

*На правах рукописи*



**ЖИТИНСКАЯ ОЛЬГА МИХАЙЛОВНА**

**ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ  
КАРЬЕРОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИХ РАЗРАБОТКЕ**

25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ-РГГРУ на кафедре инженерной геологии гидрогеологического факультета


- Научный руководитель: **Ярг Людмила Александровна**  
доктор геол.-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета МГРИ-РГГРУ
- Научный консультант: **Фоменко Игорь Константинович**  
доктор геол.-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета МГРИ-РГГРУ
- Официальные оппоненты: **Сергеев Сергей Валентинович**  
доктор технических наук, профессор. Заведующий лабораторией горного давления и сдвижения горных пород Всероссийского научно-исследовательского института по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу (ОАО «ВИОГЕМ»).
- Зеркаль Олег Владимирович**  
кандидат геол.-минералогических наук. Ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геодинамики и обоснования инженерной защиты территорий МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет». Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии.

Защита состоится «11» апреля 2019 года в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.121.01 при ФГБОУ ВО «РГГРУ имени Серго Орджоникидзе» по адресу: по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, зал диссертационных советов (каб.4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri-rggru.ru/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
Д 212.121.01, д-р геол.-минерал. наук, доцент

 Ганова С.Д.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

### Актуальность работы

Курская магнитная аномалия – крупнейшая в мире железорудная провинция Земного шара площадью 125 000 км<sup>2</sup> с запасами 51 млрд. тонн. В её пределах локализуется 18 месторождений и 26 перспективных участков. Разработка Стойленского железорудного месторождения открытым способом, сопровождающееся извлечением огромных масс горных пород и руд, кардинально изменяет напряжённо-деформированное состояние массива. Работа дренажной сети приводит к образованию депрессионной воронки, возникновению обширной зоны аэрации, увеличению скорости потока и градиента напора – формированию техногенного водоносного горизонта. Длительная эксплуатация карьера сопровождается проявлением инженерно-геологических процессов: осыпей, обвалов, оползней, оплывин, суффозии. Развитие процессов, инициируемое технологическими работами, носит прогрессирующий характер в пространственно-временном отношении. Вопросы устойчивости бортов карьера, обеспечивающие безаварийное ведение горнодобывающих работ при длительной эксплуатации месторождения, является весьма актуальными.

### Цель работы

Решение проблемы обеспечения устойчивости массива пород в динамике развития горных работ.

### Основные задачи исследования

1. Установление тенденций изменения компонентов инженерно-геологических условий при длительном функционировании природно-технических систем (ПТС) «Железорудные месторождения КМА».
2. Выявление основных факторов, влияющих на устойчивость ПТС «Железорудные месторождения КМА».
3. Обоснование параметров и геомеханических моделей расчёта устойчивости бортов карьера с учётом основных причин и условий, определяющих развитие процессов и обуславливающих перманентное изменение состояния горного массива.
4. Разработка временного прогноза коэффициента устойчивости ( $K_u$ ) в ходе длительной разработки месторождения открытым способом.
5. Оптимизация системы мониторинга на базе анализа изменения параметров процессов и явлений в ПТС МПИ.

### Научная новизна

1. Рассмотрена структура ПТС «Железорудные месторождения КМА».
2. Выявлены тенденции изменения компонентов инженерно-геологических условий при длительном функционировании ПТС «Железорудные месторождения».
3. Разработан алгоритм оптимизации углов откосов карьера глубокого заложения с учётом изменения состава и свойств грунтов, динамики техногенного водоносного горизонта, механизма формирования процессов.
4. Дана оценка устойчивости бортов карьера на конечных контурах с использованием современных технологий (программный комплекс Rocscience) методами

предельного равновесия: Моргенштерн-Прайса, Бишопа, Янбу и методом конечных элементов.

5. Выявлено влияние на коэффициент устойчивости бортов карьера подъёма уровня подземных вод.
6. Определено влияние на глобальную устойчивость борта карьера вскрыши прочности меловых песков и величины угла внутреннего трения глин девонского возраста.
7. Оценено влияние на глобальную устойчивость борта техногенной нагрузки от отвалов грунта.
8. Установлено снижение устойчивости бортов карьера при увеличении трещиноватости и блочности рудно-кристаллических пород массива.
9. Предложена оптимизация системы мониторинга с учётом изменения компонентов инженерно-геологических условий под влиянием техногенных взаимодействий производственного процесса.

### **Практическое значение**

Полученные прогнозные оценки устойчивости бортов карьера могут быть использованы при проектировании и разработке месторождений со сходными инженерно-геологическими условиями.

### **Защищаемые положения**

1. Локальная ПТС «Железорудное месторождение Стойленское» включает элементарные ПТС: «карьер», «хвостохранилище», «отвал», «дренажная сеть», каждая из которых характеризуется своими особенностями функционирования: определённым набором процессов, развивающихся перманентно, без наступления стадии стабилизации под влиянием длительных техногенных взаимодействий, составляющих основу эксплуатации ПТС. Пространственное распространение, режим и время проявления процессов различны в ходе функционирования ПТС.

2. Оптимизация функционирования ПТС МПИ базируется на современной методологии расчётов бортов карьера и включает: 1) выделение инженерно-геологических комплексов (ИГК), различающиеся горно-геологическими условиями и механизмом формирования процессов; 2) инженерно-геологическую типизацию бортов карьера с учётом состава и свойств горных пород, динамики техногенного водоносного горизонта; 3) выбор расчётных параметров для численного прогнозирования состояния откосов карьера; 4) обоснование и реализация геомеханических моделей расчёта устойчивости бортов карьера с учётом основных причин и условий, определяющих механизм развития процессов.

3. Закономерности изменчивости компонентов инженерно-геологических условий являются основанием для установления предельных значений параметров ПТС «Стойленское месторождение», при котором длительно функционирующая система не выходит за пределы (границы) области допустимых состояний. Это предусматривает оценку коэффициента устойчивости бортов карьера при техногенном изменении состо-

яния и прочностных свойств грунтов, слагающих борта, динамики подземных вод, пригрузки массива отвалами в процессе извлечения полезного ископаемого (разработки карьера).

#### **Личный вклад автора**

В основу работы положены личные материалы автора по полевым и лабораторным исследованиям прочностных свойств грунтов хвостохранилища Стойленского ГОКа; аналитический обзор научно-технической литературы по существующей проблеме; обработка архивных инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрохимических данных; разработка алгоритма оптимизации углов заложения откосов с использованием современных геоинформационных технологий.

