

На правах рукописи

АБАТУРОВА Ирина Валерьевна

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ, ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ

Специальность 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Екатеринбург – 2012

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Научный консультант – доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Грязнов Олег Николаевич**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Бондарик Генрих Кондратьевич**

доктор технических наук,
профессор **Корнилков Михаил Викторович**

доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Рященко Тамара Гурьевна**

Ведущая организация – ФГОУ ВПО «Научно-исследовательский
Томский государственный политехнический
университет»

Защита состоится 29 марта 2012 г. в 14-30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.280.04 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» по адресу: 620144, ГСП, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30 (III уч. корпус, ауд. 3336).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Автореферат разослан _____ 201_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Гуман О.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Острая необходимость развития и освоения на современном уровне минерально-сырьевой базы РФ требует введения в строй новых месторождений, эффективность и безопасность разработки которых определяется в первую очередь, степенью изученности и оценки инженерно-геологических условий (ИГУ). При этом требуется сократить время и затраты на разведку за счет использования накопленной базы данных и информации по ранее изученным месторождениям-аналогам. Особенностью МПИ Урала и Сибири являются различное геолого-тектоническое строение, состав, генезис, возраст пород, различная степень выветрелости, закарстованности, обводненности, наличие сезонной, а на севере – многолетней мерзлоты. Проектирование шахт и карьеров при разной степени сложности ИГУ является задачей более ответственной, чем любых других сооружений, поэтому изучение ИГУ месторождений полезных ископаемых (МПИ) имеет свои особенности. Главными из них являются: 1) значительные объемы горного массива, в котором закладываются выработки; 2) горные породы, с одной стороны, вмещают рудные тела месторождения, с другой – являются неотъемлемой частью горнодобывающего сооружения; 3) карьеры и шахты существенно изменяют ИГУ, и зона этого влияния распространяется на площади, превышающие размеры месторождений; 4) изменение ИГУ приводит к развитию горно-геологических процессов. Названные особенности переводят задачи изучения, оценки и прогноза ИГУ МПИ на ответственный научно-технологический уровень системного применения методов и аналитических подходов из арсенала ряда наук о твердой земле и, в первую очередь, механики горных пород и механики подземного строительства.

Различные аспекты данной проблемы освещены в работах А.Ф. Алексева, Э.И. Афанасиади, Г.К. Бондарика, К.-А.К. Вайтекунаса, Г.А. Голодковской, В.Т. Глушко, О.Н. Грязнова, О.М. Гуман, С.Г. Дубейковского, И.П. Иванова, Г.Н. Кашковского, В.И. Кузькина, В.Д. Ломтадзе, И.В. Попова, П.Н. Панюкова, М.Е. Певзнера, В.В. Пендина, Е.М. Сергеева, Г.Г. Скворцова, Б.В. Смирнова, С.Н. Тагильцева, В.Т. Трофимова, Г.Л. Фисенко, В.В. Фромма, Н.С. Шабалиной, Л.В. Шаумян, Л.А. Ярг и многих других ученых. При этом большая часть работ датирована прошлым веком. В современных условиях использование новых методов и технологий ведения геолого-разведочных и горных работ обуславливает и новые требования к изучению, оценке и прогнозу ИГУ МПИ.

Объектом исследований являются природно-технические системы (ПТС) МПИ, инженерно-геологические модели МПИ в скальных массивах.

Предмет исследований – компоненты ПТС МПИ. Прогноз изменения ИГУ МПИ на разных стадиях геологоразведочных работ, строительства и эксплуатации горнодобывающего сооружения.

Идея работы. Разработка стратегии оценки и прогноза изменения ИГУ МПИ, согласованных со стадиями геологоразведочных работ и этапами проектирования горнодобывающих сооружений.

Цель работы. Разработка научно-методических основ изучения, оценки и прогноза ИГУ МПИ в скальных массивах на разных этапах разведочных работ и освоения месторождений.

Основные задачи исследований:

- 1) разработка структуры ПТС МПИ в скальных массивах и на ее основе обоснование типизации МПИ по сложности ИГУ их разработки;
- 2) анализ условий функционирования области взаимодействия ПТС при разработке МПИ;
- 3) обоснование компонентов и параметров состояния и функционирования ПТС;
- 4) разработка состава и схем изучения ИГУ МПИ с учетом стадийности проведения разведочных работ;
- 5) обобщение и анализ ИГУ МПИ ряда месторождений Урала и Сибири, их типизация по сложности ИГУ их разработки, установление закономерностей изменения ИГУ в пространстве;
- 6) обоснование методов прогноза изменения ИГУ МПИ с целью обеспечения устойчивости горнодобывающих сооружений на стадиях разведки, строительства и эксплуатации ПТС МПИ;
- 7) разработка корректных методик оценки и прогноза ИГУ МПИ.

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положены результаты производственной и научной деятельности кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета, ООО Научно-производственного центра «Гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии» в период с 1983 по 2011 гг., дополненные в период прохождения докторантуры в 2004-2007 гг.

За этот период на кафедре с участием автора защищена одна кандидатская диссертация и готовятся к защите две кандидатские работы. Написано более 50 научно-производственных отчетов. Исследования по теме диссертации выполнялись в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (Госконтракт № 02.740.11.0679 от 29.03.2010 г.), совместно с профессором, доктором геолого-минералогических наук О.Н. Грязновым.

Основной фактический материал получен при проведении инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических исследований на месторождениях: золоторудных (Светлинское, Воронцовское, Верхне-Алиинское, Петропавловское, Новогоднее-Монто); хромитовых (Центральное, Западное, Енгайское); уранового (Элькон); фосфоритового (Софроновское); строительного камня (Новогоднее-2), запасы которых утверждены в ГКЗ и ТКЗ, а ряд месторождений введены в эксплуатацию.

В настоящее время работы продолжаются на ряде золоторудных, хромитовых месторождений и объектах строительного камня.

Кроме того, были использованы фактические материалы научно-производственных и производственных организаций, а также публикации по профилю проблемы. В работе использованы данные инженерно-геологической документации более 50 000 п.м. керна скважин, порядка 25000 км² инженерно-геологической съемки, более 500 результатов лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород, порядка 100 данных режимных термометрических наблюдений.

В комплексе проведенных работ использовался широкий спектр инженерно-геологических методов, а также методов из смежных наук, включающий изучение геолого-структурных условий, компонент напряженно-деформированного состояния (НДС), физико-механических свойств, геотермических и геодинамических условий. Кроме общих геологических методов были использованы аппараты математической статистики, численного моделирования и средства информационных систем. Лабораторные исследования выполнялись в аккредитованных лабораториях по гостированным методикам.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1) впервые представлена ПТС МПИ, учитывающая проектные схемы разработки месторождений, и определено формирование структурированной информационной основы, необходимой и достаточной для оценки параметров устойчивости горного массива;

2) впервые обоснован оптимальный набор компонентов и параметров оценки ИГУ МПИ скальных массивов, и на этой основе разработана типизация ИГУ МПИ по сложности условий их разработки;

3) предложены состав и оптимизированные схемы поэтапного изучения ИГУ МПИ, согласованных со стадиями геологоразведочных работ, строительства и эксплуатации горнодобывающего сооружения;

4) выполнены обобщение, оценка и прогноз ИГУ МПИ различных категорий сложности, расположенных в регионах Урала, Западной и Восточной Сибири;

5) разработаны алгоритмы расчета интегральных инженерно-геологических параметров горного массива, обеспечивающих формализованный подход к прогнозу ИГУ с учетом типа проектируемого горнодобывающего сооружения;

6) обоснована возможность использования метода аналогий для прогноза условий разработки МПИ на ранних стадиях изучения;

7) сформулированы основные принципы, и обоснован комплекс методов прогноза устойчивости горнодобывающих сооружений в зависимости от стадии изучения с учетом достоверности, информативности и задач реализации системного подхода к выбору схем прогнозирования.

Личный вклад. Диссертант лично участвовала в проведении полевых исследований, сборе, анализе, интерпретации, обобщении представленных в диссертации инженерно-геологических материалов, что явилось основой разработки научно-методических основ изучения, оценки и прогноза ИГУ МПИ в скальных массивах.

Практическая значимость и реализация работы. Практическая значимость работы заключается в непосредственной направленности на оптимизацию схем изучения, эффективность оценки и достоверность прогноза ИГУ МПИ. Обоснованные автором теоретические и методологические результаты работ явились основой изучения, оценки и прогноза ИГУ месторождений Светлинское, Воронцовское, Верхне-Алиинское, Петропавловское, Новогоднее-Монто, Центральное, Центральное-2, Полойшорское, Войшорское, Западное, Енгайское, Элькон, Софроновское, Новогоднее-2, Пунгью, Кабан-1, Ново-Михайловское. Полученные данные использованы при разработке проектов и строительстве горнодобывающих сооружений на Светлинском, Воронцовском, Центральном месторождениях.

Результаты исследований используются на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии УГГУ при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам: «Инженерная геология МПИ», «Инженерная геодинамика», разработке курсовых и дипломных проектов и работ, магистерских диссертаций.

Степень достоверности научных положений, методических рекомендаций и выводов основана на значительном фактическом материале по результатам изучения инженерно-геологических, геокриологических и гидрогеологических условий месторождений в различных регионах Урала и Сибири. Достоверность методических и теоретических разработок автора подтверждена проверкой и высокой сходимостью авторских инженерно-геологических прогнозов, выполненных на стадии разведки, с результатами, полученными при разработке месторождений.

Апробация работы. Основные материалы, защищаемые научные положения диссертационной работы изложены в докладах на Всеуральском научно-координационном совещании «Подземные воды Урала и методы их изучения и использования» (Свердловск, СГИ, НПО «Горное», 1988 г.), Всесоюзной научно-технической конференции «Ускорение социально-экономического развития Урала» (Свердловск, 1990 г.), Международном симпозиуме «Инженерная геология карста и охрана окружающей среды» (Афины, 1997 г.), Научно-техническом семинаре «Вопросы инженерно-геологических, инженерно-экологических изысканий в Уральском регионе» (Екатеринбург, ЗАО «УралТИСИЗ», 1999, 2000 гг.), Научной конференции Института Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, 1999, 2000 гг.), Международном симпозиуме «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» (Екатеринбург, 2001 г.), Международной научно-практической конференции «Техногенная трансформация геологической среды»

(Екатеринбург, УГГА, 2002 г.), Годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «Сергеевские чтения» (Москва, 2002, 2004, 2006, 2007, 2010 гг.), Полярно-Уральской научно-практической конференции «Полярный Урал – стратегия освоения» (Тюмень-Салехард, 2004 г.), Международной научной конференции «Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики» (Москва, МГУ, 2006 г.), Всероссийской конференции “РИСК-2006” «Оценка и управление природными рисками» (Москва, 2006 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий» (Екатеринбург, 2006, 2009 гг.), IX межрегиональной научно-практической конференции «Региональные и муниципальные проблемы природопользования» (Киров, 2006 г.), Второй Общероссийской конференции изыскательских организаций «Инженерные изыскания в строительстве» (Москва, ПНИИС, 2006 г.), Международной научной конференции «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» (Москва, МГУ, 2007, 2008 гг.), форуме “Нефть. Газ. Геология 2007” «Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири» (Томск, 2007 г.), Уральском международном экологическом конгрессе «Экологическая безопасность горнопромышленных регионов» (Екатеринбург, 2007, 2011 гг.), Окружной научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» (Ханты-Мансийск, 2008, 2009, 2010, 2011 гг.), Международной научной конференции «Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка» (Москва, МГУ 2009 г.), Международной научно-практической конференции “ГЕОРИСК-2009” «Проблемы снижения природных опасностей и рисков» (Москва, РУДН, 2009 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Урала и сопредельных территорий» (Екатеринбург, 2011 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 73 работы, в том числе семь работ – в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией, монография, учебное пособие. Основные из них представлены в списке опубликованных работ.

Основные защищаемые научные положения:

1. Природно-техническая система МПИ – структурированная область взаимодействия массива месторождения и горного сооружения, которая функционирует в природных условиях территории, характеризуется свойственным ей набором компонентов и их параметров. Характер взаимодействия зависит от способа разработки месторождения, типа сооружения и конструктивных особенностей горных выработок.

2. Изучение и оценка ИГУ МПИ в скальных массивах основываются на анализе базы данных, последовательно формируемой по материалам полевых и лабораторно-камеральных исследований МПИ на разных стадиях

геологоразведочных работ и освоения месторождений с учетом способов и схем их разработки.

3. Дифференциация месторождений Урала и Восточной Сибири по сложности инженерно-геологических условий их разработки, базируется на научно обоснованном подходе к выбору набора компонентов, определяющих их ИГУ.

4. Прогноз изменения ИГУ и оценка интегральных параметров устойчивости горного массива на стадиях разведки, строительства и эксплуатации горнодобывающих сооружений с достаточной надежностью могут быть выполнены методами аналогий, аналитическим, численного моделирования и прогнозного инженерно-геологического районирования.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 302 наименования.

