПа, Rp=4,5 МПа, коэффициент прочности по шкале Протодяконова f=9, категория бурения VII);

– нодулярный шаровый дунит – породы средней прочности (Rcж=35,1 МПа, Rp=2,7 МПа, коэффициент прочности по шкале Протодьяконова f=3,5, Категория бурения VII);

– нодулярный элипсоидальный дунит – породы низкой прочности (Rcж=17,1 МПа, RP=1,6 МПа, f=1,7 по шкале Протодьяконова, категория бурения VI);

3) Комплекс серпентинизированных перидотитов:

– породы мало разрывной прочности (Rcж=58,1 МПа, Rp=4,7 МПа, по шкале Протодьяконова f=5,8 категория бурения VII);

– породы средней прочности (R_{CЖ}=29,1 МПа, Rp=2,7 МПа, по шкале Протодьяконова f=8, категория бурения VII);

– горные породы малой прочности (Rcж=8,0 МПа, Rp=0,8 МПа, f=1 по шкале Протодьяконова, категория бурения III).

С увеличением глубины прочность породы увеличивается. Сопротивление сжатию малотоннажных пород и руд на больших глубинах изменяется до величины 60÷120 МПа. По геологическим данным основная рудная залежь в основном представлена сплошными и густо-вкрапленными рудами, а породы на

месторождении представлены в разной степени серпентинизированными безпироксеновыми дунитами, пироксеновыми дунитами и перидотитами. В таблицах 5.5 и 5.6 приведены обобщенные прочностные и физико-механические свойства массива горных пород исследуемого участка.

	Физические свойства	Прочностные свойства		
Наименование	Плотность	Предел прочности на сжатие (Rcж), МПа		Предел
	породы (Р), _{г/см³}	Для монолитных	Для образцов с первичными	прочности (Rp), МПа
		образцов	трешинами	
Порода	2,69	99,7-128,0	41,6-61,0	9,02-13,4
Руда	3,62	52,6-68,0	30,2-54,0	5,55-6,12

Таблица 5.5 – Прочностные свойства пород и руд [160, с.80]

Таблица 5.6 – Прочностные свойства заполнителя трещин (определенные по образцам) [160, с.80]

Тип заполнителя	Сцепления (С), МПа		Угол внктреннего трения (<i>q</i>), град			
	минимальное	максимальное	cp.	МИН.	макс.	cp.
Кремнисто- карбонатный	2,4	4,5	3,1	30	42	37
Талько-слюдистый	0,45	3,1	1,9	17	44	33
Серпофитовый	1,8	9,6	6,0	20	43	35
Серпентиновый	7,0	15,0	10,8	30	49	41

Численное моделирование напряженно-деформационного состояния массива горных пород и расчет несущей способности типов крепи, было выполнено в программе RS2 (Finite Element Method) которая работает в двумерной постановке, с учетом свойств пород, структуры массива и напряжений в нем, горно-технологических процессов, влияющих на состояние массива [160,161]. Использовалась нелинейная модель поведения массива Хоека–Брауна [160,162,163].

Смещение стенок выработки фиксировалось путем тахеометрической съемки и с наложением в программу Surpac. Данные смещения также анализировались в программе Phase2, а физико-механические свойства пород обработаны в программе RocLab.

Важной стороной исследования метода конечных элементов выступает «дискретность» задаваясь набором конкретных значений исходных параметров эксперимента. Для чтобы обобщить расчета вычислительного того рекомендации для конкретного круга горной геологии и технологии горных работ, необходимо определить закон влияния каждого параметра. Для этого необходим многофакторный вычислительный эксперимент и обработка полученных результатов методами корреляционно-дисперсионного анализа. Соответственно в этих условиях требуется много времени и всестороннее планирование алгоритмов исследований, но в свою очередь это повышает объективность геомеханических моделей И достоверность дальнейших геотехнических прогнозов об устойчивости горных работ.

Учитывая общую необходимость и отражение характера горных работ, где свойства горных пород и массива сильно отличаются в зависимости от своего месторасположения, вышеприведенное направление решения геомеханических задач представляются весьма перспективными. В такой ситуации удобно сравнительный постоянно проводить анализ результатов проводимых экспериментальных исследований проявлений горного давления, чтобы обобщающие многофакторных использовать методы, результаты вычислительных экспериментов.

Все прогнозы признаков горного давления основаны на количественных наблюдениях в шахтах, лабораторных и аналитических исследованиях геомеханических процессов. Натурные исследования проводились в исследуемой горной выработке. Репер устанавливали по обоим стенкам перпендикулярно друг к другу на высоте от 1,0 м до 2,0 м, через каждые 10 м. Замер производился каждую неделю.

С целью определения шага отставания крепи от забоя, была принята расчетная схема (рис.5.12) для паспорта крепления двумя типами крепей анкерной и набрызгбетонной. Оба вида крепей имеют свои преимущества при креплении выработок слабоустойчивых, слоистых, разбитых трещинами массивах, заключающихся в груоподъемности, сцепления слоистых и разбитых трещинами пород и не допускают обрушений.

В условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов в расчетной схеме принято по форме четырех анкерное крепление кровли выработок по 0,7 м между ними.



Рисунок 5.12 – Расчетная схема крепления выработок: (a) – анкерная крепь; (б) – набрызгбетонная крепь [160, с.80]

Анализ и обобщение результатов работы различных типов анкерных крепей – металлический анкер (MA), анкер с разъемным соединением «плитсет» (APC), гидрораспорный анкер «свеллекс» (АГР), армополимерный анкер (АПА), железобетонный анкер (ЖБА), по своим грузоподъемностям, в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов, и сопоставления экономических затрат по их применению, позволили выбрать железобетонные анкеры (рис. 5.13).



Рисунок 5.13 – Сравнительная диаграмма анкеров по грузоподъемности [160, с.81]

В таблице 5.7 приводится повариантный расчет компонент 1 м³ набрызгбетонной смеси.

Наименование компонента	Объемы компонент, м ³		
	Вариант 1 (1Ц+2П+В)	Вариант 2 (1Ц+3П+B)	
Цемент (Ц)	0,298	0,229	
Песок (П)	0,596	0,689	
Вода (В)	0,104	0,08	

Таблица 5.7 – Расчет компонент 1 м³ набрызгбетонной смеси [160, с.81]

Опытно-промышленные испытания показали, что в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов смесь по составу компонент варианта-1 и комбинирования с анкерами вполне удовлетворяет расчетному сопротивлению расстяжения. Исходя из этого произведен выбор средств механизации возведения бетонной крепи с учетом расхода смеси для крепления 1 м выработки с минимально допустимой толщиной слоя, определена площадь закрепляемой поверхности 1 м³/20 м² смеси с учетом потерь смеси при набрызге до 20%.

Технические характеристки паспорта крепления выработки и продольный разрез приведены в табл.5.8 и на рис. 5.14.

Таблица 5.8 – Технические характеристики паспорта крепления выработки [160, с.81]

	Колличественные		
Конструкция крепеи и расходные материалы	значения		
Площадь выработки в проходке, м ²	6,5		
Площадь сечения в свету, м ²	5,7		
Протяженность выработки, м	720		
Железобетонный анкер			
Количество анкеров в одном ряду, шт.	4		
Количество рядов в выработке, шт.	1028		
Всего анкеров на выработку, шт.	4112		
Объем бетонной смеси на шпуры, м ³	8,7		
Грузоподъемность, кН	70÷90		
Общая площадь металлической сетки, м ²	1220		
Набрызгбетонная крепь			
Компоненты 1 м ³ бетонной смеси	1Ц+2П+В		
Цемент	0,298		
Песок	0,596		
Вода	0,104		
Обьем компонентов бетонной смеси на выработку			
для набрызга, м ³ :			
Цемент	93		
Песок	187		
Вода	33		
Общий объем бетонной смеси на выработку, м ³	391		

Используя расчетную схему крепления выработок (см. рис.5.12) и рекомендации СНиП-94-80 определены шаги отставания от забоя выработки крепей в комбинации железобетонного анкера (2 м, а после ухода забоя – 4 м) и набрызгбетонной крепи соответственно 4 м и 6 м [160, с.81].



Рисунок 5.14 – Продольный разрез к паспорту крепления выработки [160, с.81]

Определены затраты на крепежные материалы (табл. 5.9).

Крепежные материалы	Цена,\$	Расчетное количество	Сумма, \$
Анкеры, шт.	1,22	4112	5029,27
Бетонная смесь на шпуры, м ³	20	8,7	173,93
Металлическая сетка, м ²	2,82	1120	3161,17
Набрызгбетон, м ³	20	391	7817,07
		Всего:	16181,44

Таблица 5.9 – Затраты на крепежные материалы [160, с.82]

Проведен повариантый сравнительный анализ стоимости материалов металоарочной крепи и комбинации железобетонной крепи с набрызгбетоном (рис.5.15).

На основе полученных еженедельных данных анализируются общая картина состояния горных выработок (добычных и проходческих), выявляются опасные участки и прогнозируется срок службы выработки в зависимости от продолжительности выработки. В планируемой эксплуатации случае уменьшения срока службы выработки от планируемой продолжительности отработки, мероприятия (ремонтнопринимаются корректирующие восстановительные работы).