#### **Апробация работы**

Основные результаты исследований по теме диссертации были доложены и обсуждались на международных, всероссийских и региональных научно-практических конференциях: XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва: МГРИ-РГГРУ, 2015 г. (Житинская О.М.); Межрегиональные Терентьевские чтения «Наука на КМА: история и современность», посвящённые Дню российской науки и 100-летию со дня рождения В.И. Терентьева, первого директора Научно-исследовательского института по проблемам КМА, Губкин: музей истории КМА, 2016 г. (Житинская О.М.); XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва: МГРИ-РГГРУ, 2017 г. (Житинская О.М., Ярг Л.А.); III Всероссийская научная конференция «Мальшевские чтения», Старый Оскол: СОФ МГРИ-РГГРУ, 2017 г. (Житинская О.М.); Межрегиональная научно-практическая конференция: «Миссия КМА в историческом и социально-экономическом развитии региона и России», посвящённой 85-летию добычи первой руды КМА, Губкин: музей истории КМА, 2018 г. (Житинская О.М.); Международная научно-практическая конференция «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ)», Москва: МГРИ-РГГРУ, 2018 г. (Ярг Л.А., Фоменко И.К., Житинская О.М.); II Общероссийская научно-практическая конференция молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве», Москва: ООО «ИГИИС», 2018 г. (Житинская О.М.).

#### **Публикации**

По теме работы опубликовано в открытой печати 8 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК и 1 работа в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК находится в печати.

#### **Структура и объём работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Она содержит 145 страниц текста, сопровождается 11 таблицами, 57 рисунками и списком литературы из 110 наименований.

#### **Благодарности**

Автор искренне благодарен своему научному руководителю профессору, доктору геолого-минералогических наук Л.А. Ярг, за внимание к настоящей работе с первых

дней её написания, ценные советы, обсуждения и моральную поддержку в течение работы над диссертацией.

Это исследование было осуществлено при значительной помощи профессора, доктора геолого-минералогических наук И.К. Фоменко. Автор выражает ему глубокую признательность.

Автор благодарит сотрудников кафедры инженерной геологии и гидрогеологии МГРИ-РГГРУ за конструктивные и полезные советы. Особо хочется поблагодарить зав. кафедрой профессора, доктора геолого-минералогических наук В.В. Пендина за его доброжелательное отношение во время обучения автора в аспирантуре, доцента В.В. Невечеря за активную поддержку при подготовке работы.

Обилие собранного архивного материала было бы невозможно без участия сотрудников НТЦ НОВОТЭК, ОАО «Стойленский ГОК», ОАО «Лебединский ГОК». За оказанное содействие автор выражает им свою признательность.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Железорудная провинция Курской магнитной аномалии (КМА) располагается в хорошо освоенном Центрально-Черноземном районе европейской части России. По запасам и качеству железных руд бассейну КМА принадлежит ведущее место в мире, по добыче – первое место в России. Интенсивное промышленное освоение железорудного бассейна КМА началось в 60-х г. Площадь Курской магнитной аномалии - 125000 км<sup>2</sup>. В пределах Белгородской области локализуется 18 месторождений и 26 перспективных участков КМА, крупнейшими из них являются: Лебединское и Стойленское месторождения. В настоящее время эти месторождения разрабатываются открытым способом.

### **ГЛАВА 1. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА**

Геологические исследования Курской магнитной аномалии начались в XIX веке П.Б. Иноходцевым, И. Н. Смирновым, Э. Е. Лейстом. XX век [1918–1926] по изучению КМА связан с именами П.П. Лазарева, И. М. Губкина, А.Д. Архангельского, В. И. Лучицкого, Н. И. Свитальского, А.П. Карпинского, К.П. Козина, И.И. Корбуша и др. [1950–1955]. Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования на Лебединском и Михайловском месторождениях подтвердили рентабельность отработки богатых руд открытым способом, после чего параллельно с разведкой началось проектирование рудников. Общее геологическое руководство осуществлялось М.Н. Добрыхотовым [1955–1959], И.Н. Леоненко [1958–1980], В.П. Дмитриевым [1980–1990]. В трёхтомной монографии «Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии» И.Н. Леоненко и др. [1972] дана сравнительная оценка железорудных месторождений КМА. За последующие 30 лет в регионе выполнены огромные объёмы геологоразведочных работ, в результате которых осуществлена количественная и качественная оценка минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий и всего региона КМА. Прогнозированию качества магнетитовых руд и концентратов посвящены работы В.П. Орлова, В.П. Дмитриева. Обобщением и

систематизацией материалов по железорудным месторождениям КМА занимались Л.П. Тигунов, М. И. Веригин, В.Л. Колибаба, В.С. Ульяненко, Д.М. Ефремов, С.Я. Медведовский и др. [1991-1997]. Н.А. Соколовым были составлены геолого-экономические карты железорудных месторождений КМА масштаба 1:500 000 [1998].

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия региона изучались попутно с разведкой и эксплуатацией железорудных месторождений и водоснабжением населения. В конце XIX века С. Н. Никитиным в процессе комплексных исследований составлены первые гидрогеологические карты бассейнов крупных рек Европейской части России. Гидрогеологической съёмкой по реке Оскол, изучением подземных вод для водоснабжения в послереволюционный период занимались Н.А. Русинович, Д. В. Захаревич, Н. Д. Краснопевцев, В.И. Голубкович, В.Н. Гравцева. Результаты первых гидрогеологических исследований на железорудных месторождениях в Старооскольском и Губкинском районах освещены в работах Н.А. Русиновича, В.Т. Варфоломеева, А. И. Дружинина, С. Г. Лиференко, В. Ф. Прейса и др. Составлением описания водоносных горизонтов с их количественной и качественной характеристиками, вопросами формирования, питания и разгрузки подземных вод занимались Е. К. Евтехова, Т. Е. Горбаткина, И. П. Аполлонова, А. А. Алексеев, А. А. Архипова, Т. А. Михайлова и др. [1955-1957]. О. К. Акинфеева, И. О. Захаров, И. А. Иванова, В. П. Ишутин составили инженерно-геологические и гидрогеологические карты с подробной характеристикой инженерно-геологических и гидрогеологических условий железорудных месторождений в результате среднемасштабной инженерно-геологической съёмки района.