Объем работы – 389 страниц машинописного текста, в том числе 84 рисунка, 58 таблиц.

Во введении обоснована актуальность исследований, определена цель, сформулированы задачи, научная новизна, практическая значимость и защищаемые положения.

В первой главе «Состояние проблемы изучения, оценки и прогноза изменения ИГУ МПИ скальных массивов» проведен анализ ранее выполненных работ по вопросам методики изучения ИГУ МПИ, проблеме обоснования типизации МПИ по сложности их разработки, оценки и прогноза ИГУ МПИ.

Во второй главе «Природно-техническая система месторождений полезных ископаемых скальных массивов» обоснована структура ПТС МПИ, рассмотрены элементы системы, условия ее функционирования, компоненты и параметры, дана их инженерно-геологическая оценка и предложена типизация МПИ по сложности ИГУ их разработки.

В третьей главе «Задачи и методы изучения ИГУ на стадиях поисково-разведочных работ и разработки МПИ» рассмотрены вопросы последовательного изучения ИГУ в соответствии со стадиями геологоразведочных работ, обоснованы границы изучения, предложены методы получения информации, приведен оптимизированный комплекс методов изучения ИГУ в зависимости от стадии геологоразведочных работ и группы месторождения по сложности ИГУ разработки.

В четвертой главе «Особенности ИГУ и прогноза их изменения при разработке месторождений в скальных массивах» приведена детальная характеристика МПИ Урала и Сибири по сложности ИГУ их разработки, для типизированного ряда месторождений выделены компоненты ИГУ и установлены закономерности их изменения.

В пятой главе «Оценка и прогноз изменения инженерно-геологических условий на разных стадиях изучения месторождений полезных ископаемых в

скальных массивах» предложены методы, способы оценки и прогноза изменения ИГУ на стадиях изучения МПИ.

В заключении сформулированы основные результаты выполненных исследований.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту профессору, доктору геолого-минералогических наук О.Н. Грязнову, поддержка и ценные советы которого способствовали выполнению данной диссертационной работы.

Диссертант выражает особую благодарность и самую искреннюю признательность кандидату геолого-минералогических наук Э.И. Афанасиади, доктору геолого-минералогических наук В.Б. Писецкому, доктору геолого-минералогических наук Л.А. Ярг за оказанную поддержку, помощь и дружеское отношение.

Автор искренне благодарен всему коллективу кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии УГГУ за оказанную поддержку, помощь в выполнении работы и ее обсуждении.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. Природно-техническая система МПИ – структурированная область взаимодействия массива месторождения и горного сооружения, которая функционирует в природных условиях территории, характеризуется свойственным ей набором компонентов и их параметров. Характер взаимодействия зависит от способа разработки месторождения, типа сооружения и конструктивных особенностей горных выработок (глава 2).

Опыт изучения ИГУ МПИ показывает, что при их оценке и прогнозе используется разнообразный и большой набор компонентов, затраты на изучение которых значительны, но далеко не всегда оправданны. Разработка обоснованной модели ПТС, ориентированной на тип МПИ, позволяет определить оптимальный набор компонентов и параметров ИГУ.

ПТС МПИ формируется и функционирует при взаимодействии искусственных компонентов с геологической средой. При этом ее модель должна быть ориентирована на способ разработки месторождения и формирования структурированной информационной основы, необходимой и достаточной для оценки параметров устойчивости горного массива (рис. 1). Согласно теории сложно организованных систем, ПТС МПИ должна обладать свойствами динамичности, управляемости, открытости и устойчивости.

Структура ПТС МПИ определяется системой из нескольких иерархических уровней, главными элементами которой являются элементы системы «область взаимодействия (ОВ)» и «сооружение» (рис. 2).

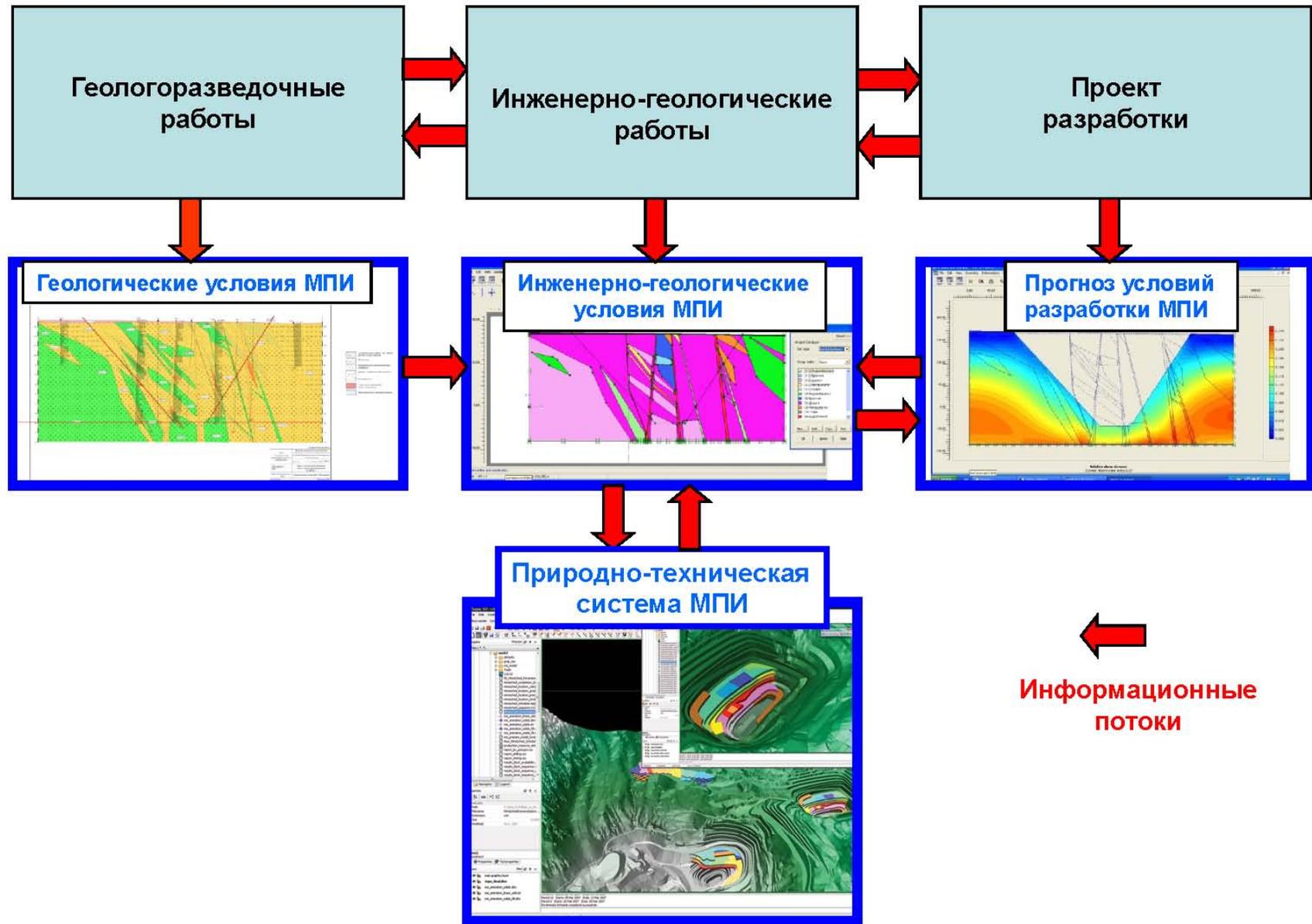


Рис. 1. Схема процессов формирования природно-технической системы МПИ

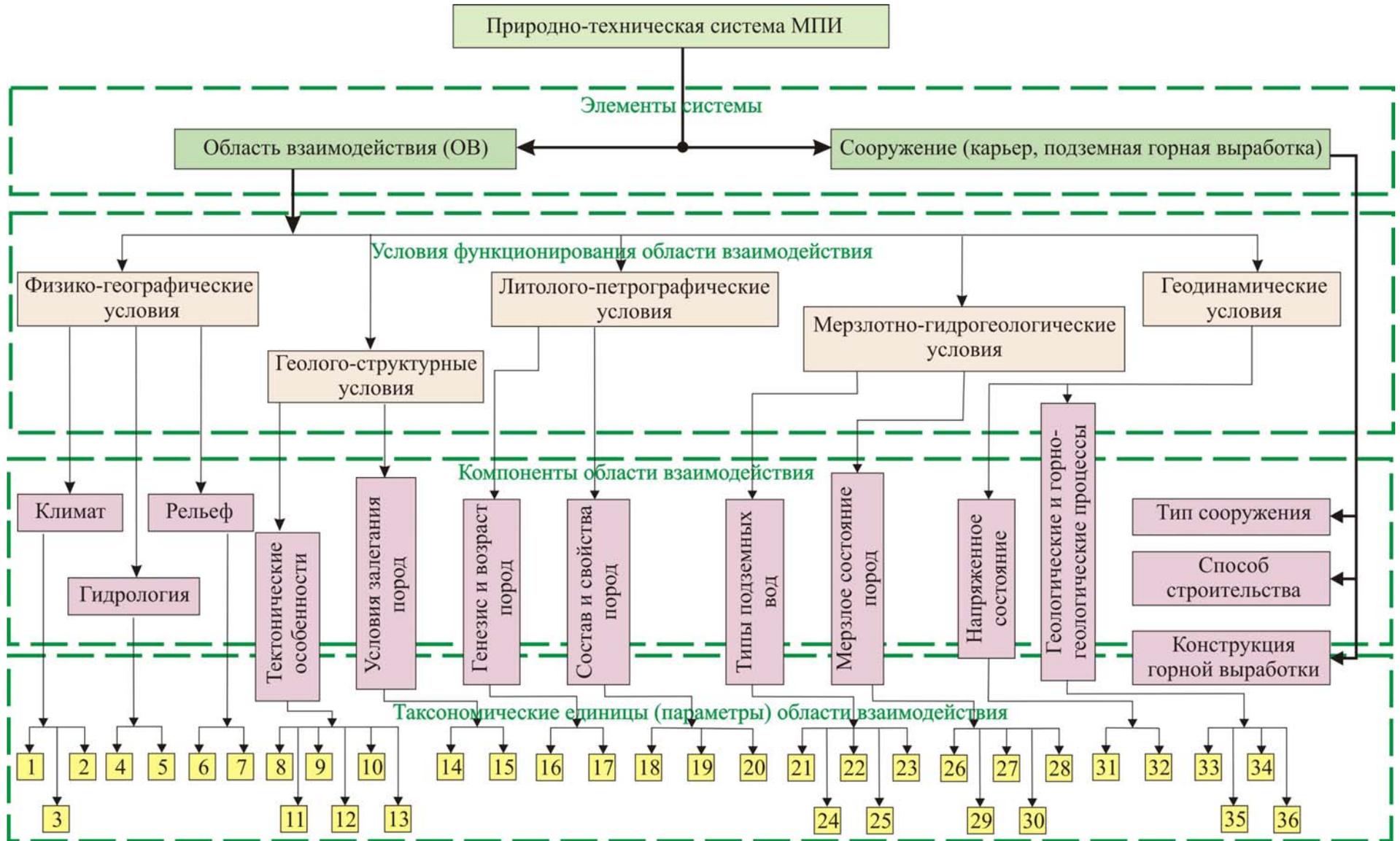


Рис. 2. Структура модели природно-технической системы месторождений полезных ископаемых

1-3: Климат: 1 – количество атмосферных осадков, 2 – среднегодовая температура воздуха, 3 – сила и направление ветра; 4, 5: – Гидрология: 4 – модуль поверхностного стока, 5 – химический состав поверхностных вод; 6, 7: – Рельеф: 6 – абсолютные отметки рельефа, 7 – коэффициент расчлененности рельефа; 8–13: Тектонические особенности: 8 – тип нарушений (пликативные, дизъюнктивные), 9 – возраст и характер тектонических нарушений, 10 – степень и характер трещиноватости, 11 – наличие зон дробления, милонитизации, 12 – наличие расланцованности, плейчатости, 13 – состав и свойства заполнителя трещин; 14, 15: Условия залегания пород: 14 – приуроченность к крупным геологическим структурам, 15 – этажность в вертикальном строении; 16, 17: Генезис и возраст пород: 16 – генезис горных пород, 17 – возраст горных пород; 18–20: Состав и свойства пород: 18 – минеральный и гранулометрический состав горных пород, 19 – структурно-текстурные особенности пород, 20 – физико-механические свойства горных пород; 21–25: Типы подземных вод: 21 – условия залегания подземных вод, 22 – гидравлические особенности водоносных горизонтов и комплексов, 23 – условия питания, разгрузки водоносных горизонтов и комплексов, 24 – химический состав подземных вод, 25 – режим подземных вод; 26–30: Мерзлое состояние пород: 26 – характер распространения многолетнемерзлых пород, 27 – среднегодовая температура горных пород, 28 – льдистость горных пород, 29 – криогенные текстуры, 30 – мощность мерзлых горных пород; 31, 32: Напряженное состояние пород: 31 – скорости продольных, поперечных волн, 32 – коэффициент Пуассона; 33–36: Геологические и горно-геологические процессы: 33 – характер и тип экзогенных и горно-геологических процессов, 34 – условия развития экзогенных и горно-геологических процессов, 35 – размеры экзогенных и горно-геологических процессов, 36 – пораженность территории экзогенными геологическими процессами

Условия функционирования ОВ ПТС МПИ определяются взаимосвязанными и взаимообусловленными компонентами в ее структуре и свойствах. К их числу относятся:

Физико-географические условия (климат, гидрология, рельеф), определяющие условия функционирования карьеров как в талой зоне, так и в криолитозоне. Атмосферные осадки, колебания температур способствуют формированию в откосах карьеров гравитационных процессов, а в районах криолитозоны – изменению термобарических состояний горного массива. Характер рельефа определяет уровень сложности ИГУ, условия поверхностного стока, отвода и сброса откачиваемых вод, формирование неоднородного поля напряжений в массиве.