Рисунок 5.15 – Диаграмма сравнения затрат по возведению крепей в комбинации железобетонного анкера с набрызгбетоном (1) и металлоарочных (2) [160, с.82]

По полученным еженедельным результатам с реперных станций установленных на блоке №1, выявлены опасные участки по рудному штреку №8/1. На данном участке наблюдалось ускорение смещения реперных станции в течении 3-х месяцев. Максимальное смещение составляло 92 мм и средняя скорость 1,19 мм/день на 02.09.20 г и прогнозировался срок службы выработки на 1 месяц. Добычные работы планировались на 3 месяца со сплошным фронтом, в связи, с чем необходимо было принять меры по добычным работам:

Вариант 1 предусматривал: не изменять фронт добычных работ, но с дополнительным креплением по рудному штреку №8/1 для обеспечения срока службы выработки на 3 месяца.

Вариант 2 предусматривал изменение фронта добычных работ со сплошного на диагональный с опережением добычных работ по рудному штреку №8/1 без дополнительного крепления со сроком службы 1 месяц.

Результатами исследования был рекомендован вариант №2 с изменением фронта добычных работ со сплошного на диагональный, без расходов на дополнительное крепление. Рудный штрек №8/1 с начала проходки (01.04.20 г.) до конца отработки (16.11.20 г.) прослужил 7 месяцев, обеспечив безопасную отработку и без затрат на дополнительное крепление. На сегодняшний день отсутствуют участки с большими смещениями.

На рис.5.16 указаны репера п/э +100 м в которых происходили разрушения крепи и один репер п/э +60 м рудного штрека 8/1 который был отработан на начальной стадии разрушения.

В среднем, смещения с августа по февраль не превысили 40 мм/месяц. Активные смещения начались в марте и продолжалось 2 месяца аж до разрушения крепи. Ниже, в качестве примера, приведено одно из многих поперечных сечении выработки 8/1 в процессе проходки (черный цвет) и смещения с течением времени (красным цветом) представленные на рис.5.17. По рис. 5.17 наблюдается, что основная часть смещения (27 мм) происходит в нижней части борта выработки, а наименьшее в верхней части (10 мм) при ширине выработки 5,3 м и высоте 5,6 м. Также при данных смещениях появляются трещины и их раскрытие.



Рисунок 5.16 – Смещение реперной станции подэтаж +100 м и репер п/э +60 м [160, с.82]

На рис.5.18 приведены эпюры напряжений в поперечное сечение выработки рудного штрека 8/1 п/э +60 м блока 1 по поперечному разрезу 37. Максимальное значение составляет 18 МПа при ширине выработки 5,4 м.

На рис.5.19-5.21 представлены состояние горного массива и перераспределение нагрузки до, в процессе и после проходки.

В процессе ведения горных работ, то есть после проходки двух параллельных выработок шириной 5,5 м, значение сигма 1 распределяется вокруг этих выработок. Максимальная концентрация напряжений приходится сводной части закрепленной с применением комбинированной крепи выработки, и ее значение равно 18,0 МПа, что продемонстрировано на рис.5.20.

На рис. 5.19-5.21 продемонстрированы результаты моделирования, максимальных напряжений (S1) в разных стадиях отработки. По рис. 5.19 можно увидеть, что в нетронутом массиве значение Sigma 1 равен 9,35 МПа.



Рисунок 5.17 – Смещение стенок выработки рудного штрека 8/1 п/э +60 м в районе поперечного разреза 32 [160, с.82]



Рисунок 5.18 – Эпюры напряжений и поперечное сечение выработки рудного штрека 8/1 п/э +60 м блока 1 по поперечному разрезу 37 [160, с.83]



Рисунок 5.19 – Состояние горного массива в районе п/э +60 м блока 1 до проведения горных выработок по поперечному разрезу 32 [160, с.83]



Рисунок 5.20 – Состояние горного массива в районе п/э +60 м блока 1 в процессе проведения горных выработок по поперечному разрезу 32 [160, с.83]



Рисунок 5.21 – Состояние горного массива в районе п/э +60 м блока 1 после проведения горных выработок по поперечному разрезу 32 [160, с.84]

Результаты численного анализа методом конечных элементов после проходки и крепления всех выработок. Результаты моделирования показанные, после заложения всех выработок и проведения в них работ по креплению с применением комбинированного крепления (анкера, троса и торкретбетон) свидетельствуют, что напряжения воздействующие на выработку одинаково распределяются по всем выработкам, и значение максимальных напряжений снижается до 15,0 МПа, то есть напряжения действующие на выработки одинаковы со всех сторон Sigma1= Sigma2= Sigma3 (гидростатика) (см. рис. 5.21).

В зависимости от категорий устойчивости пород горизонтальных и наклонных горных выработок, предложен новый подход к обоснованию эффективного способа крепления путем сопоставления конструкций (табл.5.10) и затрат механизма крепления выработок в горно-геологических условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов.

Таблица 5.10 – Конструкции крепей рекомендуемые в зависимости от категории устойчивости горизонтальных и наклонных горных выработок

Категория устойчивости	Анкеры и металлическая сетка	Набрызг-бетон	Металлические рамы
массив устойчив	отсутствие крепи или локальные анкеры без металлической сетки		
	локальные в кровле	локальный кровле	_
массив устоичив, но с небольшим запасом	сплошные анкеры в кровле и боках, сетка в кровле сплошная	сплошной в кровле и боках	_
массив не устойчив	сплошные в кровле и боках	сплошной в кровле и боках	с межрамными стяжками
	сплошные в кровле и боках	сплошной в кровле и боках, и около забоя, сплошной	с межрамными стяжками и затяжкой

Таким образом, выявлена эффективность комбинированной крепи для крепления в структурно-неоднородных массивах участков неустойчивых горных породах при строительстве горизонта «-480» протяженностью 720 м, заключающаяся в особенностях качественных, экономических, теоретических и практических показателях в сравнении с металлической арочной крепью. Предложен новый подход комплексного обоснования эффективности способа крепления с учетом оценки напряженно-деформированного состояния участков неустойчивых пород в структурно-неоднородных массивах.

Определены эффективность, и перспективы правильного выбора конструкции крепи обеспечивающих снижение их материалоемкости и повышающие безопасность стоимости, И производительность труда Применение комбинации железобетонных проходчиков. анкеров с набрызгбетоном позволяет уменьшить затраты на крепление и поддержание до 75% и увеличить скорость проходки на 30%. Повышение скорости проходки может быть достигнуто за счет сокращения времени крепления, так как шпуры для анкерной крепи бурятся и устанавливаются одновременно при обуривании забоя выработки.

5.5Краткое заключение по главе 5

1. Обоснован разработан способ определения И И контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки, заключающийся в бурении в породном массиве из горной выработки трех шпуров по схеме прямоугольного треугольника, образующую трехмерное пространство, прозвучивание ультразвуковыми сигналами с помощью излучающего и приемного преобразователей участков породного массива, измерение характеристик принятых сигналов, выделяют зоны естественных напряжений, затем по графикам взаимного расположения кривых акустических модулей судят о категории устойчивости пород: первой категории - «массив устойчив»; второй категории – «массив устойчив, но с небольшим запасом прочности»; третьей категории – «массив не устойчив».

2. Установлено, что оценку степени напряженности и соответственно геомеханическое состояние породного массива вокруг обнажений возможно с помощью параметров акустического модуля, а наличие критических напряжений в массиве вокруг обнажений выявляются абсолютными значениями акустического модуля.

3. Выполнена оценка характера распределения напряжений породного массива вблизи горных выработок в анизотропных массивах. При этом степень анизотропии напряжений в породном массиве определяется отношением акустического модуля в горизонтальной плоскости к акустическому модулю вертикальной плоскости.

4. На базе определения устойчивости горных пород по простиранию массива, в котором планируется проведение штрека с рассмотрением возможности применения улучшенных типов крепей разработан способ крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов.

5. Предложен новый подход к обоснованию эффективного метода крепления путем сопоставления затрат при проходке горизонтальных подземных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов с учетом оценки напряженно-деформированного состояния таких участков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации даны научно обоснованные технические, технологические и экономические решения – по оценке геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений – имеющей важное хозяйственное значение для повышения эффективности и безопасности освоения структурно-неоднородных рудных месторождений. Внедрение результатов научно-исследовательской работы вносит значительный вклад в развитие научно-технического прогресса и экономики страны, существенно повышает промышленную и экологическую безопасность подземной добычи руды на структурно-неоднородных рудных месторождениях.

Наиболее существенные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Выявлены основные черты напряженно-деформированного состояния массивов структурно неоднородных рудных месторождений, с учетом установленных взаимосвязей свойств и напряженно-деформированного состояния массивов рудных месторождений.

2. Лабораторными исследованиями горных пород на одноосное сжатие с одновременным прозвучиванием определены зависимости упругих характеристик от давления и глубины, которые позволили объяснить картину распределения напряжений в массиве вокруг горных выработок.

3. Разработан способ прогнозирования напряженно-деформированного структурно-неоднородных массивах, состояния В заключающийся В построении прогнозной карты месторождения и тектонической модели ее учитывающей геологические характеристики структуры, структурнонеоднородной среды, разрывы сплошности, степень ослабления прочности массива, рельеф поверхности.

4. Разработана модель напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных массивов рудных месторождений, в которой учитываются структурно-механические особенности месторождения, иерархия

и параметры тектонических нарушений, и природные локальные концентраторы напряжений вокруг них, которые могут быть потенциальными очагами проявления горных ударов.