Большой размах получили геологоразведочные работы на месторождениях и исследования, связанные с определением горно-технических и экономических условий разработки. Уже на стадии детальной геологической разведки ведутся гидрогеологические и инженерно-геологические исследования крупнейшими организациями страны – ВСЕГИНГЕО, партиями ГУЦР, ФГУП «ВИОГЕМ». Изучением гидрогеологических и инженерно-геологических условий Коробковского, Лебединского, Стойленского и других железорудных месторождений занимались Ф. В. Кулибаба, Е. Н. Курлянд, В. Ф. Небосенко, М. Н. Бурмистров и др. [1951–1958]. Изучение Старооскольского железорудного района выполняла Лаборатория гидрогеологических проблем АН СССР под руководством В.А. Приклонского и И.В. Попова [1952]. Исследованиями юрских пород занималась И.Г. Коробанова [1963]; плывунностью батских и волжских песков И.М. Горькова [1957]; деформациями откосов карьера В.Н. Славянов [1953]. Институтом «Фундаментпроект» составлено заключение об инженерно-геологических условиях участка строительства первой очереди Лебединского карьера [В.Я. Гунн, З.А. Забазнова и др. 1957]. Типизация инженерно-геологических условий при открытой разработке железорудных месторождений в Старооскольском районе была выполнена Н.К. Парфенгольц, И.В. Поповым, Н.Н. Славяновым, Ф.В. Кулибабой и др. Испытания физико-механических свойств пород проводила группа ВСЕГИНГЕО под руководством В.Д. Дубровкина [1962, 1964]. Моделированию гидрогеологических процессов на ЭВМ посвящена работа И.Н. Павлова [ВСЕГИНГЕО, 1959], в которой подведены итоги гид-

рогеологического и инженерно-геологического изучения территории КМА. Б.Н. Смирновым [1966] составлена карта гидрогеологического районирования, на которой выделено 10 гидрогеологических районов по литолого-стратиграфическим особенностям и распространению основных водоносных горизонтов. Институтом ВИОГЕМ были выполнены исследования [1972-1985] по влиянию на режим подземных вод осушения железорудных месторождений, действующих и проектируемых водозаборов; оценены водопритоки в дренажные системы карьеров Лебединского и Стойленского, фильтрационные потери из хвостохранилищ; выполнен прогноз изменения режима фильтрации подземных вод до 2018 г. Лабораторией инженерной геологии и геомеханики [ФГУП «ВИОГЕМ», 2003] осуществлён анализ условий формирования и эксплуатации бортов Лебединского карьера и отвалов, их геодинамического состояния и степени устойчивости. Гомбергом И.Г., Рошаль А.А. и др. [ГЕОЛИНК, 2001] создана гидрогеологическая информационно-компьютерная система для управления недрами на территории КМА Белгородской области и автоматизированная система мониторинга подземных вод в зоне влияния Лебединского ГОКа.

Крупный вклад в методику экологических исследований на железорудных месторождениях КМА внесла [1980-2000] Комплексная лаборатория гидрогеологии и природосберегающих горных технологий РАН под руководством В. А. Мироненко. Монография «Проблемы гидрогеоэкологии» в 3-х т Мироненко В.А. и др. [1998–1999] послужила основой для решения экологических проблем. Вопросам рационального недропользования посвящены работы: А.М. Бабца [НИИ КМА, 2002]; А.Н. Петина [БелГУ, 2010]; И. И. Штифанова, А. И Спиридонова, Е. Н. Трофимовой и др.

## **ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ЖЕЛЕЗОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ»**

С конца 70-х годов XX столетия в отечественную геологическую литературу Г.К. Бондариком был введен термин «природно-техническая система» (ПТС) с целью рассмотрения возникающих в процессе взаимодействия человека и природы особых образований – систем. «ПТС – это особые целостные системы, упорядоченные в пространственно-временном отношении совокупность взаимодействующих компонентов, включающих орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно измененные природные тела, а также естественные и искусственные информационно-энергетические поля». В процессе функционирования горнодобывающее предприятие (техническая система) взаимодействует с компонентами природной среды: горными массивами и рудными телами, водоносными горизонтами и поверхностными водными объектами, почвами, растительностью, приземным слоем атмосферы, солнечной энергией.

Изучение основных компонентов природно-технических систем и вещественно-энергетических связей между ними, определяющих их структуру (рис.1), служит основой оптимального управления горнодобывающим предприятием, а также прогноза и контроля состояния природной среды, что, в конечном счёте, способствует рациональному экономически и экологически сбалансированному освоению природных ресурсов



в горнодобывающих районах. Горнопромышленные природно-технические системы по своей структуре могут быть различного уровня: элементарной, локальной и региональной.



Рис. 1. Структура ПТС КМА

Локальная природно-техническая система «Железорудное месторождение» включает элементарные ПТС: карьер, хвостохранилище, гидроотвал, отвал вскрышной породы, дренажная сеть. Каждая из них характеризуется своими особенностями функционирования: набором процессов, их режимом и численными характеристиками.

**Особенности строения сферы взаимодействия.** Борта карьера на конечных контурах формируются в толще пород осадочного чехла, залегающего на неровной поверхности пород рудно-кристаллического фундамента. Фундамент представлен комплексом метаморфических пород докембрия: железорудной коробковской ( $PR_{1ks}$ ) и подстилающей её стойленской свитой. Коробковская свита, средней мощностью 600 м, является продуктивной, сложена практически полностью железистыми кварцитами. Повсеместно по породам докембрия развита кора выветривания, мощностью 5-50 м. Сложноскладчатый рудно-кристаллический фундамент разбит крупными тектоническими нарушениями различного порядка. Разрывные нарушения крутопадающие ( $65-85^\circ$ ). Зоны тектонических нарушений представляют собой зоны дробления, расщепления с глиной трения, сопровождающиеся зонами повышенной трещиноватости. Расстояния между зонами нарушений колеблется от 30 до 150 м. Системы трещин и разломов расчленяют рудно-кристаллический массив на блоки. По степени структурной нарушенности массив характеризуется как крупно-, среднеблочный, в коре выветривания – как мелкоблочный.

Осадочный чехол, мощностью 90–200м трансгрессивно перекрывает кристаллические породы. Он сложен горизонтально залегающими четвертичными песчано-глинистыми отложениями (инженерно-геологический элемент (ИГЭ) 1); палеогеновыми

глинистыми отложениями киевской свиты (ИГЭ 2); мергельно-меловой формацией сантонского (ИГЭ 3) и турон-коньякского (ИГЭ 4) ярусов; песками альб-сеноманского яруса (ИГЭ 5); юрскими песчано-алевритистыми (ИГЭ 6) и девонскими глинистыми отложениями (ИГЭ 7), выполняющими глубокие впадины в кристаллическом фундаменте докембрия. ИГЭ 8 – отложения коры выветривания.