Геолого-структурные условия включают элементы залегания, тектонические особенности и трещиноватость горных пород. Геологическое строение большинства рудных месторождений контролируется системой тектонических разрывов, имеющих иерархическое строение. Система тектонических нарушений определяет формирование блоков, что в целом усложняет геологическое строение и насыщает среду зонами дезинтеграции пород, которые приводят к существенной потере устойчивости горного массива, вмещающего горные выработки, и способствуют развитию опасных деформационных и иных процессов.

Проведенные исследования на ряде месторождений позволили установить ряд закономерностей в системе дискретной структуры массивов горных пород: степень тектонической трещиноватости определяется положением их по отношению к тектоническим нарушениям; породы, испытавшие влияние тектонических нарушений, можно разделить на зоны дробления ($K_{з0} < 0,05$) и зоны сильнотрещиноватых пород ($K_{з0} = 0,05-0,20$); ширина выделенных зон является функцией размера нарушения, амплитуды его смещения и петрографического состава пород; в пределах тектонического блока сплошность пород нарушена трещинами, пространственная плотность которых меняется от малой (центр блока) до значительной (периферия). Определяющее влияние на условия развития горно-геологических процессов оказывают состав и свойства заполнителя трещин. Кварцевый, кварц-карбонатный заполнитель способствует укреплению массива, тогда как хлорит, тальк, серицит, кеммерерит, глина трения снижают устойчивость пород, особенно при увлажнении [1, 7, 8, 33]. Немаловажное значение при оценке геолого-структурного строения имеют и литогенетические поверхности ослабления. Велико значение пострудных разломов и в районах развития многолетнемерзлых пород (ММП), они являются проводниками тепла и зонами обводнения [10].

Примером может служить месторождение Софроновское, для которого установлены участки развития сквозных таликов, связанные с тектоническими нарушениями. На таких участках дебиты скважин составляют 1,80-2,25 м³/час.

Литолого-петрографические условия определяют расчленение горного массива на геологические тела. При изучении МПИ первостепенный интерес представляют вмещающие породы, так как они слагают вскрышу, откосы бортов карьеров и определяют устойчивость горных выработок. При этом особое внимание должно быть уделено минеральному составу, структурно-текстурным особенностям, вторичным постгенетическим изменениям, так как они определяют физико-механические свойства горного массива на разных масштабных уровнях [30, 31].

Мерзлотно-гидрогеологические условия. При строительстве горнодобывающих сооружений подземные воды влияют на изменение физико-механических свойств при дренаже, на активизацию горно-геологических процессов, определяют устойчивость горных пород в бортах карьеров и подземных выработках, усложняют условия производства и снижают уровень безопасности ведения горных работ. Обводнение рудных и нерудных месторождений обусловлено распространением трещинных, трещинно-карстовых и поровых вод. Выполненные исследования на месторождениях Светлинское, Воронцовское и ряде других показали, что до глубин 100-150 м, где тектоническая трещиноватость усиливается процессами выветривания, формируются трещинные воды. На больших глубинах трещиноватость уменьшается и с глубины 700-800 м породы практически безводны. В случае, когда скальные породы перекрыты дисперсными водообильными породами, водообильность месторождений достигает высокого уровня. Например, водоносный горизонт кор выветривания месторождения Светлинское характеризуется водопроницаемостью 15-115 м²/сут и через выветрелые кварцевые жилы и реликтовую трещиноватость гидравлически связан с трещинным и трещинно-карстовым водоносным горизонтом.

Наличие мерзлых пород повышает энергоемкость их разрушения в процессе разработки, создает своеобразный характер развития деформаций выработок, обеспечивает слабую устойчивость мерзлых и талых пород в зоне перехода в подмерзлотные горизонты, обуславливает специфические гидрогеологические условия и приводит к оттаиванию мерзлых пород [23].

Геодинамические условия. Базисной функцией горнодобывающего сооружения является кардинальное изменение параметров НДС в зонах его влияния на горный массив в процессе строительства и эксплуатации. Скорость изменения параметров НДС в горной выработке в сочетании с масштабными эффектами в массивах с неоднородной дискретной структурой и современным геодинамическим состоянием земной коры способствуют развитию многих неблагоприятных и опасных процессов на дневной поверхности и в подземном пространстве (мульды сдвижения, выбросы, вывалы, оползни, горные удары и др.).

Исследованиями ряда ученых (А.А. Скочинский, С.А. Авершин, В.Д. Слесарев, И.М. Петухов, О.Г. Латышев, М.В. Корнилков) показано, что горные удары возникают только при определенных геологических условиях,

проявляются в разных формах и на разных этапах развития горного производства. Например, в условиях СУБРа, Березовского золоторудного месторождения 70 % всех случаев горных ударов связано с разрывными тектоническими нарушениями. На Кочкарском руднике причинами горных ударов явились повышенные напряжения в целиках и значительная изрезанность массива горными выработками (Шампаров Г.Г.).

Геологические и горно-геологические процессы. При оценке устойчивости горнодобывающих сооружений большое значение имеют современные геологические процессы, однако наиболее значимы те, которые оказывают влияние на условия разработки и приводят к деформациям горных выработок, – это эрозия, выветривание, оползни, обвалы, карст, сейсмичность [3, 6, 9, 13].

В работе показано, что развитие оползней, промоин связано с открытой отработкой, в особенности в пределах глинистых кор выветривания. Образование камнепадов, вывалов крупных глыб, осыпей, контактных обрушений связано с наличием неблагоприятно ориентированных зон и поверхностей ослабления, что отмечалось на месторождении Центральное [20, 35].

Влияние карстово-суффозионных процессов, связанных с водопонижением, рассмотрено на примере месторождения Красная Шапочка, где в течение пяти лет образовалось более 426 новых карстово-суффозионных форм, что повлекло за собой образование 27 провалов.

При разработке МПИ, сосредоточенных в районах развития ММП, увеличивается глубина сезонного оттаивания и промерзания [25, 26], при этом значительно снижается прочность и несущая способность пород. Потеря прочности дунитов месторождения Центральное после вскрытия карьера составила 10 % за счет температурного и морозного выветривания.

Определенные в работе элементы ПТС, условия их функционирования, компоненты и параметры легли в основу типизации МПИ по сложности ИГУ их разработки (табл. 1). При определении схемы типизации сделаны следующие допущения: границей между породами скального и полускального типа принято значение $R_c=50$ МПа, так как углы наклона бортов карьера при глубине 200-300 м зависят только от элементов залегания поверхностей ослабления, характера и степени трещиноватости (Фисенко Г.Л., 1999). Граница $R_c=5$ МПа обоснована уровнем прочности – породы с меньшей прочностью обладают способностью к размоканию и подвергаются пластическим деформациям. Автором в работе показано, что 90 % уральских месторождений приурочены к массивам скальных пород с прочностью в образце более 50 МПа. В каждой обозначенной группе выделены три подгруппы: с простыми, средними и сложными условиями разработки [38].

Таблица 1

Типизация месторождений полезных ископаемых по сложности инженерно-геологических условий их разработки [39]

Группа месторождений	Прочность (в образце) и литологический тип пород	Подгруппы МПИ по сложности ИГУ их разработки		
		Простые (а)	Средней сложности (б)	Сложные (в)
1	2	3	4	5
1. Месторождения в скальных горных породах	Скальные прочные ($R_c > 50,0$ МПа)	<p>1а. Одноэтажное строение.</p> <p>Мощность древних кор выветривания не более 10 м.</p> <p>Тектоническая раздробленность массива незначительная. Преобладают классы слабо- и среднетрещиноватых пород ($M_T < 7$, $RQD > 20$, $l > 0,08$).</p> <p>Гидротермальные изменения проявлены слабо и не снижают прочность пород.</p>	<p>1б. Одно- или двухэтажное строение. Верхний этаж – переслаивание дисперсных пород различного состава либо мерзлые породы с льдистостью менее 40 %. Нижний этаж – скальные породы.</p> <p>Мощность кор выветривания, развитых по всей площади месторождения, от первых десятков до сотен метров.</p> <p>Вмещающие породы и руды сложнодислоцированы, развиты тектонические нарушения. Преобладают классы средне- и сильнотрещиноватых пород ($M_T = 7-15$, $RQD = 5-20$, $l = 0,05-0,08$, $K_{зд.} = 0,05-0,30$).</p> <p>Гидротермальные изменения приводят к снижению прочности.</p>	<p>1в. Двухэтажное строение. Верхний этаж – мощные толщи обводненных пород различного состава либо мерзлые породы с льдистостью более 40 %. Нижний этаж – скальные породы.</p> <p>Мощность кор выветривания, развитых по всей площади месторождения, от первых десятков до сотен метров.</p> <p>Вмещающие породы и руды сложнодислоцированы, развиты тектонические нарушения. Преобладают классы сильнотрещиноватых и раздробленных пород ($M_T < 7$, $RQD < 20$, $l < 0,08$, $K_{зд.} > 0,30$).</p> <p>Гидротермальные изменения приводят к значительному снижению прочности.</p>

1	2	3	4	5
1. Месторождения в скальных горных породах		<p>Закарстованность пород отсутствует.</p> <p>Породы талые или морозные, либо мерзлые с $t < (-3) ^\circ\text{C}$, лед в виде тонких прожилков.</p> <p>Обводненность незначительная.</p> <p>Отсутствует.</p> <p>Глубина залегания рудных тел не превышает 100 м.</p>	<p>Массив пород закарстован. Встречаются поверхностные и подземные формы карста. Карстовый заполнитель – несвязные дисперсные породы. Коэффициент закарстованности менее 20 %.</p> <p>Скальные породы мерзлые или морозные с $t > (-3) ^\circ\text{C}$. Лед в виде тонких прожилков. Дисперсные породы мерзлые с льдистостью <40 %. Включения льда в виде тонких прослоев не более нескольких сантиметров. Мощность мерзлых толщ < 250 м, с редкими слабообводненными и несквозными таликами. СТС и СМС – увлажнены.</p> <p>Участки повышенной трещиноватости характеризуются повышенной обводненностью. Суммарный приток воды 50-150 м³/час.</p> <p>Отсутствует или проявлено слабо.</p> <p>Глубина залегания рудных тел для открытой отработки – 250 м, для подземной – до 700 м.</p>	<p>Массив пород закарстован. Встречаются поверхностные и подземные формы карста. Отмечается неоднородность в степени закарстованности. Коэффициент закарстованности меняется от 20 до 50 %.</p> <p>Скальные породы мерзлые или морозные с $t > (-3) ^\circ\text{C}$. Лед в виде тонких прожилков по трещинам. Дисперсные породы с льдистостью более 40 %. Прослойки льда достигают нескольких десятков сантиметров (20-50 см). Мощность мерзлых толщ > 250 м с несквозными и сквозными таликами. СТС и СМС – увлажнены.</p> <p>Обводненность пород высокая. Суммарный приток воды > 150 м³/час.</p> <p>Характерно повышенное НДС.</p> <p>Глубина залегания рудных тел для открытой отработки > 250 м, для подземной – > 700 м.</p>

1	2	3	4	5
Примеры		Новогоднее-2	Центральное, Западное, Енгайское, Новогоднее-Монто, Петропавловское, Эльконское, Верхне-Алиинское	Светлинское, Воронцовское, Софроновское
2. Месторождения в полускальных горных породах	Средней прочности. Полускальные ($R_c < 5-50$ МПа)	2а. То же, что и 1а	2б. То же, что и 1б	2в. То же, что и 1в. Глубина отработки больше 250 м.
Примеры		Ново-Михайловское	Войшорское	Саурейское, Кабан-1
3. Месторождения в дисперсных горных породах	Слабые дисперсные (песчаные и гравийные или глинистые), их переслаивание.	3а Необводненные, несвязные или связные твердой консистенции, мерзлые, слабодистые ($L < 40$ %), низкотемпературные $t < (-3) ^\circ\text{C}$. Залегают на небольших глубинах (выше местного базиса эрозии).	3б Обводненные несвязные и связные. Связные тугопластичной консистенции. Сложные гидрогеологические условия. Мерзлые льдистые породы $L > 40$ %, лед в виде текстурообразующего.	3в Обводненные несвязные и связные породы большой мощности. Сложные гидрогеологические условия (переменяемость слоев водоносных и водоупорных). Породы обладают особо неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами или условиями залегания (частое фациальное переслаивание, наличие пород с текучей консистенцией). Мерзлые высокольдистые породы $L > 60$ %, лед текстурообразующий. Отмечаются залежи пластовых и жильных льдов.
Примеры		Пунгью	Буткинское	–

Примечания. M_T – модуль трещиноватости пород, д.ед.; RQD – показатель качества пород, %; l – размер элементарного структурного блока, см; $K_{зд}$ – коэффициент зон дробления, д.ед.