5. Обоснован разработан комплексный способ оценки И геомеханического состояния массивов структурно-неоднородных рудных месторождений, заключающийся в том, что, учитываются совокупность показателей характеризующих уровень развития геомеханических процессов деформирования, перераспределения напряжений и разрушения протекающих в геологической истории месторождения: структурно-механические особенности; наличие тектонических разломов и их иерархия; рельеф; физико-механические свойства пород, слагающих массив; естественное напряженно-деформированное состояние; конфигурация и размер подземных выработок; ожидаемая форма проявления негативного геомеханического процесса; экологические требования. Получен патент КР № 2238, 2020 г.

6. Определены зависимости определения степени напряженности и устойчивости породного массива вокруг незакрепленной горной выработки от распределения акустического модуля в функции от расстояния вдоль шпура от контура выработки. **Выявлена** уникальность в поведении акустического модуля: с увеличением на массив горного давления акустический модуль в зоне концентрации увеличивается, со снятием давления – уменьшается.

7. Обоснован И разработан способ определения И контроля устойчивости структурно-неоднородных массивов вокруг горных выработок, отличающийся тем, что, с целью повышения устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки учитываются три категории устойчивости: «массив устойчив», «массив устойчив, но с небольшим запасом» и «массив не устойчив» по графикам распределения акустических модулей в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зонах «пониженных», «естественных» И напряжений построенных «повышенных» через измерения скоростей продольных и поперечных волн ультразвуковым способом. Получен патент КР № 2150, 2019 г.

8. Разработан способ крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород структурно-неоднородных массивов под воздействием напряжений, включающий, динамическое моделирование с целью обеспечения безопасности горного производства и снижения расходов на крепление горных выработок, — на основе моделирования напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородного породного массива и степени ее устойчивости, разрабатывается паспорт крепления и предложен новый подход к обоснованию эффективной конструкции крепи путем сопоставления затрат.

9. Результаты исследований внедрены в практику проектирования геологоразведочных работ и разработки рудных месторождений Кыргызстана ОсОО «Азиярудпроект» (Акт внедрения научных результатов от 26.04.2022 г.), в практику ведения буровзрывных работ на месторождениях Кыргызстана ОсОО «Взрывпром компани» (Акт внедрения научных результатов от 18.01.2022 г.). В учебный процесс КРСУ им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина (Акт внедрения научных результатов от 29.03.2022 г.) и КГГУ им. акад. У. Асаналиева (Акт внедрения научных результатов от 12.04.2022 г.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Напряженное состояние земной коры (По измерениям в массивах горных пород) [Текст] / отв. ред. П. Н. Кропоткин. – М.: Наука, 1973. – 188 с.
- Короновский, Н. В. Напряженное состояние земной коры [Текст] / Н. В. Короновский // Соросовкий образоват. журн. ISSEP. 1997 № 1. С. 50-56.
- Баклашов, И. В. Механика горных пород [Текст]: моногр. / И. В. Баклашов,
 Б. А. Картозия. М.: Недра, 1975. 272 с.
- Мамбетов, Ш. А. Зональная и поэтапная оценка напряженнодеформированного состояния породного массива Тянь-Шаня [Текст]: моногр. / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов. – Бишкек: КРСУ, 2003. – 359 с.
- Мамбетов, Ш. А. Основы геомеханики [Текст]: учеб. / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова. – Бишкек: КРСУ, 2020. – 345 с.
- Белоусов, В. В. Основы геотектоники [Текст]: моногр. / В.В. Белоусов. М.: Недра, 1975. – 264 с.
- Козырев, А. А. Закономерности распределения тектонических напряжений в верхней части земной коры [Текст] /А. А. Козырев, С. Н. Савченко // Физика земли. – 2009. – № 11. – С. 34-43.
- Якубов, Х. Д. Региональные разломы Среднего и Южного Тянь-Шаня [Текст]: моногр. / Х. Д. Якубов, М. А. Ахмеджанов, О. М. Борисов. – Ташкент: ФАН, 1976. – 267 с.
- Чедия, О. К. Морфоструктры и новейший тектогенез Тянь-Шаня [Текст] / О. К. Чедия. – Фрунзе: Илим, 1986. – 312 с.
- Садыбакасов, И. Неотектоника высокой Азии [Текст]: моногр. / И. Садыбакасов. М.: Наука, 1990. 180 с.
- Современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня [Текст]: моногр. / [Ф. Н. Юдахин, О. К. Чедия, Т. М. Сабитова и др.]; отв. ред. Н. П. Лаверов. М.: Недра, 1991. 192 с.

- Марков, Г.А. Напряженное состояние пород и горное давление в структурах гористого рельефа [Текст]: моногр. / Г. А. Марков, С. Н. Савченок. – М.: Наука, 1984. – 140 с.
- Ярошевский, В. Тектоника разрывов и складок [Текст] / В. Ярошевский. М.: Недра, 1981. – 245 с.
- Глушко, В. Т. Оценка напряженно-деформированного состояния массивов горных пород [Текст]: моногр. / В. Т. Глушко, С. П. Гавеля. М.: Недра, 1986 221 с.
- 15. Абдиев, А. Р. Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече [Текст]: моногр. / А. Р. Абдиев. – Бишкек: КРСУ, 2014. – 147 с.
- Мамбетов, Ш. А. Геомеханика [Текст]: в 2-х т. / Ш. А. Мамбетов. Бишкек: КРСУ, 2013. – Т.1: Основы геомеханики. – 138 с.
- Айтматов, И. Т. Некоторые результаты измерения напряжений в пределах Курусай-Туранглинского рудного поля [Текст] / И.Т. Айтматов, К. Д. Вдовин, К. Ч. Кожогулов // Измерения напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск, 1976. – Ч. 2. – С. 32-35.
- Айтматов, И. Т. Экспериментальные исследования напряженного состояния массива горных пород на месторождениях Средней Азии [Текст] / И. Т. Айтматов, К. Д. Вдовин, Н. Г. Ялымов // Изв. АН КиргССР. – 1978. – № 4. – С. 34-38.
- Мамбетов, Ш. А. Прогнозирование и контроль напряженнодеформированного состояния массива пород в высокогорных районах [Текст]: моногр. / Ш. А. Мамбетов. – Фрунзе: Илим, 1988. – 187 с.
- 20. Кожогулов, К. Ч. Геомеханика [Текст]: учеб. / К. Ч. Кожогулов, О. В. Никольская. Бишкек: ИГДиГТ, 2014. 312 с.
- Гзовский, М. В. Основы тектонофизики [Текст]: моногр. / М. В. Гзовский. М.: Наука, 1975. – 535 с.

- Гзовский, М. В. Тектонофизические представления о напряженном состоянии земной коры [Текст] / М. В. Гзовский // Современные проблемы механики горных пород: сб. тр. – Л., 1972. – С.125-146.
- 23. Напряженное состояние земной коры по данным измерений в горных выработках и тектонофизического анализа [Текст] / М. В. Гзовский, И. А. Турчанинов, Г. А. Марков [и др.] // Напряженное состояние земной коры: сб. тр. – М., 1973. – С. 32-49.
- 24. Абдиев, А. Р. Структурно-механические особенности породного массива Тянь-Шаня и вопросы прогнозирования состояния породного массива месторождений [Текст] / А. Р. Абдиев, Ш. А. Мамбетов, К. Д. Изабаев // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. – 2015. – Т.15, № 9. – С. 191-197.
- 25. Мамбетов, Ш. А. Прогнозирование и контроль напряженнодеформированного состояния массива пород в высокогорных районах [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11 / Ш. А. Мамбетов. – Фрунзе, 1983 – 412 с.
- 26. Мамбетов, Ш. А. Горные работы в условиях Тянь-Шаня [Текст]: моногр. / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов. Бишкек: КРСУ, 2013. 282 с.
- Мамбетов, Ш. А. Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях высокогорья [Текст]:/ Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов//Инженер. – Бишкек, 2012. – № 3/4. – С. 29-36.
- 28. Абдиев, А. Р. Природа и закономерности проявления негативных геомеханических факторов при ведении горных работ на высокогорных месторождениях [Текст] /А. Р. Абдиев, К. Д. Изабаев, Ш. А. Мамбетов // Символ науки. – Уфа, 2016. – Т. 12, № 3(24). – С. 263-266.
- Мамбетов, Ш. А. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния породного массива месторождений Тяньшаня [Текст] / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. 2007. Т. 7, № 1. С.5-10.
- 30. Абдиев, А. Р. Разработка способов прогнозирования геомеханических процессов в породных массивах [Текст] /А. Р. Абдиев // Проблемы

недропользования. – Екатеринбург, 2020. – Вып. 1. – С. 49-55. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // <u>trud@igduran.ru. – Загл. с экрана.</u>