Наличие четырёх водоносных горизонтов: рудно-кристаллического, альб-сеноманского, турон-коньякского, четвертичного существенно осложняет условия разрабатываемых месторождений. Осушение Лебединского и Стойленского карьеров осуществляется комбинированным способом с применением подземного и внутрикарьерного дренажных комплексов.

### **ГЛАВА 3. ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ РАЗРАБОТКЕ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ**

Эксплуатация горнодобывающих предприятий обуславливает изменение гидродинамического режима и химического состава подземных вод. Оценка влияния функционирования объектов на геологическую среду выполнена на основании информации, получаемой в рамках мониторинга. Параметрами наблюдения являются: уровенный режим подземных вод, их химический состав, состояние бортов карьеров.

Гидрогеологические особенности Лебединского и Стойленского железорудных месторождений определяются наличием двух водоносных комплексов: рудно-кристаллического напорного, мощностью 20–50 м и надьюрского безнапорного. Архей-протерозойский водоносный комплекс (AR-PR) приурочен к коре выветривания – верхней трещиноватой зоне метаморфических кристаллических пород (богатым железным рудам, железистым кварцитам, кристаллическим сланцам, гнейсам и гранитам), характеризуется напорным режимом, пьезометрический его уровень, практически совпадает с уровнем подземных вод надьюрского комплекса, за счёт которого осуществляется его питание. Надьюрский водоносный комплекс приурочен к альб-сеноманским пескам и турон-коньякским мергельно-меловым отложениям. Гидравлически связанные альб-сеноманский и турон-коньякский водоносные горизонты представляют собой единую безнапорную систему, питающуюся за счёт атмосферных осадков, инфильтрации из реки Осколец и техногенных водоёмов (хвостохранилищ, гидроотвалов, отстойников). Зонами разгрузки водоносного комплекса являются дренажные системы, борта карьера, водозаборы и долина реки Осколец.

Длительная работа дренажных систем в пределах ПТС «Лебединского и Стойленского железорудных месторождений» формирует сложный техногенный гидродинамический режим подземных вод (рис. 2). Он обусловлен: – развитием депрессионной воронки диаметром 10 км и глубиной 43 м, масштабы которой возрастают по мере увеличения размеров карьера; – формированием купола растекания под хвостохранилищем, высотой 25 м, динамика которого тесно связана с производственными процессами добычи полезного ископаемого; – изменением градиентов напора и скорости потока, нарушающие механизм взаимодействия между твёрдой и жидкой фазой; – сработкой

статических запасов подземных вод и вовлечением в процесс динамических ресурсов, зависящих от новых областей разгрузки и условий питания, в том числе фильтрационных потерь из хвостохранилищ; – перетеканием вод из верхних горизонтов, вследствие снижения напоров подземных вод на контурах карьеров, что привело к частичному осушению мергельно-меловой формации.

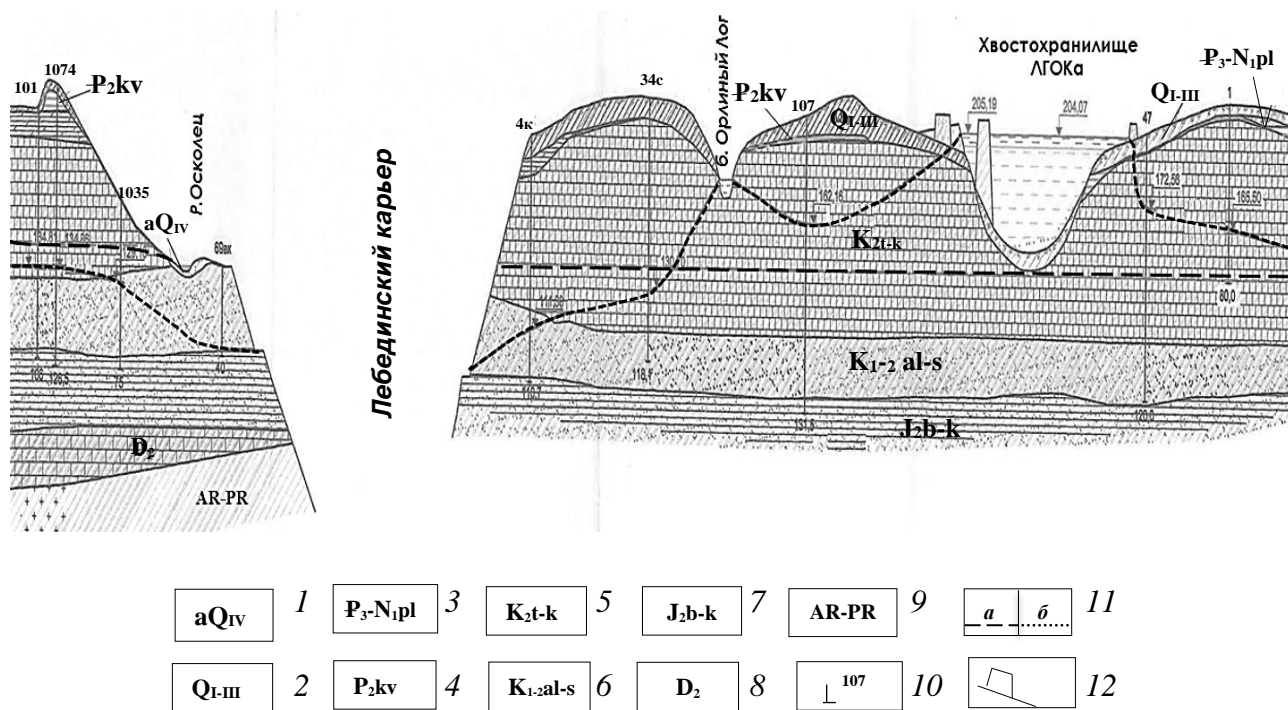


Рис. 2. Схематический гидрогеологический разрез по Лебединскому карьерному полю: 1 – современные аллювиальные отложения: пески, супеси, суглинки; 2 – нижне-верхне-четвертичные отложения, делювий: пески, супеси; 3 – неоген-палеогеновые отложения полтавской свиты: пески; 4 – палеогеновые отложения киевской свиты: глины; 5 – турон-коньякский ярус: белый писчий мел, мергель; 6 – альб-сеноманский ярус: глауконит-кварцевые пески; 7 – юрские отложения бат-келовейского яруса: глины, алевриты, пески; 8 – девонские отложения: глины с прослоями песка; 9 – архейско-протерозойские кристаллические образования: железистые кварциты, граниты, сланцы; 10 – геологическая скважина и её номер; 11 – уровень водоносного горизонта: а - в естественном состоянии (до разработки карьера), б - в нарушенном состоянии на 01.01.2015г; 12 – тело дамбы хвостохранилища

На территории ПТС «Стойленского и Лебединского карьеров» чётко прослеживается тренд снижения уровня подземных вод в районе депрессионной воронки (рис. 3). На территории Стойленского месторождения с 2004 по 2015 в рудно-кристаллическом водоносном горизонте уровень снизился на 8,7 м, в альб-сеноманском водоносном горизонте на 2,2 м, в турон-коньякском – 1,3 м.