Предложенная дифференциация месторождений в рассматриваемых регионах является основой оценки сложности ИГУ, позволяющей определить оптимальный объем и рациональные схемы инженерно-геологических работ на разных стадиях изучения и разработки МТПИ. В отличие от известной схемы типизации (ВСЕГИНГЕО) предложенная схема дифференциации основана на количественных параметрах.

***Второе защищаемое положение.** Изучение и оценка ИГУ МПИ в скальных массивах основываются на анализе базы данных, последовательно формируемой по материалам полевых и лабораторно-камеральных исследований МПИ на разных стадиях геологоразведочных работ и освоения месторождений с учетом способов и схем их разработки (глава 3).*

Оптимальность и самодостаточность процессов формирования модели ПТС МПИ достигаются в том случае, если эти процессы синхронизированы с геологоразведочными работами на всех этапах поисков, разведки и разработки месторождения. Соответственно, задачи и методы исследований ИГУ МПИ необходимо согласовать с целью и стадией геологоразведочных работ, а содержание, объем, точность и вероятностные оценки полученных данных об ИГУ должны быть минимально необходимыми и достаточными для решения задач на каждой стадии исследования [2, 3, 4].

Проблема оптимизации инженерно-геологических исследований МПИ зависит не только от геологических факторов, но и от условий строительства и эксплуатации горнодобывающего сооружения [10, 19].

Выбор принципиальных методических приемов и способов, совокупность которых позволит спроектировать и осуществить рациональный комплекс полевых, лабораторных и камеральных исследований ИГУ конкретного МПИ, определяется необходимостью достижения двух главных целей: 1) *изучение ИГУ* на основе специальных полевых геолого-геофизических исследований и целенаправленной обработки всей известной информационной базы геолого-геофизических данных; 2) *оценка прогнозных параметров развития инженерно-геологических условий и процессов* на стадиях поисков, оценки, разведки и разработки МПИ.

Уровень первой цели регламентируется соответствующими нормативными документами, но требует индивидуальной постановки некоторых нетривиальных задач по оптимизации средств и методов создания необходимой информационной основы для конкретного месторождения. Вторая цель не может быть обеспечена нормативными документами, так как возникает необходимость решения аналитических задач прогнозного типа. Названные обстоятельства требуют рассматривать в целом проблему оценки параметров устойчивости горного массива как научно-технический проект. Такой проект должен базироваться на обоснованной модели ПТС МПИ, этапы разработки которой последовательно решают задачи оценки параметров ИГУ в начальных границах месторождения, далее с учетом границ области взаимодействия сооружения с геологической средой непрерывно уточняются в процессах

строительства и эксплуатации всей горнорудной инфраструктуры. Именно в таком аспекте и рассматривается проблема оптимизации методики исследования ИГУ.

Основные задачи инженерно-геологических исследований на разных стадиях разведки и разработки МПИ приведены в табл. 2. Необходимо отметить, что роль инженерно-геологической информации возрастает от стадии к стадии. Если на поисковой и оценочной стадиях изучения МПИ ИГУ имеют вспомогательное значение, здесь более важным является предварительная оценка промышленной ценности МПИ, то на стадиях разведки и эксплуатации эта информация становится фактором, определяющим характеристики ПТС, условия строительства сооружений и разработки месторождения.

В целом схема решения всех названных задач в работе представлена в виде, показанном на рис. 3, и далее рассмотрены методы получения информации об ИГУ в соответствии с этапами оценки и разработки моделей прогноза их изменчивости в процессах строительства и разработки МПИ.

В работе определены границы изучения ИГУ (область взаимодействия в системе «массив горных пород – горнодобывающее сооружение»). На оценочной стадии изучение ИГУ проводится в границах оценочных геологоразведочных работ и прилегающей территории с учетом развития геологических процессов.

На разведочной стадии при выборе границ необходимо учитывать способ разработки, форму и размеры депрессионной воронки, размеры и параметры мульды сдвижения, призмы возможного обрушения, границы влияния буровзрывных работ. В работе изложены научно-методические основы получения информации при изучении ИГУ МПИ, которые позволяют выполнить оценку и прогноз их изменения. Весь предлагаемый комплекс методов разделен на полевые, лабораторные исследования и методы накопления, оперирования, обработки и интерпретации всей информации. К полевым методам отнесены: 1) инженерно-геологическая съемка, масштабность которой определяется степенью сложности МПИ по ИГУ их разработки, степенью изученности и стадией проведения работ [26, 29]; 2) бурение, инженерно-геологическая документация скважин, применительно к различным классам горных пород; 3) инженерно-геологическое опробование; 4) полевые методы изучения физико-механических свойств горных пород; 5) геофизические методы.

На уровне сбора, накопления, обработки и анализа инженерно-геологической информации разработана база данных, имеющая трехзвенную структуру (рис. 4) [34].

Первым звеном является *фактографическая база данных*, создаваемая на основе формализации информации о компонентах ПТС МПИ из многих источников (данные инженерно-геологической съемки, бурения, геофизические наблюдения). Вся информация оформляется и структурируется по фиксированным форматам табличного редактора «Excel».

Таблица 2

**Основные задачи инженерно-геологических исследований МПИ
по стадиям геологоразведочных работ**

Стадии геологического изучения	Задачи геологоразведочных работ	Задачи инженерно-геологических исследований
I. Поисковые работы	Выявление месторождения полезных ископаемых	1. Получение информации об ИГУ на информационной основе поисковых геолого-геофизических работ. 2. Разработка фоновой модели ПТС.
II. Оценочные работы	1. Предварительная оценка промышленной ценности МПИ. 2. Обоснование временных кондиций и целесообразности передачи МПИ на разведку и освоение. 3. Составление ТЭО и пакета геологической информации для проведения конкурса на представление лицензии.	1. Получение инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических данных на основе специализированных полевых и аналитических исследований, необходимых и достаточных для предварительной оценки ценности МПИ. 2. Разработка оценочной модели ПТС.
III. Разведка месторождения	1. Детальная экономическая оценка промышленной ценности МПИ. 2. Обоснование постоянных разведочных кондиций. 3. Подсчет запасов полезных ископаемых.	1. Определение основных компонент и параметров инженерно-геологической модели ПТС и оценка уровня сложности условий разработки. 2. Разработка базовой модели ПТС и вариантов моделей развития ИГУ при вскрытии месторождения.
IV. Эксплуатационная разведка	Обеспечение нормальных условий деятельности горнорудного предприятия	1. Обоснование мероприятий, обеспечивающих устойчивость сооружения. Организация системы мониторинга. 2. Получение дополнительной инженерно-геологической информации, необходимой для уточнения прогнозов и разработки мероприятий, обеспечивающих оптимизацию процессов разработки месторождения и охраны геологической среды. 3. Организация постоянно действующей модели ПТС с оперативным прогнозом развития ИГУ и устойчивости горного массива.

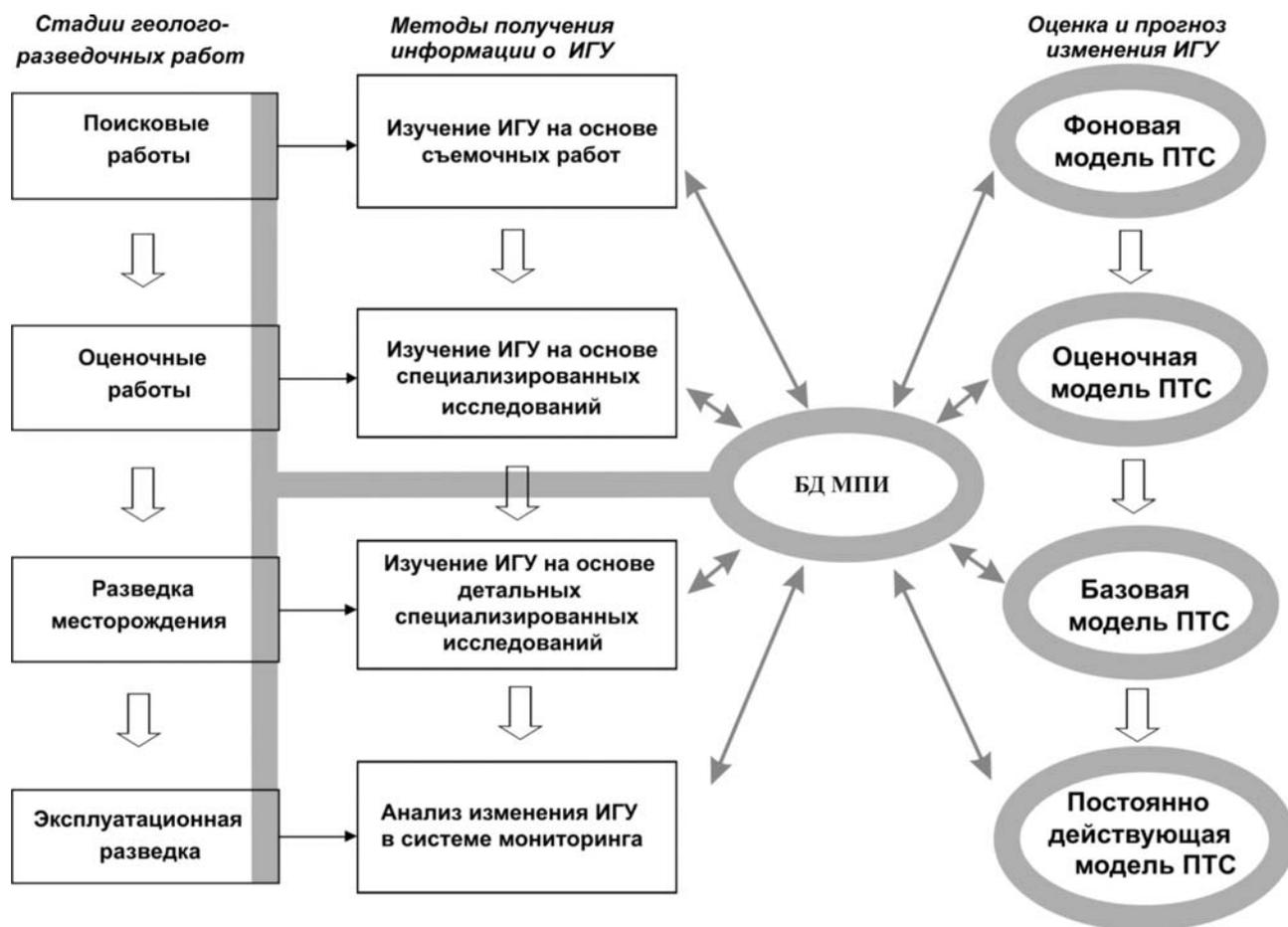


Рис. 3. Схема изучения ИГУ и этапов разработки модели ПТС МПИ по стадиям геологоразведочных работ:

ИГУ – инженерно-геологические условия; БД МПИ – база данных месторождений полезных ископаемых; ПТС – природно-техническая система

Вторым звеном служит *концептуально-фактографическая база* данных, отвечающая за хранение результатов аналитических исследований.

Третье звено – *картографическая и атрибутивная база данных*, которая формируется экспортом информационных единиц с концептуально-фактографического уровня в структуры пространственных данных ГИС ArcGIS.

Оптимальный состав методов получения информации определяется стадией изучения МПИ (табл. 3). В количественном отношении необходимый объем различных видов исследований (включая число инженерно-геологических скважин) выбирается исходя из особенностей группы месторождений, подгруппы (сложности ИГУ), границ изучения и детальности расчленения разреза на геологические тела (Г.К. Бондарик, 1986).