- 31. Мамбетов, Ш. А. Использование закономерностей формирования удароопасных зон в разработке методов оценки удароопасности пород и участков рудных месторождений структруно-неоднородного строения [Текст] / Ш. А. Мамбетов, К. Ч. Кожогулов, А. Р. Абдиев // Горн. журн. – Бишкек, 2021. – Т. 2(2). – С. 56-59.
- 32. Ялымов, Н. Г. Распределение напряжений в массиве при разработке месторождений в горных районах [Текст] / Н. Г. Ялымов, О. В. Рогожников, М. В. Бердибеков. – Фрунзе: Илим, 1982. – 148 с.
- 33. Айтматов, И. Т. Напряженное состояние и прочность элементов систем разработок крутопадающих месторождений Средней Азии [Текст] / И. Т. Айтматов, К. Ч. Кожогулов. Фрунзе: Илим, 1988. 124 с.
- 34. Жумабаев, Б. Аналитическая модель оценки напряженно-деформированного состояния массивов пород с горным рельефом и инженерными сооружениями [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.15.11 / Б. Жумабаев. – Бишкек, 1993. – 35 с.
- 35. Кожогулов, К. Ч. Проблемы геомеханики при освоении горных территорий/Горная наука в Кыргызстане в XX веке [Текст]: моногр. / К. Ч. Кожогулов. – Бишкек: Илим, 2000. – 378 с.
- 36. Кожогулов, К. Ч. Геомеханические проблемы освоения рудных месторождений Кыргызской Республики [Текст] / К. Ч. Кожогулов // Горный информ.-аналит. бюл. – Бишкек, 2007. –№ 15. – С. 166-171.
- 37. Абдиев, А. Р. Геодезия [Текст]: учеб. пособие / А. Р. Абдиев. Бишкек: КРСУ, 2017. – 232 с.
- Надирашвили, Р. Н. Геофизические исследования горного давления на пологих рудных пластах [Текст]: моногр. / Р. Н. Надирашвили. – М.: Недра, 1977. – 213 с.
- 39. Измерение напряжений в массиве горных пород [Текст]: материалы IV Всесоюз. семинара, Новосибирск, 26-29 июня 1973 г. / гл. ред. Е. И. Шемякин. – Новосибирск: [б.и.], 1974. – Ч. 1. – 147 с.; Ч. 2-3. – 124 с.
- 40. Мамбетов, Ш. А. Геоакустический контроль состояния массива пород вблизи горных выработок [Текст]: моногр. / Ш. А. Мамбетов. Фрунзе: Илим, 1978. 174 с.
- Абдиев, А. Р. Оценка напряженно-деформированного состояния породного массива буроугольного месторождения Кара-Кече [Текст] /А. Р. Абдиев // Горн. журн. – М., 2002. – № 10. – С. 70-72.
- 42. Тажибаев, К. Т. Исследования напряжений массива горных пород на ртутносурьмяных месторождениях Кыргызстана [Текст] / К. Т. Тажибаев, Ш. А. Абдибаитов, Р. Н. Ялымов // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. – 2013. – Т. 13, № 17. – С.104-107.
- 43. Тажибаев, К. Т. Структурно-механическая модель напряженнодеформированного состояния неоднородной твердой среды [Текст] / К. Т. Тажибаев, Р. М. Султаналиева // Геомеханическое обоснование методов расчета устойчивости обнажений. – Бишкек, 1992. – С. 99-107.
- 44. Абдиев, А. Р. Планирование горных работ с учетом напряженнодеформированного состояния породного массива месторождения [Текст] / А.
 Р. Абдиев // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Третья междунар. конф. – Бишкек, 2004. – С. 63-64.
- 45. Абдиев, А. Р. Геодинамическая модель и прогнозная карта напряженнодеформированного состояния породного массива месторождения Каракече [Текст] / А. Р. Абдиев // Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития: Междунар. науч.-техн. конф. посвящ. 55-летию КГТУ им. Раззакова (Бишкек, 16-18 сент. 2009 г.). Изв. Кырг.гос. техн. ун-т. – 2009. – № 16. – С. 329-333.

217

- 46. Абдыкапаров, Ч. М. Состояние и перспективы освоения буроугольного месторождения Кара-Кече [Текст] / Ч. М. Абдыкапаров, А. Р. Абдиев // Горн. журн. – М., 2002. – № 10. – С. 16-18.
- 47. Мамбетов, Ш. А. Перспективы эффективной разработки месторождений полезных ископаемых Тяньшаня [Текст] / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов // Единое образовательное пространство в XXI веке: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 10-летию КРСУ (Бишкек, 2-3 окт. 2003 г.). Бишкек, 2003. С. 244-249.
- 48. Мамбетов, Ш. А. Проблемы освоения недр Кыргызстана [Текст] / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. А. Орусбаев // Вестн. Кырг.- Рос. Славян. ун-т. 2007. Т.7, № 1. С.103-105.
- 49. Мамбетов, Ш. А. Комплексное использование основы эффективного освоения богатств недр [Текст] / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. А. Орусбаев // Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития: Междунар. науч.-техн. конф. посвящ. 55-летию КГТУ им. Раззакова (Бишкек, 16-18 сент. 2009 г.). Изв. Кырг. гос. техн. ун-т. 2009. №16. С. 323-325.
- 50. Нурпеисова, М. Б. Геомеханика [Текст] / М. Б. Нурпеисова, И. В. Милитенко.
 Алматы: КазНТУ, 2014. 275 с.
- 51. Очеретенко, И. А. Стереографические проекции в структурной геологии [Текст] / И. А. Очеретенко, В. В. Трощенко. Л.: Недра, 1978. 136 с.
- 52. Степанов, В. Я. Напряженно-деформированное состояние горных склонов [Текст] / В. Я. Степанов. – Фрунзе: Илим, 1986. – 200 с.
- 53. Мамбетов, Ш. А. Геомеханическое состояние породного массива Тянь-Шаня [Текст]: моногр. / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев. – Бишкек: КРСУ, 2019. – 208 с.
- 54. Мамбетов, Ш. А. Комплексное освоение месторождений минеральных ресурсов [Текст]: учеб. пособие / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова. Бишкек: КРСУ, 2019. 288 с.

- 55. Методические указания по применению метода разгрузки для измерения напряжений в массиве горных пород [Текст] / [Г.Т. Нестеренко, В. М. Барковский, Б. С. Скозобцов, Р. К. Твердовский]. – Л.: [б.и.], 1972. – 37 с.
- 56. Мамбетов, Ш. А. Геомеханические процессы в породных массивах [Текст]: учеб. пособие / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев. – Бишкек: КРСУ, 2001. – 177 с.
- 57. А. с. №3844. Кыргызской Республики. Комплексное освоение месторождений минеральных ресурсов [Текст]: / А. Р. Абдиев, Ш. А. Мамбетов, Р. Ш. Мамбетова. Бишкек. Кыргызпатент, 2020. 50 с.
- 58. Мамбетов, Ш. А. Зональная и поэтапная оценка напряженнодеформированного состояния породного массива Тянь-Шаня [Текст] / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов // Горн. журн. – М., 2002. – №10. – С. 57-62.
- 59. Шкуратник, В. Л. Исследование влияния напряжений на скорость распространения упругих волн в окрестности эллиптической горной выработки [Текст] / В. Л. Шкуратник, Г. В. Данилов // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – М., 2005. – № 3. – С. 3-10.
- 60. Ямщиков, В. С. К созданию методологических основ измерений в массиве [Текст] / В. С. Ямщиков, А. В. Блок // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – М.,1974. – №. – С.18-23.
- Абдиев, А. Р. Тянь-Шаньские структуры и геомеханическое состояние породного массива высокогорных месторождений [Текст] / А. Р. Абдиев, Ш. А. Мамбетов, А. Ш. Мамбетов // Материалы Междунар. симп. «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов землетрясений». — Бишкек, 2016. – С.74-87.
- 62. Studying a correlation between characteristics of rock and their conditions [Text]
 / A. R. Abdiev, R. Sh. Mambetova, A. A. Abdiev, Sh. A. Abdiev // Mining of Mineral Deposits. 2020. Vol. 14(3). Р. 87-100. Режим доступа: https://doi.org/10.33271/mining14.03.087. Загл. с экрана.

- 63. Мамбетов, Ш. А. Контроль свойств и напряженно-деформированного состояния пород структурно-неоднородных месторождений полезных ископаемых [Текст] / Ш. А. Мамбетов, К. Ч. Кожогулов, А. Р. Абдиев // Современные проблемы механики. Бишкек, 2021. № 43(1). С. 35-49.
- 64. Мамбетов, Ш. А. Взаимосвязь свойств и состояния пород структурнонеоднородных месторождений полезных ископаемых [Текст] / Ш. А. Мамбетов, К. Ч. Кожогулов, А. Р. Абдиев // Современные проблемы механики. – Бишкек, 2021. – № 43(1). – С. 3-17.
- 65. Абдиев, А. Р. Оценка геомеханического состояния горных структур Тянь-Шаня для рационального ведения горных и горно-строительных работ [Текст] / А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, Ш. А. Мамбетов // Горн. журн. – М., 2017. – № 4: Руда и металлы. – С. 23-28.
- 66. Пат. 2488146 Российская Федерация, G01V1/28. Прогнозирование напряжений на изучаемой площади [Текст] / Дж.К. Дэвидсон: ПРЕДРИЛЛ СТРЕССИЗ ИНТЕРНЭШНЛ ПТИ. ЛТД. (AU): заявл. 25.03.09; опубл. 20.07.13, Бюл. № 20.
- 67. Пат. 2540694 Российская Федерация, E21C39/00. Способ определения природных напряжений в массиве горных пород [Текст] / [И. В. Бирючев, А. В. Зубков, Р. В. Криницын и др.]. ИГД УрО РАН (RU): заявл.23.07.13; опубл. 10.02.15, Бюл. № 4.
- 68. Пат. 1273555 СССР, Е21С39/00. Способ определения направления главных тектонических напряжений в массиве горных пород [Текст] / А. А. Козырев, А. А. Ширяев, Ю. Г. Горбунов; ГИ Кольского фил. РАН (SU): заявл.06.27.85; опубл. 30.11.86, Бюл. № 44.
- 69. Пат. № 2238 Кыргызская Республика, Е21С 39/00. Способ оценки геомеханического состояния породного массива высокогорных месторождений [Текст] / [А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев и др.]. Бишкек: КРСУ. № 22200020.1; заявл.20.03.20; опубл. 15.01.21, Бюл. №1/1 17 с.: ил.