Замещение природных подземных вод техногенными является непрерывным процессом на всём протяжении работы горнорудных предприятий.



Рис. 3. Графики изменения уровней подземных вод альб-сеноманского (скважина 9<sup>г</sup>) и турон-коньякского (скважина 15<sup>г</sup>) водоносных горизонтов (2006–2015 гг.)

Подземные воды альб-сеноманского возраста широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения и извлекаются дренажными системами Лебединского и Стойленского карьеров и водозаборами. Основными источниками загрязнения подземных вод (ПВ) являются: пруды-отстойники, отвалы, хвостохранилища и др. Динамика подземных вод при вскрытии и длительной разработке месторождения является одной из причин, влияющих на изменение химического состава. Снижение уровней подземных вод, изменение градиентов напора и скорости потока нарушают механизм взаимодействия между твёрдой и жидкой фазой. Проблеме изменения химического состава подземных вод под влиянием искусственных факторов на основе теории и методов массопереноса, посвящены работы Мироненко, Н.Н. Веригина, В.М. Гольдберга, В.М. Шестакова, С.Р. Крайнова, В.М. Швеца. Разработка железорудных месторождений приводит к возрастанию концентрации нормируемых компонентов и микрокомпонентов в водах турон-коньякского и альб-сеноманского горизонтов. Это связано с поступлением из отвалов, хвостохранилищ, дамб в подземные воды «новых микрокомпонентов» ( $F^-$ ,  $Zn$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Ni$ ,  $Co$ ,  $B^{2+}$ ,  $Cd$ ,  $Mn$ ,  $Mo$ ,  $Pb$ ,  $Al$ ,  $Cu$ ), что приводит к нарушению естественных физико-химических равновесий в системе «вода – горная порода – газ» и созданию неравновесного состояния. Динамика изменения химического состава с

2004 по 2015 гг. альб-сеноманского водоносного горизонта приведена на рисунке 4. В пределах железорудных месторождений существенное влияние на миграционную подвижность компонентов оказывает железо. «Геохимию железа в подземных водах определяют следующие его свойства: малая растворимость гидроокиси трёхвалентного железа и соединений двухвалентного железа со многими анионами подземных вод; способность к образованию устойчивых комплексных соединений с  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и органическим веществом» [Крайнов С.Р, Рыженко Б.Н, Швец В.М]. Выщелачивание карбонатов из карбонатных пород (писчий мел, мергель коньяк-турона), ионообменная сорбция глинами юры ограничивает миграцию железа в кислородсодержащих водах и приводит к накоплению его в подземных водах до значительных концентраций (37 мг/л) в водах.

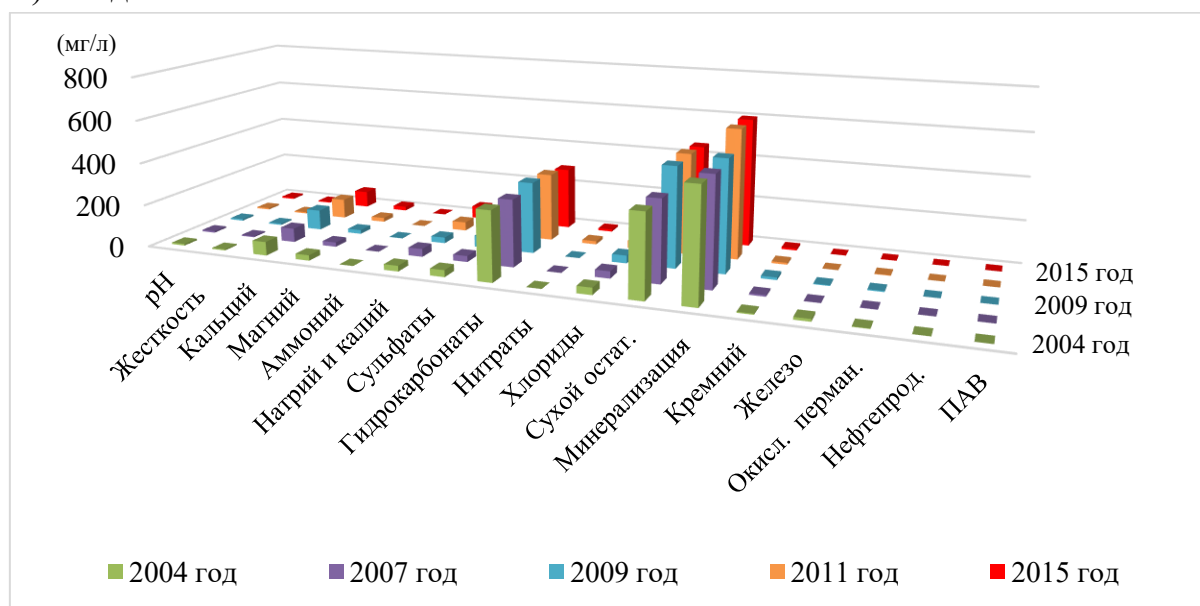


Рис. 4. Динамика изменения химического состава альб-сеноманского водоносного горизонта по скважине 9<sup>г</sup>

Динамика техногенного водоносного горизонта является одним из основных факторов, определяющих устойчивость бортов карьера. Градиент изменения уровня подземных вод в результате работ дренажной системы провоцирует развитие суффозионного процесса, подтопление откоса уступов и их разрушение, перекрытие уступов деформированными массами.