Рис. 4. Функциональная схема постоянно действующей инженерно-геологической модели ИГУ МПИ

Таблица 3

Комплекс исследований инженерно-геологических условий для МПИ в скальных массивах

Стадия изучения	Границы изучения	Комплекс исследований ИГУ МПИ		Выделение геологических тел. Степень однородности
		в талых массивах	в массивах ММП	
1	2	3	4	5
Поисковая	Совпадают с границами поисковых геологоразведочных работ	1. Инженерно-геологическая интерпретация геологических и геофизических работ 2. Дешифрирование аэро- и космоснимков с выделением ландшафтов. 3. Инженерно-геологическая съемка масштаба 1:200000 – 1:50000. 4. Инженерно-геологическая документация и опробование отдельных картировочных выработок. 5. Полевые методы определения классификационных показателей физико-механических свойств (R_c, f_k, C, φ). 6. Лабораторные определения классификационных показателей.		Стратиграфо-генетический комплекс) генетическая, возрастания, однородность
		1. Инженерно-геологическая съемка масштаба 1:25000 – 1:50000	1. Инженерно-геокриологическая съемка масштаба 1:25000 - 1:50000 и дешифрирование космо-авиационных тепловизионных снимков	
Оценочная	Проводится в границах оценочных работ и прилегающей территории с учетом развития ЭГП, мерзлотных и гидрогеологических условий, оказывающих влияние на ИГУ освоения месторождения	2. Бурение, инженерно-геологическая документация опорных инженерно-геологических скважин. 3. Опробование керна скважин. 4. Полевые методы определения классификационных показателей (R_c, f_k, C, φ). 5. Лабораторные определения и вычисление средних значений показателей свойств для характеристики МГТ-1; МГТ-2.		МГТ-1 – парагенетическая однородность. МГТ-2 – классификационная однородность
		–	6. Режимные термометрические измерения в скважинах и горноразведочных выработках на участках, выделенных на стадии поисков; 7. Специальные геофизические площадные исследования.	
		–	–	

1	2	3	4	5
Разведка	<p>Проводится в границах разведваемой части открытый способ – граница должна быть удалена за контур нижней границы отработки промышленных запасов на расстояние $L=Hctg \alpha+b$. Глубина изучения определяется глубиной залегания полезного ископаемого.</p> <p>При горизонтальном или пологом залегании рудных тел глубина скважин должна на 10 м превышать глубину залегания подошвы рудного тела.</p> <p>При наклонном залегании подошвы рудного тела глубина определяется размерами призмы возможного обрушения. При подземном способе разработки определяются величинами углов сдвижения пород над выработанным пространством</p>	<p>1. Бурение специальных инженерно-геологических и термометрических скважин.</p> <p>2. Инженерно-геологическая документация геологоразведочных и специальных инженерно-геологических скважин по опорным профилям и на участках, сложенных в инженерно-геологическом отношении.</p> <p>3. Инженерно-геологическое опробование керна скважин.</p> <p>4. Лабораторные определения и вычисления расчетных показателей физико-механических свойств для характеристики МГТ-3.</p> <p>–</p>	<p>5. Режимные термометрические измерения в скважинах.</p> <p>6. Специальные геофизические исследования в скважинах.</p>	МГТ-3 статистическая однородность
Эксплуатационная разведка	<p>Проблемные участки (призма возможного обрушения, зона развития инженерно-геологических процессов, участки изменения НДС, мульды сдвижения)</p>	<p>1. Стационарные систематические наблюдения за деформациями откосов.</p> <p>2. Детальное изучение в забоях условий залегания горных пород, тектонических нарушений.</p> <p>3. Оперативный прогноз устойчивости на основе геофизических исследований.</p> <p>4. Изучение характера, степени трещиноватости и выветрелости пород.</p>		МГТ-3 статистическая однородность

Примечание: МГТ – монопородное геологическое тело первого, второго и третьего уровней; R_c – предел прочности на одноосное сжатие; f_k – коэффициент крепости; C – удельное сцепление; φ – угол внутреннего трения.

Третье защищаемое положение. Дифференциация месторождений Урала и Восточной Сибири по сложности инженерно-геологических условий их разработки базируется на научно обоснованном подходе к выбору набора компонентов, определяющих их ИГУ (глава 4).

В регионах Урала и Сибири открыто более 500 месторождений, рудопроявлений и проявлений минерализации различного минерального сырья, инженерно-геологические особенности которых определяют корректную методику их оценки и прогноза. Автором изучены особенности состояния и свойств массива горных пород МПИ на ряде месторождений Урала и Сибири и опубликованы в работах [4, 5, 6, 39]. Региональные и локальные факторы обуславливают формирование инженерно-геологических особенностей МПИ. В каждом регионе есть ряд компонентов (факторов), являющихся основными. Так, например, 90 % месторождений Урала приурочены к массивам скальных горных пород различного генезиса (магматическим, метаморфическим, осадочным). Для таких массивов характерны значения предела прочности на одноосное сжатие более 50 МПа. Часто породы изменены процессами метасоматоза и метаморфизма, что приводит к ухудшению их прочностных характеристик [39]. Одним из главных компонентов, определяющих особенности состояния и свойств массивов горных пород таких месторождений является их тектоническая нарушенность, обуславливающая дискретность массива пород, наличие зон и поверхностей ослабления различной мощности, степень и характер дробления. Наличие тектонических нарушений способствует формированию кор выветривания, достигающих 400 и более метров. Преобразование пород в процессе выветривания и образование мощных кор с вертикальной зональностью формируют еще одну особенность МПИ в скальных массивах. Присутствие в массивах МПИ осадочных пород, способных к растворению, определяет следующую особенность – закарстованность. При этом отмечаются четко установленные закономерности: увеличение степени и характера закарстованности в тектонически ослабленных зонах, на участках малой мощности покровных отложений и контрастных геологических границ; уменьшение закарстованности по мере удаления от тектонических нарушений и зон с увеличением глубины изучения [2]. Инженерно-геологические особенности МПИ, приуроченных к массивам ММП, определяются характером распространения, мощностью, составом, строением и температурой пород. Для мерзлых дисперсных пород МПИ Полярного Урала установлены следующие закономерности: величина льдистости определяется минеральным и гранулометрическим составом пород коры выветривания; «мягкие» значения температур пород 0 – (-1) °С обусловлены историей геологического развития; мощность, неоднородность распространения ММП – типом и характером тектонических нарушений. Массивы скальных пород проморожены, имеют отрицательную температуру (-1) – (-2) °С, не имеют в своем составе льда и относятся к категории морозных.

На основании установленных особенностей массивов горных пород МПИ, закономерностях их пространственной изменчивости выполнена типизация МПИ по сложности ИГУ их разработки (табл. 4). Для группы месторождений в скальных горных породах выделено три подгруппы. К месторождениям со сложными ИГУ (группа 1в) отнесены: золоторудные – Светлинское (Южный Урал), Воронцовское (Северный Урал); фосфоритовое – Софроновское (Полярный Урал); средней сложности (группа 1б): золоторудные – Петропавловское, Новогоднее-Монто (Полярный Урал), Верхне-Алиинское (Восточная Сибирь); урановое – Элькон (Восточная Сибирь); хромитовые – Центральное, Западное, Енгайское (Полярный Урал); с простыми условиями (группа 1а): строительного камня – Новогоднее-2 (Полярный Урал).

ИГУ МПИ со сложными условиями отработки (1в) характеризуются более широким спектром компонентов, а также силой проявления параметров, их характеризующих. Месторождения группы 1в имеют двухэтажное строение.

Верхний этаж представлен площадными и линейными корами выветривания с мощностью до 400 м и более, в вертикальном разрезе которых выделены зоны, отличающиеся по минеральному составу, физическому состоянию и физико-механическим свойствам. Вертикальный профиль включает зоны: обломочную, литомаржа, дисперсную, вторичной цементации.

Нижний этаж сложен скальными породами разных прочностных категорий, часто измененных гидротермальными процессами, в результате которых отмечается ухудшение прочности пород.

В формировании ИГУ таких месторождений ведущая роль принадлежит тектоническим процессам, которые обуславливают наличие зон и поверхностей ослабления, фиксируемых высокими значениями модуля трещиноватости (более 20 тр/м), низкими значениями показателя качества (менее 20 %), коэффициента зон дробления более 0,3, наличием трещинного заполнителя (хлорит, глина трения), ослабляющего прочность массива пород [7]. В массиве растворимых пород зафиксированы поверхностные (воронки) и подземные (поры и каверны растворения, каналы и лотки) формы карста. Коэффициент закарстованности меняется от 20 до 50 %.

ИГУ МПИ зоны ММП характеризуются таликовыми зонами, образованными за счет тепловых потоков, идущих по тектоническим нарушениям, величиной льдистости, которая составляет 40 % и более, что определяет степень просадочности пород. Температуры пород изменяются от 0 – (-1) °С, мерзлые породы прерываются.

ИГУ месторождений с условиями разработки средней сложности (группа 1б). Месторождения этой группы характеризуются следующими особенностями: имеют одно- или двухэтажное строение. Основными параметрами ИГУ, определяющими оценку, прогноз и условия разработки, являются степень и характер трещиноватости.

Таблица 4

Характеристика месторождений полезных ископаемых Урала и Сибири по сложности ИГУ их разработки

Группа, подгруппа по сложности ИГУ	Месторождение (тип полезного ископаемого)	Условия отработки (глубина отработки, м)	Этажность строения	Петрографический состав пород	Характер гидротермальных изменений	Тип коры выветривания (мощность, м)	Характер и степень трещиноватости	Характер и степень закарстованности, напряженно-деформированное состояние	Геокриологические условия	Гидрогеологические условия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1а	Полярный Урал. Новогоднее-2 (строительный камень)	Открытая (100)	Одноэтажное	Осадочно-вулканогенные; интрузивные: диориты	Альбитизация, калишпатизация, эпидотизация	Площадная, дресвяно-щебенистая (2-5 м)	Слабо-, среднетрещиноватые ($M_T < 7$, $RQD > 20\%$, $l = 0,08$)	Отсутствует	Морозные, $t < (-3)^\circ\text{C}$, текстурообразующий и жильный лед отсутствует	Водоносный горизонт сезонно-талого слоя
1б	Полярный Урал. Новогоднее-Монто, Петропавловское (золоторудные)	Открытая (200)	Одноэтажное	Вулканогенные; интрузивные: долеритовые порфириды, лампрофиры, монцодиоритовые порфириды, диориты; метасоматически измененные	Скарнирование, пропицитизация, березитизация, лиственизация, альбитизация, калишпатизация, эпидотизация	Площадная, дресвяно-щебенистая	Слаботрещиноватые составляют 20%, среднетрещиноватые - 45%, сильнотрещиноватые - 25% ($l = 0,06-0,1$, $K_{зд} = 0,1-0,2$)	Отсутствует	Морозные с $t < (-3)^\circ\text{C}$, текстурообразующий и жильный лед отсутствует	1) водоносный горизонт зоны тектонических нарушений; 2) водоносный горизонт сезонно-талого слоя
1б	Полярный Урал. Центральное, Западное, Енгайское (хромитовые)	Открытая (160); подземная	Одноэтажное	Интрузивные; метасоматически измененные; жильные: диабазы; хромиты	Сerpентинизация, оталькование, амфиболитизация	Отсутствует	Слаботрещиноватые составляют 48%, среднетрещиноватые - 27%, сильнотрещиноватые - 3% ($l = 0,07-0,09$, $K_{зд} = 0,02-0,03$)	Отсутствует	Морозные, $t < (-3)^\circ\text{C}$, текстурообразующий и жильный лед отсутствует	Водоносный горизонт сезонно-талого слоя
1б	Восточная Сибирь. Верхне-Алиинское (золоторудное)	Подземная (150)	Двухэтажное	Нижний этаж - интрузивные (магматические). Верхний этаж - коры выветривания	Окварцевание	Площадная, линейная (7-57 м). Профиль коры выветривания: дисперсная зона; обломочная зона; трещинная	Слаботрещиноватые составляют 0-4%, среднетрещиноватые - 35-84%, сильнотрещиноватые - 5-53% ($l = 0,05-0,09$, $K_{зд} = 0,07-0,2$)	Отсутствует	Отсутствует	Водоносный горизонт аллювиальных отложений четвертичного возраста; локально водоносный элювиально-делювиальный; водоносный комплекс элювиальных отложений коры выветривания; водоносный комплекс метаморфических образований; водоносный комплекс интрузивных образований; водоносный комплекс тектонических нарушений и интрузивных контактов
1б	Восточная Сибирь. Элькон (урановое)	Подземная (600)	Одноэтажное	Интрузивные (магматические); метаморфические	Окварцевание	Отсутствует	Слаботрещиноватые составляют 54%, среднетрещиноватые - 36%, сильнотрещиноватые - 8% ($l > 0,09$, $K_{зд} = 0,05-0,1$)	Повышенное НДС	Морозные, $t < (-3)^\circ\text{C}$, текстурообразующий и жильный лед отсутствует, распространение ММП прерывистое	Водоносный горизонт сезонно-талого слоя; водоносный горизонт аллювиальных отложений; водоносный горизонт трещинных и трещинно-жильных вод

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1в	Южный и Северный Урал. Светлинское, Воронцовское (золоторудные)	Открытая (250)	Двухэтажное	Нижний этаж - метавулканогенно-метатерригенная толща. Верхний этаж - коры выветривания	Лиственитизация, березитизация, биотитизация, окварцевание, аргиллизация, тремолитизация, карбонатизация, хлоритизация	Линейная, площадная до 400 м. Вертикальная зональность: дисперсная, литомаржа, обломочная, вторичной цементации	Слаботрещиноватые составляют 10 %, среднетрещиноватые - 30 %, сильнотрещиноватые - 35 % ($l=0,05-0,08$, $K_{зд.}=0,35$)	Отмечаются поверхностные и подземные формы карста ($Kз>28\%$)	Отсутствует	Водоносный комплекс коры выветривания; водоносный комплекс зон трещиноватости; трещинно-карстовый водоносный горизонт
1в	Полярный Урал. Софроновское (фосфоритовое)	Открытая (250)	Двухэтажное	Нижний этаж - карбонатно-терригенная толща. Верхний этаж - коры выветривания	-	Линейная (до 150 м). Вертикальная зональность: вторичной цементации (структурный боксит и кираса), дисперсная (глинистая, латеритная)	Слаботрещиноватые составляют 5 %, среднетрещиноватые - 40 %, сильнотрещиноватые - 45 % ($l=0,07-0,09$, $K_{зд.}=0,4$)	Отмечаются поверхностные и подземные формы карста ($Kз=4-26\%$)	Мерзлые породы коры выветривания с $t 0 - (-1) ^\circ C$, $Л=0,25-0,4$, морозные и талые - скальные	Водоносный горизонт сезонно-талого слоя; водоносный горизонт тектонических нарушений

Для всех рассмотренных месторождений характерно преобладание слабо- и сильнотрещиноватых пород, зоны дробления имеют подчиненное значение, малую мощность и приурочены лишь к тектоническим нарушениям, влияние которых сказывается на расстояниях от 250 до 300 м (месторождения Петропавловское, Центральное) [37]. В области ММП массивы пород месторождений заморожены, имеют отрицательную температуру (-1) – (-2) °С, но породы относятся к категориям морозных [36].