- Абдыкапаров, Ч. М. Совершенствование горнопроходческих и очистных работ [Текст]: моногр. / Ч. М. Абдыкапаров, А. И. Имаралиев, Ш. А. Мамбетов. – Бишкек: КРСУ, 2007. – 122 с.
- 71. Мамбетов, Ш. А. Геомеханическое состояние породных массивов высокогорных месторождений [Текст] / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. – 2017. – Т. 17, № 5. – С. 205-207.
- 72. Абдиев, А. Р. Прогнозирование и оценка геомеханических процессов в породных массивах месторождений [Текст] / А. Р. Абдиев // Проблемы недропользования. – Екатеринбург, 2020. – Вып. 1. – С. 56-64. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // trud@igduran.ru. – Загл. с экрана.
- 73. Актуальные вопросы контроля состояния породного массива вокруг горной выработки [Текст] / А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев, Ш. А. Абдиев // Недропользование XXI век. М., 2020. № 2а. С. 82-91.
- 74. Рац, М. В. структурные модели в инженерной геологии [Текст] / М. В. Рац. –
 М.: Недра, 1973. 214 с.
- 75. Разработка прогнозной карты по территории Кыргызского Тяньшаня [Текст] / Ш. А. Мамбетов, Б. Ж. Жетигенов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов // Горное, нефтяное, геологическое и геоэкологическое образование в XXI веке: Вторая Междунар. конф. (Москва-Кызыл-Кия 18-22 сент. 2006 г.). – М., 2007. – С.169-170.
- 76. Турчанинов, И. А. Инженерные геофизические методы определения и контроля напряженно-деформированного состояния массивов пород [Текст]: моногр. / И. А. Турчанинов, В. И. Панин. – Л.: Наука, 1975. – 112 с.
- 77. Турчанинов, И. А. Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве [Текст]: моногр. / И. А. Турчанинов, В. И. Панин. – Л.: Наука, 1976. – 160 с.
- 78. Курленя, М. В. Классификация методов и средств измерения напряжений в массиве горных пород [Текст] / М. В. Курленя, М. В. Сбоев // Измерения напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск, 1976. – С.113-118.

- 79. Бреббиа, К. Методы граничных элементов [Текст]: моногр. / К. Бреббиа, Д. Теллес, Л. Вроубел. М.: Мир, 1987. 524 с.
- Мамбетов, Ш. А. Проблема комплексного освоения недр Кыргызской Республики [Текст] / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова // Труды Междунар. науч. конф. посвящ. памяти акад. М. Я. Леонова «Современные проблемы механики сплошной среды». – Бишкек, 2012. – С. 298-304.
- 81. Николаев, П. Н. Системный подход в анализе и картировании полей тектонических напряжений [Текст] / П. Н. Николаев // Природа и методология определения тектонических напряжений в верхней части земной коры. – Апатиты, 1982. – С.18-34.
- 82. Шкуратник, В. Л. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород [Текст] / В. Л. Шкуратник, П. В. Николенко. М.: МГГУ, 2012. 111 с.
- Ялымов, Н. Г. Исследование горного давления при подземной разработке рудных месторождений Киргизии [Текст] / Н. Г. Ялымов. – Фрунзе: Илим, 1976. – 204 с.
- 84. Оглоблин, Д. Н. Маркшейдерское дело [Текст] / Д. Н. Оглоблин. М.: Недра, 1972. – 584 с.
- 85. Кожогулов, К. Ч. Вариации локальных полей напряжений в верхней части земной коры [Текст] / К. Ч. Кожогулов, И. Т. Айтматов // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). – М., 2005. – С. 262-270.
- 86. Ямщиков, В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов [Текст]: моногр. / В. С. Ямщиков. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
- 87. Смирнов, В. А. Применение электромагнитного профилирования для оперативного контроля удароопасности [Текст] / В. А. Смирнов, А. Н. Скакун // VII Всесоюзная конф. по механике горных пород. – М., 1981. – С.71-72.

- 88. Глушко, В. Т. Исследование возможности оценки напряженного состояния рудного массива магнитометрическим методом [Текст] / В. Т. Глушко // Измерения напряжений в массиве горных пород: Материалы V семинара. – Новосибирск, 1976. – Ч. 1. – С. 96-100.
- 89. Ратникова, Л. И. Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых слоях [Текст]: моногр. / Л. И. Ратникова. – М.: Наука, 1973. – 124 с.
- 90. Исследование горного давления геофизическими методами [Текст] / [Ю. В. Ризниченко, И. Ванек, В. Сибек и др.]. – М.: Наука, 1976. – 215 с.
- 91. Ляховицкий, Ф. М. Анализ анизотропии скоростей сейсмических волн в тонкослоистых периодических средах [Текст] / Ф. М. Ляховицкий, М. В. Невеский // Физика Земли. – М., 1970. – № 9. – С.12-21.
- 92. Ржевский, В. В. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве [Текст]: моногр. / В. В. Ржевский, В. С. Ямщиков. – М.: Наука, 1973. – 224 с.
- 93. Урупов, А. К. Скорости сейсмических волн в анизотропных слоистотрещиноватых средах [Текст] / А. К. Урупов, С. И. Лапин // Прикладная геофизика. – М., 1972. – № 67. – С. 3-16.
- 94. Разин, А. В. Геоакустика слоистых сред [Текст]: моногр. / А. В. Разин, А. Л. Собисевич. М.: Ин-т физики Земли, 2012. 210 с.
- 95. Вознесенский, А. С. Взаимосвязь акустической добротности с прочностными свойствами известняков [Текст] / А. С. Вознесенский, Я. О. Кутин, М. Н. Красилов // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – Новосибирск, 2015. – № 1. – С. 30-39.
- 96. Горбацевич, Ф. Ф. К проблеме оценки упругой анизотропии горных пород квазиортотропной симметрии [Текст] / Ф. Ф. Горбацевич // Физика земли. – М., 2019. – № 6. – С.130-139.
- 97. Артыкбаева, З. К. Исследование анизотропии горных пород и его приложение к оценке устойчивости опорных целиков ультразвуковым методом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 / З. К. Артыкбаева. – Фрунзе, 1975. – 145 с.

- 98. Development of methods assessing the mine workings stability [Электронный pecypc] /A. R. Abdiev, R. Sh. Mambetova, A. A. Abdiev, Sh. A. Abdiev // E3S Web of Conferences 201, 01040 (2020) Ukrainian School of Mining Engineering 2020. Режим доступа: <u>https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101040. –</u> Загл. с экрана.
- 99. Дырдин, В. В. О влиянии влажности на результаты электрометрических измерений при контроле напряженного состояния краевых зон угольных пластов [Текст] / В. В Дырдин // Уголь. – М., 1989. – №1. – С.11-13.
- 100. Влияние влажности на результаты определения напряжений в массиве горных пород [Текст] / Н. П. Влох, А. В. Зубков, Я. И. Липин [и др.] // Физ.техн. проблемы разработки полезных ископаемых. – М., 1975. – С.3-6.
- 101. Абдиев, А. Р. Изучение закономерностей изменения структуры и свойств горных пород в зоне тектонических нарушений [Текст] /А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев // Сборник статей Междунар. науч.-практ. конф. «LXXIII Междунар. науч. чтений (памяти А.Н. Колмогорова)». – М., 2020. – С.111-114.
- 102. Абдиев, А. Р. Изучение деформаций породных массивов высокогорных месторождений, прогноз и контроль их геомеханического состояния [Текст] /А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев // Тенденции развития науки и образования. – Самара, 2020. – Ч. 8, № 60. – С. 51-57.
- 103. Analysis of the regularities of basalt open-pit fissility for energy efficiency of ore preparation [Text] / Y. Malanchuk, V. Moshynskyi, A.R. Abdiev [et al.] // Mining of Mineral Deposits. – 2022. – Vol. 16(1). – Р. 68-76. – Режим доступа: <u>https://doi.org/10.33271/mining16.01.068. –Загл. с экрана.</u>
- 104. Куваков, С. Ж. Учет трещиноватости при оценке напряженнодеформируемого состояние породного блока [Текст] / С. Ж. Куваков // Современные проблемы механики сплошных сред. – Бишкек, 2014. – Вып. 19. – С.229-237.
- 105. Кожогулов, К. Ч. Особенности свойств горных пород в зонах влияния тектонических нарушений золоторудных месторождений Кыргызстана

[Текст] / К. Ч. Кожогулов, О. В. Никольская, Г. А. Кадыралиева // Материалы науч. практ. конф. «Проблемы безопасности и эффективности освоения георесурсов в современных условиях». – Пермь, 2014. – С.273-277