#### ГЛАВА 4. ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И СТЕПЕНЬ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА

Борта карьеров, являясь зонами изменённого напряжённо-деформированного состояния, находятся в положении временного равновесия, нарушаемого фильтрационными процессами, выветриванием и сейсмическим воздействием массовых взрывов, что провоцирует проявление гравитационных процессов. Причины и условия инженерно-геологических процессов, развивающиеся в ходе функционирования элементарной ПТС «Карьер» железорудных месторождений Стойленского и Лебединского, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Причины и условия развития инженерно-геологических процессов в ходе функционирования элементарной ПТС «Карьер» (месторождения Стойленское и Лебединское)

Процесс	Условия	Причины	Последствия
Осыпания	Трещиноватые грунты: – связные и несвязные; – скальные и полускальные	Выветривание грунтов; взрывные работы в карьере	Выполаживание откосов, перекрытие нижних площадок уступов. Перманентное развитие
Обрушения	Наличие поверхностей ослабления, зон дизъюнктивных нарушений и трещиноватости, контактов пород с падением в сторону карьера	Углы падения поверхностей ослабления больше $25-30^\circ$ , трещиноватости – $35-40^\circ$	Выполаживание откосов, полное или частичное перекрытие нижних площадок уступов. Наибольшая опасность для технических средств и персонала
Оползневой процесс	<i>Песчано-глинистые грунты:</i> – низкие прочностные свойства пластичных глинистых грунтов; – углы падения слоёв больше угла внутреннего трения. <i>Скальные грунты:</i> наличие глинки трения, заполняющей дизъюнктивные нарушения, падающие в сторону карьера	Изменения напряженного состояния грунтов; незарегулированность поверхностных и подземных вод; снижение прочностных свойств при увлажнении; генеральные углы заложения бортов больше $25-35^\circ$	Завалы, оползни, деформации бортов, перекрытие уступов. Нарушение технологического ритма, разрушение транспортных коммуникаций
Поверхностная эрозия	Прибортовой массив сложен песчано-глинистыми грунтами	Атмосферные осадки и подземные воды, стекающие по откосу	Разрушение и подтопление уступов откоса
Фильтрационные деформации	Песчано-глинистые грунты, подземные воды с техногенным гидродинамическим режимом	Изменение уровня подземных вод в результате работ дренажной системы	Подтопление уступов и их частичное разрушение, перекрытие уступов деформированными массами
Суффозия: механическая, химическая	Приоткосный массив сложен песками;  содержит растворимые породы	Гидростатическое и гидродинамическое давление; выщелачивание фильтрационным потоком	Создание условий для развития других процессов: оползней, оплывин, обвалов и др.

Актуальность обеспечения устойчивости массива пород в динамике развития горных работ очевидна. Особенности инженерно-геологических условий, в том числе ли-

толого-петрографического состава, физико-механических свойств, структурной нарушенности, параметров естественного поля напряжений требуют индивидуального подхода к процессу прогноза поведения массива пород при вскрытии их горными выработками. Автором предлагается алгоритм оптимизации углов заложения откосов (рис. 5).

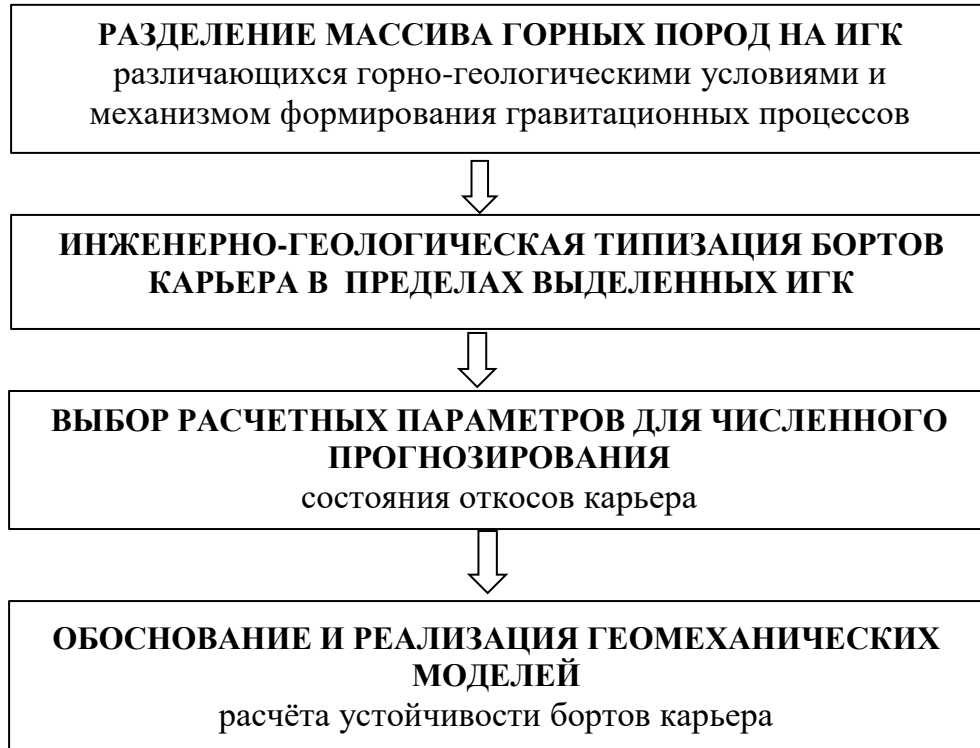


Рис. 5. Алгоритм оптимизации углов заложения откосов карьера

Элементарная ПТС «Карьер Стойленский» делится на два инженерно-геологических комплекса: верхний ИГК-1 мощностью до 90 м и нижний ИГК-2, мощностью до 600 м. Параметры расчёта ИГК-1, сложенного рыхлыми и полускальными грунтами: плотность,  $\rho$ ; сцепление,  $C$ ; угол внутреннего трения,  $\varphi^\circ$ ; модуль упругости,  $E$ ; коэффициент Пуассона,  $\mu$ ; коэффициент фильтрации,  $K_f$ ; пригрузка от отвалов,  $P_{\text{доп}}$ . Параметры расчёта ИГК-2, представленного скальными грунтами:  $\rho$ ,  $C$ ,  $\varphi^\circ$ ,  $E$ ,  $\mu$ , трещиноватость и ориентировка систем трещин по отношению к бортам карьера, блочность массива, анизотропия прочностных свойств. Типизация осадочного чехла выполнена с учётом геологического строения, гидрогеологических условий (величины водопритокков по контуру карьера с учётом водопроницаемости и  $K_f$ ), физико-механических свойств грунтов.

Оптимизация функционирования ПТС МПИ базируется на современной методологии расчёта устойчивости бортов карьера.

**А. Оценка устойчивости борта карьера на конечных контурах, формирующихся в толще осадочного чехла (ИГК-1).** Структура геомеханической модели борта карьера в толще пород осадочного чехла (рис. 6) включает 8 инженерно-геологических элементов (ИГЭ1- ИГЭ8). В работе использованы методы: предельного равновесия (метод Моргенштерна-Прайса, упрощенные методы Бишопа и Ямбу в программном

комплексе Rocscience Slide 7, Slide 3D) и конечных элементов, представляющий класс численных методов (в программном комплексе Rocscience RS2).