ИГУ месторождений с простыми условиями разработки (1а) характеризуются одноэтажным строением. Трещиноватость массива средняя и лишь в верхней части с глубиной степень трещиноватости уменьшается, закарстованность пород либо отсутствует, либо ею можно пренебречь.

Четвертое защищаемое положение. *Прогноз изменения ИГУ и оценка интегральных параметров устойчивости горного массива на стадиях разведки, строительства и эксплуатации горнодобывающих сооружений с достаточной надежностью могут быть выполнены методами аналогий, аналитическим, численного моделирования и прогнозного инженерно-геологического районирования (глава 5).*

Логическим завершением инженерно-геологических исследований МПИ в скальных массивах является оценка и прогноз развития ИГУ в процессе их разработки. Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили определить следующую схему процесса прогнозирования: 1) составление фоновой модели, определение цели прогноза с учетом стадии изучения и способа промышленного освоения МПИ; 2) получение оценочной модели, изучение и оценка компонентов, характеризующих ОВ ПТС, отбор значимых компонентов, установление закономерностей их пространственной изменчивости, выявление эмерджентных свойств ПТС; 3) создание базовой модели ПТС, выбор метода прогнозирования, установление аналитическими, специальными или другими методами связей между базовой моделью, характером и интенсивностью воздействия на ее параметры процессами строительства горнодобывающих сооружений, оценка изменения состава, строения, свойств и состояния компонент ОВ и ее реакцией на горные работы; 4) оценка достоверности конечного прогноза на основе сравнительного анализа результатов применения различных методов прогнозирования, формирование постоянно действующей модели; 5) разработка рекомендаций для оптимизации принимаемых решений [2, 5].

Учитывая названную последовательность, необходимо отметить, что формирование прогнозных моделей ИГУ целесообразно реализовывать применительно к конкретным вариантам (схемам) разработки на всех стадиях изучения, строительства и эксплуатации МПИ. Это обусловлено тем, что между прогнозом и выбором вариантов существует связь: уточнение ИГУ сужает число вариантов систем и технологии разработки, одновременно корректируя прогноз. Взаимосвязь процессов прогнозирования с геологоразведочными и горными работами определяет содержательность и объем информации,

которую необходимо получить при инженерно-геологическом изучении МПИ. Эта информация будет отличаться по объему, объективности и достоверности в зависимости от стадии освоения месторождения (табл. 5).

Таблица 5

Особенности прогнозирования ИГУ на разных стадиях изучения
и освоения ПТС [39]

Стадии прогнозирования	Характер прогнозирования	Методы прогноза
Поисковая и оценочная	Исходные инженерно-геологические данные для укрупненной проработки технологических решений при составлении проекта временных кондиций	Аналогий, учета и оценки условий факторов, прогнозного инженерно-геологического районирования
Разведка	Предварительный прогноз инженерно-геологических процессов и явлений в массиве горных пород. Расчет устойчивости конструктивных особенностей горных выработок. Выработка рекомендаций для проектирования горнорудного предприятия	Аналогий, прогнозного инженерно-геологического районирования на базе комплексной количественной оценки компонентов, аналитические
Строительство горного предприятия	Оценка достоверности предварительного прогноза инженерно-геологических особенностей вскрытия месторождения. Уточнение проектных решений. Прогноз ИГУ эксплуатации месторождений. Выработка рекомендаций для оптимизации принимаемых решений	Численного моделирования, аналитические, натурно-экспериментальные
Эксплуатационная разведка	Уточнение инженерно-геологических особенностей эксплуатации месторождения для обоснования (или корректировки) оперативных технических решений	Натурно-экспериментальные, аналитические, численного моделирования

К существующим методам прогноза относятся: сравнительно-геологический (метод аналогий), учета и оценки условий и факторов, расчетные (аналитические и графоаналитические), численного моделирования и прогнозного инженерно-геологического районирования на базе комплексной количественной оценки компонентов. Часть из них нашли отражение в работах Г.Г. Скворцова (1966, 1969, 1970, 1972, 1975 гг.), В.В. Фромма (1970, 1973, 1974, 1975, 1976, 1985 гг.), П.И. Панюкова (1978 г.), Г.А. Голодковской (1968, 1970, 1975, 1977, 1983, 1987 гг.), Б.В. Смирнова (1969, 1972, 1973, 1975, 1976, 1983 гг.), В.В. Пендина (1980, 1982, 1987, 1991, 1992, 2009 гг.), Г.К. Бондарика (1968, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1982, 1986, 2007, 2009 гг.), Г.Л. Фисенко (1965, 1971, 1976, 1998 гг.). В настоящей работе рассмотрены те, которые

разработаны применительно к стадиям освоения МПИ в зависимости от решения конкретных задач.

Поисковая и оценочная стадии проектирования. Применительно к данным стадиям исследований используются сравнительно-геологический (метод аналогий) и метод учета и оценки условий и факторов. Основу метода аналогий составляет принцип унаследованности (А.А. Каган, 1984). Точность прогноза по методу аналогий определяется степенью сходности условий изучаемого объекта и аналога. При строительстве и эксплуатации горнодобывающих предприятий в сложных ИГУ трудно подобрать аналоги, размещенные вблизи месторождения. Их следует искать в однотипных геотектонических областях, находящихся иногда на значительном удалении от изучаемого объекта (Л.Б. Розовский, 1980).

Обоснованность выводов прогноза зависит от количества и значимости выбранных критериев. Предлагаемые критерии должны обеспечить успешное решение задачи по оценке поведения геологической среды при использовании той или иной технологии отработки. Критерии могут быть качественными (геолого-структурная позиция, тип оруденения, петрографический состав пород, характер изменения пород метасоматическими процессами, тектоническая обстановка) и количественными (модуль трещиноватости, размер среднего элементарного структурного блока, физико-механические свойства, способ вскрытия и размеры горнодобывающего сооружения, критерии оползнеобразования, промоинообразования, напряженного состояния, вывалообразования).

Метод аналогий, учета и оценки условий и факторов был реализован на всех рассматриваемых нами месторождениях. Для золоторудных месторождений, например Светлинского и Воронцовского, в качестве аналога было выбрано Астафьевское месторождение [4]. Аналогия была доказана на основе качественного сопоставления геологических и инженерно-геологических условий аналогов изучаемых месторождений, критериев однозначности (оползни и промоинообразования), а также балльной оценки. Результаты сопоставления доказали правомерность выбора модели аналога и возможность перенесения и использования полученной информации для прогноза условий строительства и эксплуатации МПИ.

Стадия разведки. Оценка и прогноз ИГУ разработки МПИ на стадии разведки, как правило, проводятся на основе содержательного анализа и качественного прогноза взаимодействия горнодобывающего предприятия с геологической средой. Синтезированная оценка основных характеристик устойчивости базируется на «Геомеханических классификациях массивов пород» (Н.С. Булычев, Э. Бениавски, Н. Бартон и др.). Основу таких классификаций составляет система частных классификаций по основным инженерно-геологическим, гидрогеологическим и горнотехническим параметрам, ранжированным по влиянию на условия воздействия в скальных массивах.

Составной частью геомеханических классификаций являются эмпирические зависимости, связывающие интегральную оценку параметров устойчивости и прогнозируемые расчетные величины. Практическое применение указанных методов на месторождениях Урала и Сибири показало необходимость уточнения и расширения спектра учитываемых количественных показателей, в том числе коэффициента зон дробления, размера элементарного структурного блока, коэффициента закарстованности. Кроме того, увеличение глубин разработки и переход к широкому освоению месторождений в сложных ИГУ при их интенсивной обводненности, закарстованности или наличии ММП ставит задачу прогноза на основе комплексной количественной оценки, учитывающей влияние локальных факторов на сложность условий объекта в целом [5]. Полученные прогнозные инженерно-геологические карты с использованием интегрального показателя [10] позволяют принимать более достоверные и экономичные проектные решения. Прогноз изменения ИГУ на базе интегрального показателя, полученного на основе комплексной количественной оценки, был выполнен для одиннадцати рассматриваемых месторождений. Полученное поле интегрального показателя отражает геологическую обстановку и закономерности пространственной изменчивости параметров ИГУ, установленных на основе пошагового регрессионного анализа. Следовательно, поле интегрального показателя адекватно структуре поля сложности ИГУ, а величина интегрального показателя является критерием ее оценки. По установленной графическим способом зависимости между углом наклона откосов бортов карьера (полученного экспериментальным путем) и интегральным показателем определяются граничные значения участков с разной степенью устойчивости. Заключительным этапом оценки ИГУ является выполнение специального инженерно-геологического районирования и построение на его основе разреза (карты). Выполненное районирование позволяет в целом сформировать модель месторождения на базе комплекса методов, что для МПИ с ИГУ средней сложности и сложными является основой для корректной оценки устойчивости горнодобывающих сооружений, степени и масштабности развития горно-геологических процессов, определения объема вскрыши, очередности процессов разработки и другие оптимальные и экономически выгодные решения (табл. 6, рис. 5).

Аналитические методы, используемые для оценки устойчивости механических моделей и расчетных схем, обеспечивают получение детерминированных решений, но анализ устойчивости с точным учетом всех свойств массива пород на основе этих методов является принципиально невозможным, поэтому эти методы являются необходимым дополнением вышеперечисленных.

Производство горных работ сопровождается нарушением начального напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов горных пород.

Таблица 6

Модель инженерно-геологических условий месторождений
(на примере Светлинского месторождения)

Индекс класса, устойчивость пород	Значения интегрального показателя	Рекомендуемые ориентировочные углы наклона откосов уступов бортов карьера в условиях осушения, град.	Возможные горно-геологические процессы, явления	Рекомендуемый комплекс методов прогноза инженерно-геологических условий на стадиях разводки
I относительно устойчивые	1 – 0,7	65-75	Единичные осыпи	Метод аналогий, методы математического моделирования (аналитический и интегрального показателя)
II средней устойчивости	0,7 – 0,4	55-65	Вывалы, обрушения, техногенный карст	
III низкой устойчивости	0,4 – 0	38-55	Осыпи, вывалы, обрушения значительных объемов, техногенный карст	
IV неустойчивые	-	20-25	Промоины, оползни, суффозионные и эрозионные процессы	Метод аналогий, метод прямого расчета углов наклона бортов карьера

Если новое НДС превышает уровни предельных состояний элементов породного массива, начинается его разрушение, которое может носить спокойный характер или динамический в виде горных ударов и выбросов.

С целью прогноза развития опасных горно-геологических процессов рекомендован метод численного моделирования с использованием программной технологии Plaxis в версиях 2-3D. На рис. 6 приведен результат расчета сетки векторов полных деформаций для модели с учетом рельефа дневной поверхности и зон дробления массива в начальном состоянии, далее (см. рис. 6) приведены результаты расчета компонент НДС после выборки породы из контура проектируемого карьера. Полученные результаты моделирования по оценкам горизонтальной компоненты деформаций (нижний фрагмент рис. 6) позволяют определить точки начала возможного развития процессов обрушения массива по бортам карьера. Отсюда же следует вывод о том, что восточный борт карьера находится в более благоприятном состоянии, чем западный, в борту которого сохраняется относительное растяжение и при более пологом падении борта.