- 106. Шкуратник, В. Л. Горная геофизика. Ультразвуковые методы [Текст]: моногр. / В. Л. Шкуратник. – М.: МГИ, 1990. – 104 с.
- 107. Лавров, А. В. Акустическая эмиссия при деформировании и разрушении горных пород [Текст]: обзор / А. В. Лавров, В. Л. Шкуратник // Акустический журн. – М., 2005. – Т.51. – С.6-18.
- 108. Рубан, А. Д. Горная геофизика. Электрометрические методы геоконтроля [Текст]: учеб. пособие / А. Д. Рубан, Ю. Н. Бауков, В. Л. Шкуратник. – М.: МГГУ, 2002. – Ч.3. – 148 с.
- 109. Кожогулов, К. Ч. Основные черты геомеханического состояния структурно-неоднородных месторождений [Текст] / К. Ч. Кожогулов, Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев // Современные проблемы механики. Бишкек, 2021. № 2. С. 58-68.
- 110. Кожогулов, К. Ч. Напряженно-деформированное состояние породных массивов структурно-неоднородных месторождений Кыргызстана [Текст] / К. Ч. Кожогулов, А. Р. Абдиев // Изв. Нац. АН Кырг. Респ. – 2022. – №1. – С.10-18.
- 111. Уломов, В. И. Динамика земной коры Средней Азии и методика изучения ее горизонтальных движений [Текст] / В. И. Уломов // Информационное сообщ. АН Узбекистана. –Ташкент, 1973. – № 81. – С. 20.
- 112. Уломов, В. И. О сейсмогеодинамике внутриконтинентального коллизионного пояса Северной Евразии [Текст] / В. И. Уломов // Геофизические исслед. – М., 2005. – №1. – С.5-26.
- 113. Уломов, В. И. О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности [Текст] / В. И. Уломов // Физика земли. – 2004. – № 9. – С.14-30.

- 114. Рассказов, И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках дальневосточного региона [Текст]: моногр. / И. Ю. Рассказов. – М.: Горн. кн., 2008. – 329 с.
- 115. Рассказов, И. Ю. Исследование удароопасности на подземных рудниках дальнего востока и забакалья [Текст] / И. Ю. Рассказов // Проблемы недропользования. – Екатеринбург, 2018. – Вып. 3. – С. 128-139. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // trud@igduran.ru. – Загл. с экрана.
- 116. Влох, Н. П. Прогноз удароопасности выработок на стадии проектирования горных работ [Текст] / Н. П. Влох, А. В. Зубков, Я. И. Липин // Прогноз и предотвращение горных ударов на рудных месторождениях. – Апатиты, 1987. – С. 50-54.
- 117. Петухов, И. М. Предотвращение горных ударов на рудниках [Текст]: моногр. / И. М. Петухов, П. В Егоров, Б. Ш. Винокур. – М.: Недра, 1984. – 230 с.
- 118. Петухов, И. М. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках [Текст]: моногр. / И. М. Петухов, А. М Ильин, К. Н. Трубецкой. – М.: АГН, 1997. – 376 с.
- 119. Кожогулов, К. Ч. Прогнозирование локальных концентраторов естественных напряжений в массивах горных пород [Текст] / К. Ч. Исследование, H. Жуков // Кожогулов, A. прогнозирование И предотвращение горных ударов. – Бишкек, 1991. – С. 262-270.
- 120. Кожогулов, К. Ч. Диагностика концентраторов напряжений в массивах пород горно-складчатых областей [Текст] / К. Ч. Кожогулов // Изв. Нац. АН Кырг. Респ. – 2003. – № 2/3. – С.63-69.
- 121. Тажибаев, К. Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов [Текст] / К. Т. Тажибаев. – Фрунзе: Илим, 1989. – 180 с.
- 122. Тажибаев, К. Т. Руководство по определению удароопаснооти участков массива горных пород (на примере Сары-Джазского месторождения) [Текст]

/ К. Т. Тажибаев, Ш. А. Мамбетов, Д. С. Дуйшеев. – Бишкек: [б.и.], 1992. – 45 с.

- 123. Тажибаев, К. Т. Геомеханические условия и механизм динамического разрушения горных пород удароопасных месторождений [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11 / К. Т. Тажибаев. – Бишкек, 1993. – 180 с.
- 124. А. с. № 3845. Кыргызской Республики. Основы геомеханики [Текст] / А. Р. Абдиев, Ш. А. Мамбетов, Р. Ш. Мамбетова. Бишкек, Кыргызпатент, 2020. 50 с.
- 125. Ялымов, Р. Н. Оценка удароопасности горных пород месторождения Джеруй [Текст] / Р. Н. Ялымов, А. К. Бейшеев // Современные проблемы механики. – Бишкек, 2018. – № 33(3). – С. 255-262.
- 126. Кожогулов, К. Ч. Геомеханическое обоснование эффективной разработки удароопасных крутопадающих рудных месторождений [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 01.02.07 / К. Ч. Кожогулов. – Бишкек, 1992. – 391 с.
- 127. Айтматов, И. Т. Современное состояние проблемы горных ударов в горнорудной промышленности Кыргызстана [Текст] / И. Т. Айтматов, К. Ч. Кожогулов // Горн. журн. – М., 2002. – №10. – С. 62-70.
- 128. Ялымов, Р. Н. Оценка напряженного состояния и прогноз удароопасности массива пород Хайдарканского месторождения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 / Р. Г. Ялымов. – Бишкек, 1997. – 18 с.
- 129. Методика регионального прогноза удароопасности и состояния массива пород и выбора технических решений по обеспечению безопасности и эффективности горных работ [Текст] / [А. А. Козырев, А. Н. Енютин, В. А. Мальцев, И. Э. Семенова] // Инновационный потенциал Кольской науки. – Апатиты, 2005. – С. 52-56.
- 130. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (месторождение Олений ручей) [Текст] / А. А. Козырев [и др.]. – Апатиты: Горн. ин-т КНЦ РАН, АО СЗФК, 2015. – 101 с.

- 131. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатит-нефелиновые месторождения) [Текст] / [А. А. Козырев, И. Э. Семенова, В. В. Рыбин и др.] – Апатиты: ООО Апатит-Медиа, 2016. – 112 с.
- 132. Развитие методов оценки геомеханического состояния породного массива вокруг горных выработок [Текст] / [А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев и др.]. – Бишкек, Научные исследования в Кыргызской Республике. – Режим доступа: <u>http://journal.vak.kg/category/god-2020/2-kvartal-god-2020/.</u> – Загл. с экрана.
- 133. Пат. № 2150 Кыргызская Республика, МПК Е21С 39/00. Способ определения и контроля устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки [Текст] / [Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, А. Ш. Мамбетов и др.]. – № 20180093.1; заявл.05.11.18; опубл. 31.05.19, Бюл. № 5. – 13 с.: ил.
- 134. Бауков, Ю. Н. Горная геофизика. Геоконтроль неидеальных и неоднородных сред акустическими методами [Текст]: учеб. пособие / Ю. Н. Бауков. – М.: МГГУ, 1999. – Ч. 2. – 166 с.
- 135. А. с. № 3842. Кыргызская Республика. Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече [Текст] / А. Р. Абдиев. – Бишкек, Кыргызпатент, 2020. – 50 с.
- 136. СНиП П -94-80. Подземные горные выработки [Текст]. М.: ФГУПЦПП,
 2004. 28 с.
- 137. Чунуев, И. К. Геотехнические аспекты освоения высокогорных месторождений и гидротехнических сооружений [Текст] / И. К. Чунуев, Ж. Болотбеков // Горн. информ.-аналит. бюл. – М., 2020. – № 1 (спец. 2). – С. 3-14.
- 138. А. с. № 3855 Кыргызская Республика. Геомеханическое обеспечение горных и горно-строительных работ в условиях высокогорья [Текст] / А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев. – Бишкек, Кыргызпатент, 2020. – 11 с.

- 139. Абдиев, А. Р. Совершенствование технологии и организации геологического изучения эксплуатируемых сложноструктурных месторождений [Текст] / А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев // Тенденции развития науки и образования. – Самара, 2020. – Ч. 8, № 60. – С. 57-64.
- 140. Shustov, O. Substantiation into Parameters of Carbon Fuel Production Technology from Brown Coal [Text] / O. Shustov, A. Pavlychenko, A. Abdiev // Materials Science Forum. – 2021. – (1045). – Р. 90-101. – Режим доступа: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1045.90. – Загл. с экрана.
- 141. Абдылдаев, Э. К. Напряженно-деформированное состояния массива горных пород вблизи выработок [Текст]: моногр. / Э. К. Абдылдаев. – Фрунзе: Илим, 1990. – 164 с.
- 142. Казикаев, Д. Б. Геомеханика подземной разработки руд [Текст]: моногр. / Д. Б. Казикаев. М.: МГГУ, 2009. 542 с.
- 143. Литвинский, Г. Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов [Текст]: моногр. / Г. Г. Литвинский. – Донецк: ДонГТУ, Норд-Пресс, 2008. – 207 с.
- 144. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния подкарьерных массивов горных пород [Текст] / Н. Т. Осмонова, З. А. Асилова, Т. А. Эргешов [и др.] // Современные проблемы сплошных сред. – Бишкек, 2011. – № 13. – С. 407-413.
- 145. Вознесенский, А. С. Системы контроля геомеханических процессов [Текст]: учеб. пособие / А. С. Вознесенский. М.: МГГУ, 2002. 152 с.
- 146. Кожогулов, К. Ч. Комплексные экспериментальные исследования геомеханических процессов на месторождениях Кыргызстана [Текст] / К. Ч. Кожогулов, Б. А. Чукин, О. В. Никольская. – Новосибирск, 2018. – С.170-182.
- 147. Kuznetsov, Y. N. To the Issue of Ensuring Opening Strength of the Underground Mine Workings [Текст] / Y. N. Kuznetsov, A. V. Chernyshov // Occupational Safety in Industry. – 2019. – N (1). – Р. 19-25. – Режим доступа: <u>https://doi.org/10.24000/0409-2961-2019-1-19-25. – Загл. с экрана.</u>