Моделирование устойчивости борта карьера выполнено по следующим схемам: 1) расчёт локальной устойчивости с определением минимального коэффициента устойчивости ( $K_u$ ) борта карьера; 2) определение глобальной устойчивости грунтов ИГК-1. Результаты расчёта локальной устойчивости борта карьера, выполненные методами предельного равновесия, позволяют сделать вывод, что наиболее вероятным сценарием является локальная потеря устойчивости откоса, сложенного песками. Результаты расчёта глобальной устойчивости, выполненного методами предельного равновесия (рис. 6) и методом конечных элементов (рис. 7), позволяют сделать вывод, что при глобальной потере устойчивости борта в ИГК-1, основной деформируемый горизонт будет приурочен к кровле глин девонского возраста ИГЭ 7.

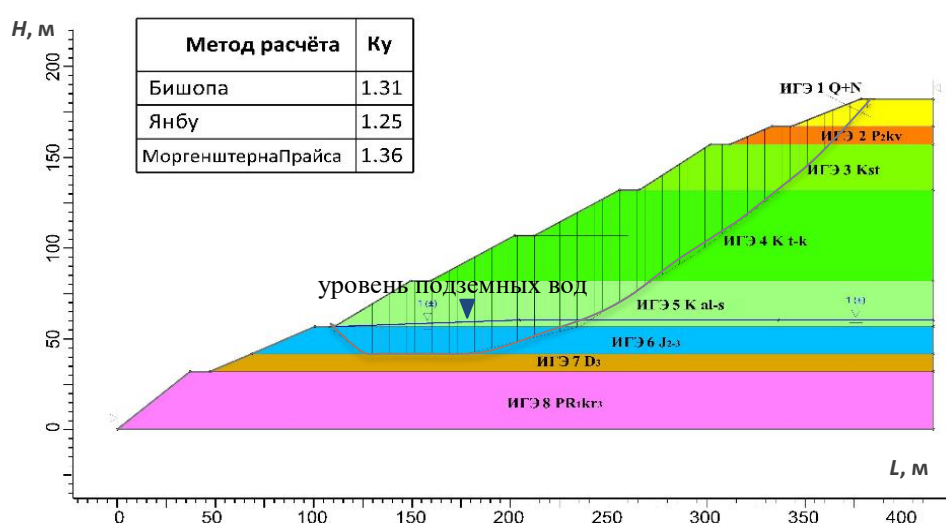


Рис. 6. Модель расчёта глобальной устойчивости борта карьера методом предельного равновесия

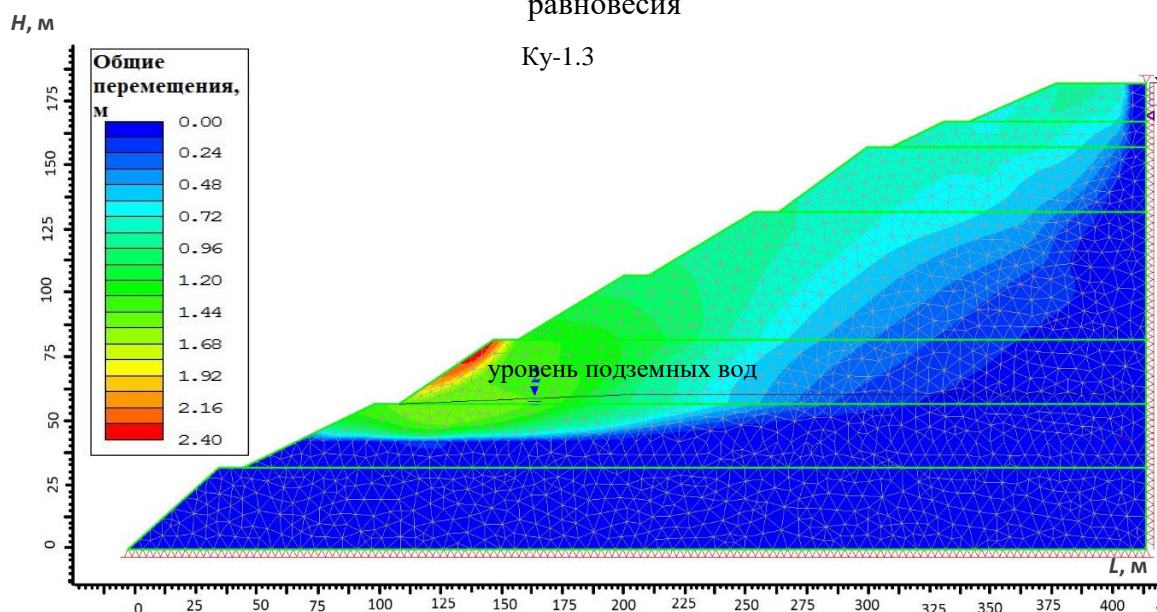


Рис. 7. Модель глобального расчёта устойчивости борта карьера методом конечных элементов:  $K_u$  – коэффициент устойчивости



Результаты моделирования четырьмя методами, показали, что коэффициенты устойчивости бортов карьера ИГК-1 составляют 1,07 – 1,3, т.е. ПТС «Железорудное месторождение» близка к границе области допустимых состояний.

**Б. Оценка устойчивости бортов, сложенных скальными грунтами рудно-кристаллической толщи (ИГК-2).** В массиве докембрия прослеживаются три системы трещин: – система трещин напластования по слоистости северо-восточного и юго-западного падения, азимут падения 310-320°, угол падения 60-85°, среднее расстояние между трещинами ( $L$ ) – 0,7 м; – система продольной трещиноватости относительно складчатости субпараллельная простиранию пород, угол падения 10-30°, среднее расстояние между трещинами – 0,85 м; – система поперечной трещиноватости относительно складчатости, субортогональная простиранию трещин напластования, крутопадающая 60-85°, среднее расстояние между трещинами – 1,0 м.

По степени структурной нарушенности массив скальных пород характеризуется как средне-, крупноблочный.

Оптимизация функционирования ПТС «Железорудное месторождение» базируется на методологии расчёта устойчивости бортов карьера, методами предельного равновесия, конечных элементов и объёмных скальных блоков, позволяющие оценить устойчивость с учётом существующих плоскостей раздела (трещиноватости).