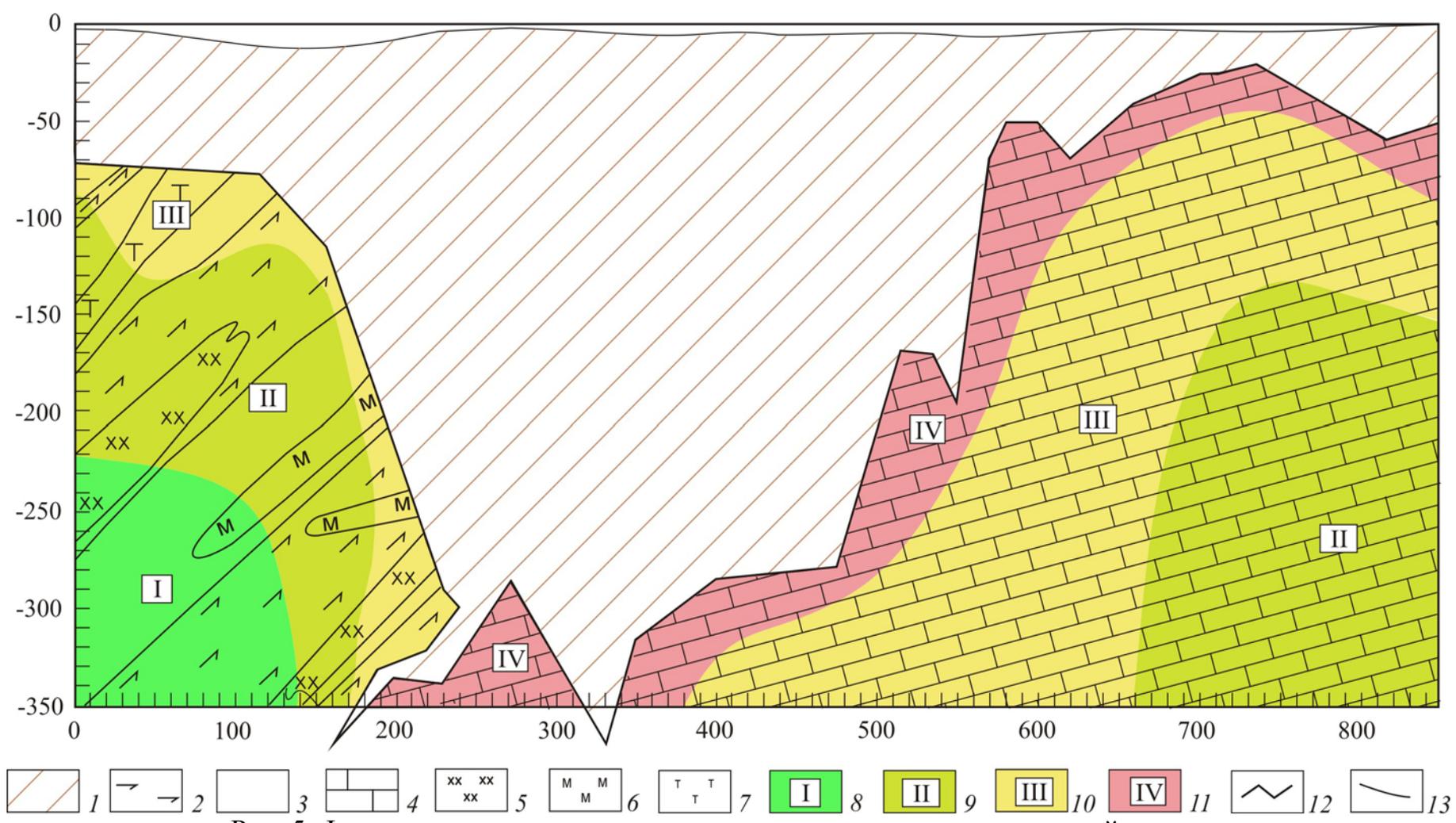


Рис. 5. Фрагмент разреза с прогнозным инженерно-геологическим районированием (месторождение Светлинское):

1 – кора выветривания; 2 – амфиболиты, амфибол-биотитовые породы; 3 – сланцы кварц-слюдистые; 4 – мраморизованные известняки и мрамора; 5 – кварциты; 6 – метасоматически измененные вулканогенно и вулканогенно-терригенные породы; 7 – туфогенно-осадочные породы; 8 – I класс: относительно устойчивые породы; 9 – II класс: средней устойчивости; 10 – III класс: низкой устойчивости; 11 – IV класс: неустойчивые; 12 – граница кор выветривания; 13 – граница литологических разностей

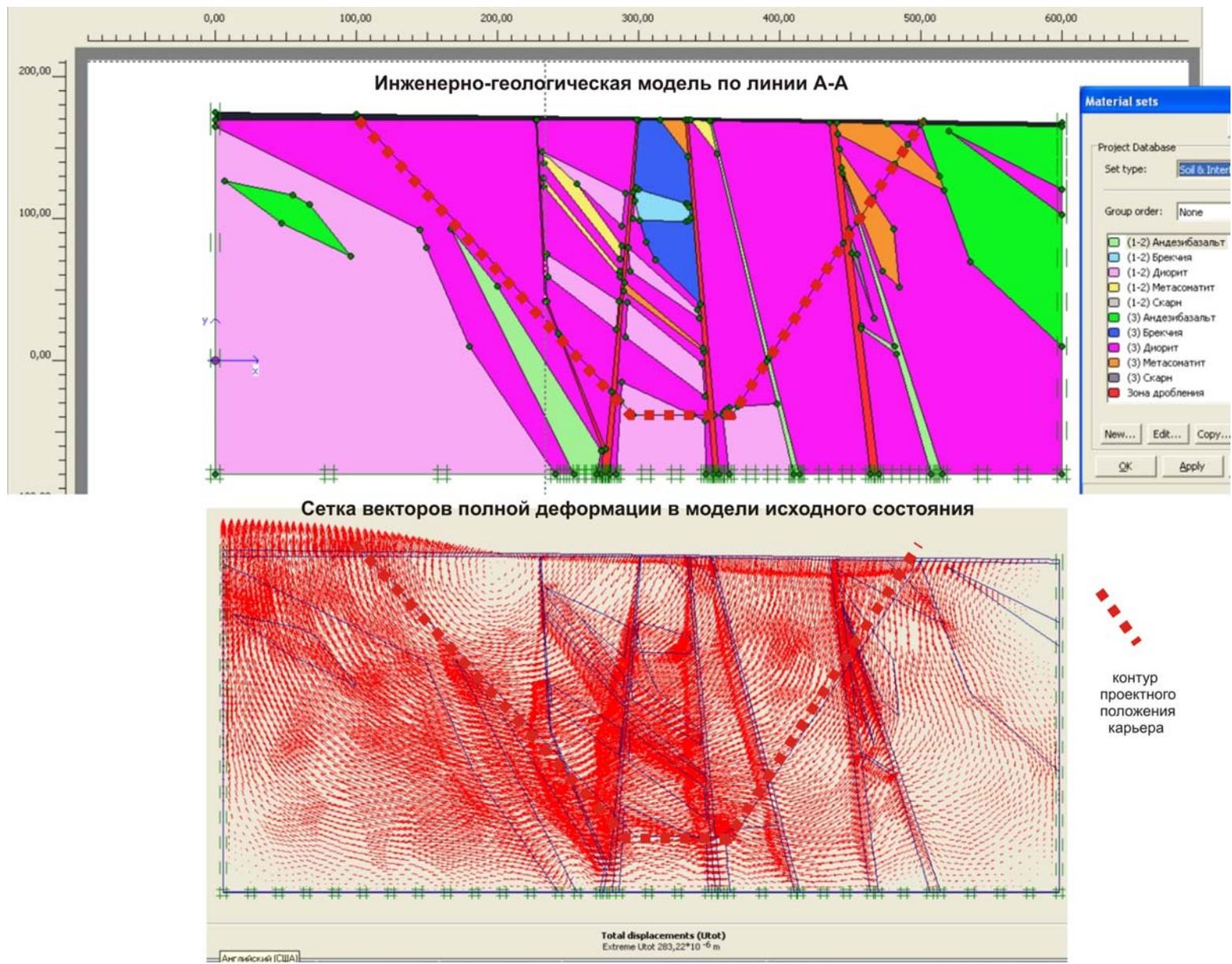
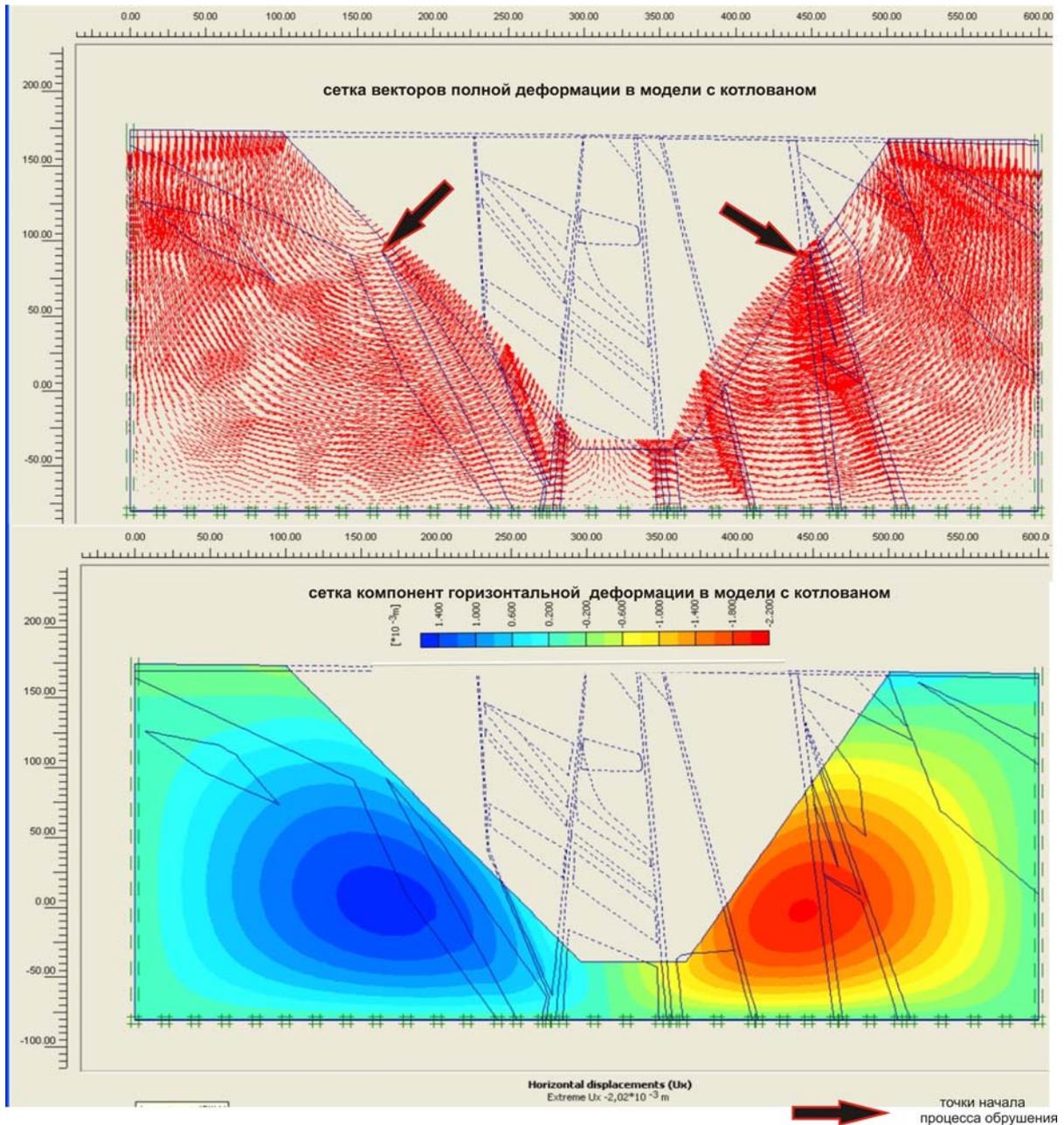


Рис. 6. Прогноз изменения НДС массива горных пород методом численного моделирования



Продолжение рис. 6.

Таким образом, по результатам моделирования компонент НДС при различных углах наклона откосов и профиля бортов возможен подбор такой геометрии карьера, при которой гарантируется устойчивость всего сооружения. С использованием предлагаемого метода, в работе рассмотрена возможность оценки степени удароопасности горного массива и устойчивости вертикальной и горизонтальной подземных выработок на примере урановых и золоторудных месторождений.

Стадия строительства горнодобывающего сооружения, эксплуатационная разведка. Особенностью данных стадий изучения является формирование ПТС МПИ, когда при прогнозной оценке ИГУ необходимо учитывать реальные геологические условия, а также системы отработки и

основные конструктивные особенности. Поэтому решение прогнозных задач также должно основываться на комплексе методов: аналитическом, численного моделирования и натурно-экспериментальном (табл. 7).