- 148. Рогожников, О. В. Геомеханическое обоснование параметров конструктивных элементов систем разработки при освоении месторождений в горноскладчатых областях [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11 / О. В. Рогожников. – Бишкек, 1996. – 35 с.
- 149. Мамбетов, Ш. А. Геомеханические процессы в породных массивах [Текст]: учеб. пособие / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев. Бишкек: КРСУ, 2013. 198 с.
- 150. Абдиев, А. Р. Геомеханические обеспечение горных и горно-строительных работ [Текст]: метод. указания / А. Р. Абдиев. Бишкек: КРСУ, 2005. 28 с.
- 151. Мамбетов, Ш. А. К вопросу вскрытия и подготовки при разработке высокогорных рудных месторождений [Текст] / Ш. А. Мамбетов, Е. Т. Карпенко // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. – 2017. – Т.17, №12. – С.162-164.
- 152. Выбор и обоснование технологии крепления подготовительных выработок в условиях неустойчивых массивов на примере рудника «10-лет Независимости Казахстана» [Текст] / И. Д. Арыстан, М. Б. Баизбаев, А. К. Матаев [и др.] // Уголь. – М., 2020. – № 6. – С.10-16. – Режим доступа: <u>http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-6-10-14</u>. – Загл. с экрана.
- 153. Выбор параметров крепи и технологии ее возведения на месторождении «Восход» [Текст] / М. Г. Султанов, А. К. Матаев, Д. С. Кауметова [и др.] // Уголь. – М., 2020. – № 10. – С.17-22. – Режим доступа: <u>http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-10-17-21. –Загл. с экрана.</u>
- 154. Численное моделирование геомеханических процессов с помощью программы «Фаза 2» [Текст] / А. Ж. Имашев, Н. Б. Бахтыбаев, Н. Тилеухан [и др.] // Горн. журн. Казахстана. – Алматы, 2013. – № (7). – С.10-13.
- 155. Исследование возможных зон неупругого деформирования массива горных пород [Текст] / А. Имашев, А. Суимбаева, Н. Жолмагамбетов [и др.] // Изв. Нац. АН Респ. Казахстан. Сер. Геолого-техн. наук. Алматы, 2018. № 2 (428). С.177-184.

- 156. Технологии проведения и крепления горных выработок [Текст]: моногр. /
 [И. Д. Арыстан, М. Б. Баизбаев, Р. М. Абдрашев и др.]. Актобе: АРГУ им.
 К. Жубанова, 2019. 99 с.
- 157. Research into rock mass geomechanical situation in the zone of stope operations influence at the 10th Anniversary of Kazakhstan's Independence mine [Text] /A. K. Matayev, A. S. Kainazarova, I. D. Arystan [et al.] // Mining of Mineral Deposits.
 2021. Vol. 15(1). P.1-10. Режим доступа: https:// doi.org/10.33271/mining15.01.042. Загл. с экрана.
- 158. Substantiating the optimal type of mine working fastening based on mathematical modeling of the stress condition of underground structures [Text] /A. K. Matayev, V. H. Lozynskyi, A. Musin [et al.] // SBNMU. 2021. № 3. Р. 57-63. Режим доступа: https:// doi.org/10.33271/nbngu/2021-3/057. Загл. с экрана.
- 159. Контроль геомеханического состояния породного массива вблизи обнажений [Текст] /А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова, А. А. Абдиев [и др.] // Недропользование XXI век. – М., 2020. – № 4(87). – С.38-45.
- 160. Research into technology of fastening the mine workings in the conditions of unstable masses [Text] / A. Matayev, A. Abdiev, A. Kydrashov [et al.] // MMD. 2021. N 15(3). P.78-86. Режим доступа: https://doi.org/10.33271/mining15.03.078. Загл. с экрана.
- 161. Rocscience RS2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <u>https://www.rocscience.com/software/rs2</u>. Загл. с экрана.
- 162. Hoek, E. Hoek-Brown criterion 2002 edition [Text] / E. Hoek, C. Carranza-Torres, B. Corkum // In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada: NARMS-TAC. – 2002. – Vol. 1. – P. 267-273.
- 163. Duncan, J. M. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes [Text] / J. M. Duncan // Journal of Geotechnical Engineering. – 1996. – Vol. 122, no. 7. – P. 577-596.

Акт внедрения результатов исследований в учебный процесс КРСУ им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина

«УТВЕРЖДАЮ» Ректор Кыргызско-Российского Славянского Университета им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина д.т.н., проф., акад. НАН КР Нифадьев В.И.

2022 г. >>

Акт

внедрения научных результатов диссертационной работы кандидата технических наук Абдиева Арстанбека Раимбековича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» на тему: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений»

1. Автор внедрения: Абдиев Арстанбек Раимбекович

2. Наименование диссертационной работы: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений».

3. Краткая аннотация: Создание научных основ и разработка способов оценки и контроля геомеханического состояния нетронутых массивов и при ведении горных работ в структурно-неоднородных рудных месторождениях для повышения их эффективности и безопасности освоения, представляет собой актуальную и крупную научную и техническую проблему и имеет важное народнохозяйственное значение.

В учебном процессе были использованы следующие результаты полученные для структурно-неоднородных массивов рудных месторождений: особенностей напряженноразработанный новый подход изучения деформированного состояния с учетом взаимосвязи свойств и напряженнодеформированного состояния; новые зависимости упругих характеристик горных пород от давления и глубины для объяснения картины распределения напряжений в массиве вокруг горных выработок; разработанный способ прогнозирования напряженно-деформированного состояния, для построения прогнозной карты месторождения и тектонической модели ее структуры, учитывающей геологические характеристики структурно-неоднородной среды, разрывы сплошности, степень ослабления прочности массива, рельеф поверхности; разработанная модель напряженно-деформированного состояния, особенности учитывающая структурно-механические месторождения, иерархию и параметры тектонических нарушений, и природные локальные концентраторы напряжений вокруг них; разработанный комплексный способ оценки геомеханического состояния массивов, учитывающий совокупность показателей характеризующих уровень развития геомеханических процессов деформирования, перераспределения напряжений и разрушения протекающих в геологической истории месторождения; новые зависимости определения

напряженности и устойчивости породного массива вокруг степени незакрепленной горной выработки от распределения акустического модуля в функции от расстояния вдоль шпура от контура выработки для выявления особенностей распределения акустического модуля; разработанный способ определения и контроля устойчивости структурно-неоднородных массивов вокруг горных выработок для повышения устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки; разработанный способ крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород под воздействием напряжений для снижения расходов на крепление горных выработок при обеспечении их безопасности и новый подход к обоснованию эффективного метода крепления путем сопоставления затрат.

4. Эффект от внедрения: Научные результаты диссертации – определение локальных зон природной концентрации напряжений, как очагов проявления горных ударов и степени устойчивости горных выработок, имеют важное значение при создании новых технологий разработки месторождений, позволяет значительно улучшить качество подготовки специалистов по специальности 21.05.05 – Физические процессы горного производства.

5. Место и время внедрения: Указанные результаты внедрены (использованы) в учебном процессе кафедры «Физических процессов горного производства» в учебных годах с 2010 по 2022 годы по дисциплинам: «Геомеханика»; процессы в породном «Геомеханические массиве»; «Геомеханическое обеспечение горных работ», а также при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов, дипломных работ.

6. Форма внедрения:

 чтение лекций и практические занятия по тематике работы во взаимосвязи с будущей профессиональной деятельностью обучающихся, введение новых теоретических и практических разделов в них;

 расширение перечня обязательной и дополнительной учебной литературы за счет публикации: методических указаний к курсовому проектированию «Геомеханическое обеспечение горных и горно-строительных работ» (2015) и по подготовке и защите ВКР (2018); монографий: «Горные работы в условиях Тянь-Шаня» (2013), «Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече» (2014), «Геомеханическое состояние породного учебников: «Геомеханические процессы в массива Тянь-Шаня» (2019); породных массивах» (2013), «Геодезия» (2017), «Комплексное освоение минеральных ресурсов» (2019), «Основы геомеханики» (2020);

 освоение новых методик исследования, анализа геомеханического состояния породных массивов: Патент КР №2150 (2019), Патент КР №2238 (2020).

декан ЕТФ КРСУ им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина Г.В. Лоцев к.т.н., доц., Соискатель А.Р. Абдиев к.т.н., доц. ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ УКГОУВПО КРСУ ИНН 01512199310054

Приложение 2.

Акт внедрения результатов исследований в учебный процесс КГГУ им. академика У. Асаналиева

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Кыргызского государственного университета геологии, горного дела и освоения природных ресурсов имени академика У. Асаналиева проф. Маралбаев А.О.

mm 2022 г. " Il » anpeur

Акт

внедрения научных результатов диссертационной работы кандидата технических наук Абдиева Арстанбека Раимбековича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и

горная теплофизика» на тему: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений»

1. Автор внедрения: Абдиев Арстанбек Раимбекович

2. Наименование диссертационной работы: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений».

3. Краткая аннотация: Создание научных основ и разработка способов оценки и контроля геомеханического состояния нетронутых массивов и при ведении горных работ в структурно-неоднородных рудных месторождениях для повышения их эффективности и безопасности освоения, представляет собой актуальную и крупную научную и техническую проблему и имеет важное народнохозяйственное значение.

В учебном процессе были использованы следующие результаты полученные для структурно-неоднородных массивов рудных месторождений: разработанный новый подход изучения особенностей напряженнодеформированного состояния с учетом взаимосвязи свойств и напряженнодеформированного состояния; новые зависимости упругих характеристик горных пород от давления и глубины для объяснения картины распределения напряжений в массиве вокруг горных выработок; разработанный способ прогнозирования напряженно-деформированного состояния, для построения прогнозной карты месторождения и тектонической модели ее структуры, учитывающей геологические характеристики структурно-неоднородной среды, разрывы сплошности, степень ослабления прочности массива, рельеф поверхности; разработанная модель напряженно-деформированного состояния, структурно-механические особенности учитывающая месторождения, иерархию и параметры тектонических нарушений, и природные локальные концентраторы напряжений вокруг них; разработанный комплексный способ оценки геомеханического состояния массивов, учитывающий совокупность показателей характеризующих уровень развития геомеханических процессов деформирования, перераспределения напряжений и разрушения протекающих в геологической истории месторождения; новые зависимости определения

степени напряженности и устойчивости породного массива вокруг незакрепленной горной выработки от распределения акустического модуля в функции от расстояния вдоль шпура от контура выработки для выявления особенностей распределения акустического модуля; разработанный способ определения и контроля устойчивости структурно-неоднородных массивов вокруг горных выработок для повышения устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки; разработанный способ крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород под воздействием напряжений для снижения расходов на крепление горных выработок при обеспечении их безопасности и новый подход к обоснованию эффективного метода крепления путем сопоставления затрат.

4. Эффект от внедрения: Научные результаты диссертации – определение локальных зон природной концентрации напряжений, как очагов проявления горных ударов и степени устойчивости горных выработок, имеют важное значение при создании новых технологий разработки месторождений, позволяет значительно улучшить качество подготовки специалистов по специальности 630003 «Горное дело».

5. Место и время внедрения: Указанные результаты внедрены (использованы) в учебном процессе кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» в учебных годах с 2010 по 2022 годы по дисциплине «Геомеханика», «Физика горных пород», Управление состоянием массива горных пород», а также при выполнении студентами самостоятельных работ (курсовые и дипломные проекты).

6. Форма внедрения:

- чтение лекций и практические занятия по тематике работы во взаимосвязи с будущей профессиональной деятельностью обучающихся, введение новых теоретических и практических разделов в них;

- расширение перечня обязательной и дополнительной учебной литературы за счет публикации: методических указаний к курсовому проектированию «Геомеханическое обеспечение горных и горно-строительных работ» (2015) и по подготовке и защите ВКР (2018); монографий: «Горные работы в условиях Тянь-Шаня» (2013), «Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече» (2014), «Геомеханическое состояние породного массива Тянь-Шаня» (2019); учебников: «Геомеханические процессы в породных массивах» (2013), «Геодезия» (2017), «Комплексное освоение минеральных ресурсов» (2019), «Основы геомеханики» (2020);

- освоение новых методик исследования, анализа геомеханического состояния породных массивов: Патент КР №2150 (2019), Патент КР №2238 (2020).

Декан горного факультета КГГУ им. акад. У Асаналиева Jobopile al antipos Соискатель к.т.н., доц.

Ш.А. Абдибаитов

А.Р. Абдиев

Акт внедрения результатов исследований в практику проектирования

«УТВЕРЖДАЮ» Директор ОсОО«Азиярудпроект» к.т.н. с.н.е Минаков В.В. « Электер 2022 г. Акт

внедрения научных результатов диссертационной работы кандидата технических наук Абдиева Арстанбека Раимбековича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» на тему: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений»

1. Автор внедрения: Абдиев Арстанбек Раимбекович

2. Наименование диссертационной работы: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений».

3. Краткая аннотация: Создание научных основ и разработка способов оценки и контроля геомеханического состояния нетронутых массивов и при ведении горных работ в структурно-неоднородных рудных месторождениях для повышения их эффективности и безопасности освоения, представляет собой актуальную и крупную научную и техническую проблему и имеет важное народнохозяйственное значение.

практике проектирования подземной разработки структурно-B неоднородных рудных месторождений были использованы следующие результаты: разработанный новый подход изучения особенностей напряженнодеформированного состояния с учетом взаимосвязи свойств и напряженнодеформированного состояния; новые зависимости упругих характеристик горных пород от давления и глубины для объяснения картины распределения напряжений в массиве вокруг горных выработок; разработанный способ прогнозирования напряженно-деформированного состояния, для построения прогнозной карты месторождения и тектонической модели ее структуры, учитывающей геологические характеристики структурно-неоднородной среды, разрывы сплошности, степень ослабления прочности массива, рельеф поверхности; разработанная модель напряженно-деформированного состояния, учитывающая структурно-механические особенности месторождения, иерархию и параметры тектонических нарушений, и природные локальные концентраторы напряжений вокруг них; разработанный комплексный способ оценки геомеханического состояния массивов, учитывающий совокупность показателей характеризующих уровень развития геомеханических процессов деформирования, перераспределения напряжений и разрушения протекающих в геологической истории месторождения; новые зависимости определения степени напряженности и устойчивости породного массива вокруг незакрепленной горной выработки от распределения акустического модуля в

функции от расстояния вдоль шпура от контура выработки для выявления особенностей распределения акустического модуля; разработанный способ определения и контроля устойчивости структурно-неоднородных массивов вокруг горных выработок для повышения устойчивости породного массива незакрепленной горной выработки; разработанный способ крепления горных выработок в условиях неустойчивых пород под воздействием напряжений для снижения расходов на крепление горных выработок при обеспечении их безопасности и новый подход к обоснованию эффективного метода крепления путем сопоставления затрат.

4. Эффект от внедрения: Научные результаты диссертации, в частности – определение локальных зон природной концентрации напряжений, как очагов проявления горных ударов и степени устойчивости горных выработок, имеют важное значение при создании прогрессивных технологий геологоразведочных работ и разработки месторождений полезных ископаемых, что позволяет значительно улучшить качество подготовки проектов и дополнений к проектам.

5. Место и время внедрения: Указанные результаты внедрены (использованы) при составлении проектов геологоразведочных работ и разработки месторождений республики с 2017 по 2022 годы.

6. Форма внедрения:

В практику проектирования геологоразведочных работ и разработки рудных месторождений, вошли в разделы - «Геомеханика», «Устойчивость горных пород и выработок», «Проходка горных выработок», «Крепление горных выработок», «Расчет охранных и барьерных целиков», «Вскрышные, подготовительные и очистные работы».

Главный инженер ОсОО «Азиярудпроект»

Соискатель к.т.н., доц.

А.Р. Абдиев

.А. Томилин

Hyuncer Johnes:



237

Приложение 4.

Акт внедрения результатов исследований в практику ведения буровзрывных работ



Акт

внедрения научных результатов диссертационной работы кандидата технических наук Абдиева Арстанбека Раимбековича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» на тему: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений»

1. Автор внедрения: Абдиев Арстанбек Раимбекович

2. Наименование диссертационной работы: «Оценка геомеханического состояния породных массивов структурно-неоднородных рудных месторождений».

3. Краткая аннотация: Создание научных основ и разработка способов оценки и контроля геомеханического состояния нетронутых массивов и при ведении горных работ в структурно-неоднородных рудных месторождениях для повышения их эффективности и безопасности освоения, представляет собой актуальную и крупную научную и техническую проблему и имеет важное народнохозяйственное значение.

При проведении буровзрывных работ для разработки месторождений полезных ископаемых Кыргызстана были использованы следующие результаты: разработанный способ прогнозирования напряженнодеформированного состояния. для построения прогнозной карты месторождения и тектонической модели ее структуры, учитывающей геологические характеристики структурно-неоднородной среды, разрывы сплошности, степень ослабления прочности массива, рельеф поверхности; разработанная модель напряженно-деформированного состояния, учитывающая структурно-механические особенности месторождения, иерархию и параметры тектонических нарушений, и природные локальные концентраторы напряжений вокруг них.

4. Эффект от внедрения: Научные результаты диссертации, в частности – степень ослабления прочности массива от влияния концентраций напряжений в

зонах тектонических нарушений и трещиноватости, имеют важное значение при буровзрывных работ и разработки месторождений полезных ископаемых, что позволяет значительно улучшить качество подготовки проектов, паспортов буровзрывных работ и проведения самих буровзрывных работ.

5. Место И время внедрения: Указанные результаты внедрены (использованы) при буровзрывных работах на месторождениях Кыргызстана с 2011 по 2015 годы.

6. Форма внедрения:

В разделы «Характеристики пород», «Параметры буровзрывных работ» и «Основные показатели буровзрывных работ» паспортов буровзрывных работ при разработке месторождений.



Соискатель

к.т.н., доц.

Б.С. Мусабеков Совессу А.Р. Аблиев Ja верено - АННосо