Таблица 7

Используемые методы прогноза для разных групп месторождений по сложности ИГУ отработки

Стадии прогнозирования	Методы прогноза	Группы, подгруппы МПИ по сложности ИГУ отработки								
		1			2			3		
		а	б	в	а	б	в	а	б	в
Поисковая	Аналогий	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Учета и оценки условий и факторов	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Оценочная	Аналогий	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Учета и оценки условий и факторов	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Прогнозного инженерно-геологического районирования	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Разведка	Аналогий	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Прогнозного инженерно-геологического районирования	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Комплексной количественной оценки	-	+	+	+	+	+	-	+	+
	Аналитический	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Численного моделирования	-	-	+	+	-	+	-	-	-
Строительство горного предприятия	Аналитический	-	+	+	-	+	+	-	+	+
	Численного моделирования	-	+	+	-	+	+	-	+	+
	Натурно-экспериментальный	-	-	+	-	-	+	-	-	+
Эксплуатационная разведка	Аналитический	-	+	+	-	+	+	-	+	+
	Численного моделирования	-	+	+	-	+	+	-	+	+
	Натурно-экспериментальный	-	+	+	-	+	+	-	+	+

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Природно-техническая система МПИ – структурированная область взаимодействия массива месторождения и горного сооружения, которая функционирует в природных условиях территории, характеризуется свойственным ей набором компонентов и их параметров. Характер взаимодействия зависит от способа разработки месторождения, типа сооружения и конструктивных особенностей горных выработок. Соответственно, проблема разработки адекватной информационной модели ПТС рассматривается как взаимосвязанная и неразрывная научно обоснованная система решения двух классов задач – инженерно-геологических и проектировочных (конструкторских). При этом принимается за основу прогноз реакции скального массива на проектные решения по способу разработки месторождения и конструктивных особенностей горного сооружения.

2. Изучение и оценка ИГУ МПИ в скальных массивах базируются на основе комплексного анализа базы данных, последовательно формируемой по материалам полевых и лабораторно-камеральных исследований МПИ на разных стадиях геологоразведочных работ и освоения месторождений с учетом способов и схем их разработки. Синхронизация этапов и последовательности геологоразведочных, инженерно-геологических и проектировочных работ обеспечивает оптимизацию процессов разработки постоянно действующей модели ПТС, ориентированной на поддержку безопасности ведения горных работ с максимальной экономической эффективностью и минимальным ущербом для природной среды.

3. Многолетний опыт изучения и оценки ИГУ МПИ Урала, Западной и Восточной Сибири позволил дифференцировать месторождения по сложности ИГУ на группы, для каждой из которых обоснован набор компонентов, необходимый и достаточный для определения ИГУ их разработки. Предложенный вариант дифференциации рассматриваемого класса месторождений в существенной степени регламентирует методические схемы инженерно-геологических исследований, что создает условия для определения уровня качества их исполнения производственными организациями соответствующего профиля.

4. Прогноз изменения ИГУ и оценка интегральных параметров устойчивости горного массива на стадиях разведки, строительства и эксплуатации горнодобывающих сооружений с достаточной надежностью могут быть выполнены методами аналогий, аналитическими и численного моделирования. Такая схема прогноза обеспечивает принятие обоснованных решений, в максимальной степени удовлетворяющих принципам корректности количественных и качественных оценок устойчивости всех элементов ПТС от начала ее формирования до заключительных стадий завершения горных работ.

5. В целом концепция ПТС МПИ скальных массивов и научно обоснованная совокупность методических приемов реализации ее функций позволяет оптимизировать процесс инженерно-геологических исследований в отношении экологических, технологических, экономических и социальных критериев эффективности горных работ.

По теме диссертации опубликованы следующие основные работы:

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. *Абатурова И.В.* Комплексная оценка степени трещиноватости и прогноз устойчивости бортов проектируемых карьеров на стадиях разведки месторождений // Геология и разведка. – 1992. – №6. – С. 74-80.

2. Прогноз обводненности карбонатных карстующихся толщ Кочкарской рудной зоны / *И.В. Абатурова* [и др.] // Известия вузов. Горный журнал. – 1995. – №5. – С. 101-111.

3. *Абатурова И.В.*, Афанасиади Э.И. Методические аспекты изучения карста при разведке Воронцовского золоторудного месторождения на Северном Урале. Записки горного института «Проблемы современной инженерной геологии» т.153. С-Петербург, 2003. – С. 43-45.

4. *Абатурова И.В.* Прогноз инженерно-геологических условий отработки месторождений твердых полезных ископаемых на стадии изучения методом аналогий // Литосфера. – 2009. – №5. – С. 99-106.

5. *Абатурова И.В.*, Грязнов О.Н. Оценка инженерно-геологических условий золоторудных месторождений Полярного Урала // Известия вузов. Горный журнал. – 2009. – №6. – С. 97-106.

6. Современные природные и техногенные экзогенные геологические процессы Обь-Надымского междуречья / *И.В. Абатурова* [и др.] // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2009. – №2. – С. 161-171.

7. Особенности оценки степени трещиноватости пород при инженерно-геологическом изучении месторождений полезных ископаемых / *И.В. Абатурова* [и др.] // Инженерная геология. – 2011. – №1. С. 68-72.

Работы, опубликованные в других изданиях:

8. Инженерно-геологическая оценка нарушенности и трещиноватости горных пород в процессе разведки месторождения (доклад) / *И.В. Абатурова* [и др.] // Минерально-сырьевые ресурсы и комплексное их освоение. (Мельниковские чтения): Материалы Всесоюз. сов. – М.: АН СССР, 1989. – С. 60-67.

9. *Абатурова И.В.* К оценке степени закарстованности мраморов и мраморизованных известняков // Современ. гидрогеол., инж.-геол. и геокриол. исслед. / ВНИИ гидрогеол. и инж. геол. м. – 1990. С 119-132. – Деп. В ВИНТИ 02.08.90. № 4462.

10. Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых на Урале / *И.В. Абатурова* [и др.] // Изв. УГИ, Вып. 2. Сер. «Геология и геофизика». – Екатеринбург, 1993. – С. 189-199.

11. Прогноз степени закарстованности мраморов на основе инженерно-геологического анализа данных разведочных работ (доклад) / *И.В. Абатурова* [и др.] // Инженерная геология карста: Доклады Междунар. симп. Пермь, 1993. – С. 134-140.

12. Учет степени закарстованности при прогнозе инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых (тезисы) / *И.В. Абатурова* [и др.] // IV Всеурал. совещ. по подз. водам Урала, посвящ. 90-летию со дня рожд. проф. Г.А. Максимовича: тезисы докл. – Пермь, 1994. – С. 71-74.

13. Investigation of processes of weathering, land slidekarst forming for the prognosis of conditions of dereclpoment of mineral deposits by open cut mining

(доклад) / *И.В. Абатурова* [и др.] // Междунар. Симп. «Инж. геология карста и охрана окр. среды». Афины, 1997. – С. 51-54.

14. К методике геоэкологического картирования слабоосвоенных территорий / *И.В. Абатурова* [и др.] // Информ. материалы 8-й науч. конф. Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 8-9 декабря 1999 г., г. Сыктывкар. – Сыктывкар, 1999. – С. 3-6.

15. *Абатурова И.В.*, Афанасиади Э.И. Инженерно-геологические особенности пород Воронцовского месторождения // Изв. УГГГА, Вып. 10. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, 2000. – С. 215-222.

16. *Абатурова И.В.*, Петрова И.Г. К методике геоэкологического картирования слабоосвоенных территорий (на примере Полярного Урала). // Изв. УГГГА, Вып. 13. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, 2000. – С. 23-32.

17. *Абатурова И.В.*, Афанасиади Э.И. Опыт инженерно-геологического районирования территории строительства Воронцовского ГОКа с целью рационального использования и охраны геол. среды // Изв. УГГГА. Вып. 11. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, 2001. – С. 241-246.

18. *Абатурова И.В.*, Петрова И.Г. Эколого-геологическая обстановка горной части Полярного Урала // Изв. УГГГА, Вып. 13. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, 2001. – С. 232-237.

19. Проблемы изучения и оценки состояния геологической среды урбанизированных территорий Урала / *И.В. Абатурова* [и др.] // Материалы междунар. симп. «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий». МА ИП, РАМ, т.1. – Екатеринбург, 2001. – С. 76-85.

20. *Абатурова И.В.*, Петрова И.Г. Экзогеологические процессы и их влияние на экологическую обстановку территории Полярного Урала // Изв. УГГГА, Вып. 15. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, 2002. – С. 253-259.

21. Особенности развития термоэрозионного процесса в криолитозоне / *И.В. Абатурова* [и др.] // Техногенная трансформация геологической среды: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: УГГГА, 2002. – С. 15-17.

22. Трансформация геологической среды урбанизированных территорий Северного Приобья / *И.В. Абатурова* [и др.] // Техногенная трансформация геол. среды: материалы междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГГГА, 2002. – С. 174-177.

23. Закономерности распространения толщ многолетнемерзлых пород в районе г. Салехарда / *И.В. Абатурова* [и др.] // Изв. вузов. УГГГА. Вып. 18. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, 2003. – С. 229-232.

24. *Абатурова И.В.*, Грязнов О.Н. Мерзлотно-геоэкологические проблемы северных городов // Сергеевские чтения. Вып. 6. – М., 2004. – С. 348-351.

25. *Абатурова И.В.*, Савинцев И.А. Методы изучения условий образования и распространения процессов сезонного промерзания и

протаивания // Изв. вузов. УГГГА. Вып. 19. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, 2004. – С. 181-188.

26. *Абатурова И.В.*, Савинцев И.А.. Температурная съемка как метод изучения Надымской площади // Изв. вузов. УГГГА. Сер. «Геология и геофизика». Екатеринбург, – 2004. С. 41-47.

27. Инженерно-геологические проблемы освоения территорий севера Западной Сибири (на примере г. Надым) / *И.В. Абатурова* [и др.] // Тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии в условиях рыночной экономики. XI Толстихинские чтения. – СПб, 2004. –С. 202-204.

28. *Абатурова И.В.* Эколого-геологические проблемы северных регионов // Региональные и муниципальные проблемы природопользования. – Кирово-Чепецк, 2006. – С. 78-80.

29. *Абатурова И.В.*, Петрова И.Г. Научно-методические основы комплексной мерзлотно-экологической оценки освоения криолитозоны // Сергеевские чтения / РАН. Вып. 8. М., – 2006. С. 260-262.

30. Природные причины процесса оврагообразования в зоне развития многолетнемерзлых пород Северного Приобья / *И.В. Абатурова* [и др.] // Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики. Междунар. науч. конф., МГУ. – М., 2006. С. 100-101.

31. Экологические аспекты овражной эрозии в зоне развития многолетнемерзлых пород на примере Северного приобья / *И.В. Абатурова* [и др.] // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий: материалы Второй Всерос. науч.-практ. конф., 19-20 декабря 2006 г., Екатеринбург – Екатеринбург: УГГУ, 2006. – С. 146-148.

32. Инженерно-геологические особенности золоторудных месторождений криолитозоны и их использование при решении геологических проблем их освоения (на примере месторождения Новогоднее-Монто) / *И.В. Абатурова* [и др.] // Экологическая безопасность. Материалы 1-го Урал. междунар. эколог. конгр. Том I. – Екатеринбург, СОО ОО МАНЭБ, 2007. – С. 13-17.

33. *Абатурова И.В.*, Афанасиади Э.И. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых: учебное пособие с грифом «Допущено УМО вузов РФ по образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 130302 «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» направления подготовки 130300 «Прикладная геология» (решение № 19-14-УМО/33 от 19.11.09 г.). / науч. ред. О.Н. Грязнов – Екатеринбург: УГГУ, 2009. – 200 с.

34. *Абатурова И.В.*, Емельянова И.А. Использование ГИС-технологий при инженерно-геокриологическом районировании урбанизированных территорий // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий: материалы Второй Всерос. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, УГГУ, 26-27 ноября 2009 г.). – Екатеринбург, 2009. – С. 173-177.

35. Влияние отработки месторождений полезных ископаемых на геологическую среду (на примере месторождения «Центральное») / *И.В. Абатурова* [и др.] // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий: материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции, 26-27 ноября 2009, г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2009. С. 178-181.

36. Инженерно-геологические особенности золоторудных месторождений Полярного Урала/ *И.В. Абатурова* [и др.] // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: труды Междунар. науч. конф. М., геологический факультет МГУ, 29-30 января 2009. – М., С. 183-184.

37. Инженерно-геологические условия месторождений твердых полезных ископаемых Полярного Урала / *И.В. Абатурова* [и др.] // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: Двенадцатая научно-практическая конференция. Том 2. – Ханты-Мансийск, 2009. – С. 289-293.

38. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий месторождения хромитов / *И.В. Абатурова* [и др.] // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: Труды Междунар. науч. конф. Москва, геологический факультет МГУ, 29-30 января 2009. – М., 2009. – С. 181-182.

39. *Абатурова И.В.* Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей. – Екатеринбург: типография «Уральский центр академического обслуживания». / науч. редактор О.Н. Грязнов – 2011. – 320 с. (монография).

Подписано в печать 27.12.2011 г. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать на ризографе. Печ. л. 2,0. Тираж 150. Заказ
Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники УГГУ

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»