**Оценка устойчивости откосов методами предельного равновесия.** При оценке устойчивости бортов карьера методами предельного равновесия для учёта существующих плоскостей раздела (трещиноватости) могут быть применены следующие дополнительные положения: – расчёт производится по оптимизированной блоковой поверхности скольжения, которая моделирует направление имеющихся в массиве поверхностей раздела, – задание прочностных характеристик скальных грунтов производится на основе модели анизотропной прочности. Для скальных грунтов была использована анизотропная модель прочности: 1) прочность грунтов в массиве (приняты для сильно трещиноватых пород); 2) прочность грунтов массива в продольном направлении относительно складчатости, субпараллельно простиранию трещинам с углами падения 10-30°; 3) прочность грунтов массива в поперечном направлении относительно складчатости, субортогонально простиранию трещин напластования, с углами падения 60-85°. Диаграмма прочностных свойств массива скальных грунтов с учётом их анизотропии, использованная при расчёте приведена на рисунке 9.

Результаты расчёта (рис. 10) показывают, что коэффициент устойчивости ( $K_u$ ) борта карьера снижается при увеличении угла падения субгоризонтальных трещин (в диапазоне 10-30°) и уменьшении – субвертикальных (в диапазоне 85-60°). Наиболее неблагоприятное сочетание: субгоризонтальные трещины падают в сторону карьера под углом 30°, субвертикальные – под углом 60°, при котором борт карьера находится в состоянии близком к предельному равновесию.

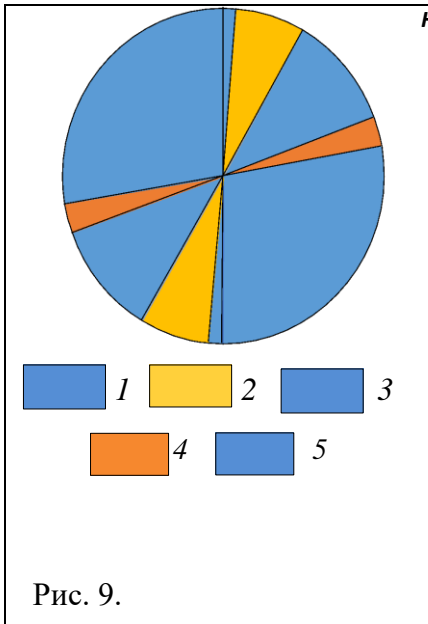


Рис. 9.

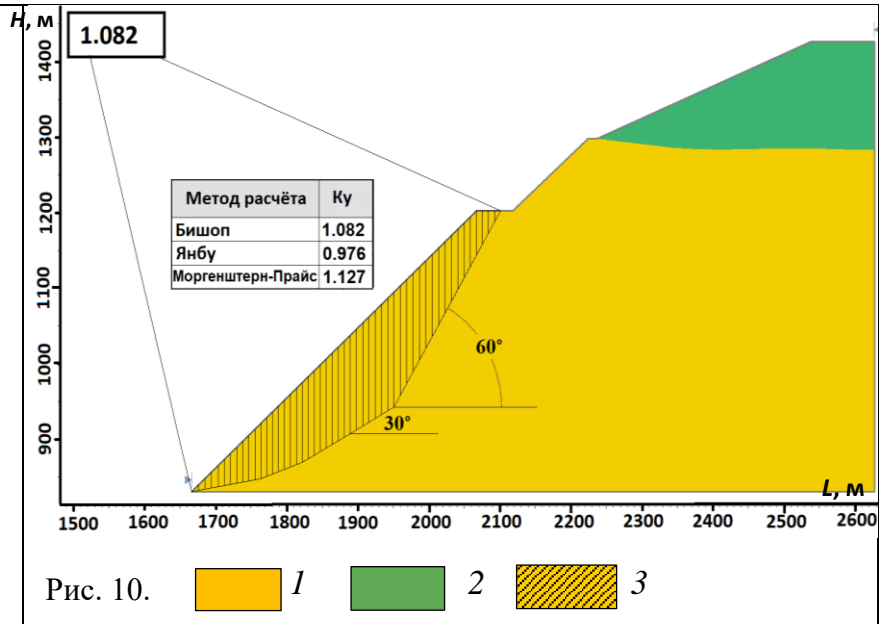


Рис. 10. 1 – породы ИГК-1, 2 – породы ИГК-2; 3 – блок смещения пород.

Рис. 9. Диаграмма анизотропии прочностных свойств массива скальных грунтов: 1 – от 90 до 85°:  $C = 690$  кПа,  $\varphi = 32^\circ$ ; 2 – от 85 до 60°:  $C = 730$  кПа,  $\varphi = 28^\circ$ ; 3 – от 60 до 20°:  $C = 690$  кПа,  $\varphi = 32^\circ$ ; 4 – от 20 до 10°:  $C = 510$  кПа,  $\varphi = 29^\circ$ ; 5 – от 10 до -90°:  $C = 690$  кПа,  $\varphi = 32^\circ$ .

Рис. 10. Модель расчёта устойчивости борта карьера (вариант I): 1 – породы ИГК-1, 2 – породы ИГК-2; 3 – блок смещения пород.

**Оценка устойчивости откосов методом конечных элементов с учётом трещиноватости массива.** Структурные неоднородности массива горных пород (имитация структуры первичной или вторичной трещиноватости) могут быть смоделированы с использованием механизма совместных границ. С использованием этого механизма было оценено влияние прочности пород и блочности скального массива на устойчивость борта карьера.

**Влияние прочности пород в массиве на  $K_u$ .** Одним из наиболее существенных инженерно-геологических факторов, определяющих устойчивость бортов карьеров в скальных грунтах принято считать их прочность. С целью оценки значимости данного фактора, методом конечных элементов были выполнены расчёты по трём вариантам: В-I – сильнотрещиноватый массив, прочностные свойства:  $C = 690$  кПа,  $\varphi = 32^\circ$ ; В-II – среднетрещиноватый массив:  $C = 1130$  кПа,  $\varphi = 36^\circ$ ; В-III – слаботрещиноватый массив:  $C = 3140$  кПа,  $\varphi = 39^\circ$ . Расстояние между трещинами условно принято постоянным и равным 10 м. Результаты расчёта устойчивости борта карьера приведены на рисунке 11.

**Влияние блочности на  $K_u$  борта карьера.** Существенным фактором, определяющим устойчивость бортов карьеров в скальных грунтах, является блочность массива. В расчётах методом конечных элементов расстояния между трещинами принимались для вариантов: В-I=10 м, В-II=20 м, В-III=7,5 м, В-IV=5 м, В-V= 2,5 м. Результаты расчёта устойчивости борта карьера по вариантам В-II – V приведены на рисунке 12.

Результаты моделирования показали, что коэффициенты устойчивости ( $K_u$ ) бортов карьера в скальных породах (ИГК-2) близки к 1, т.е. откосы карьера в скальных грунтах обладают незначительным запасом устойчивости.

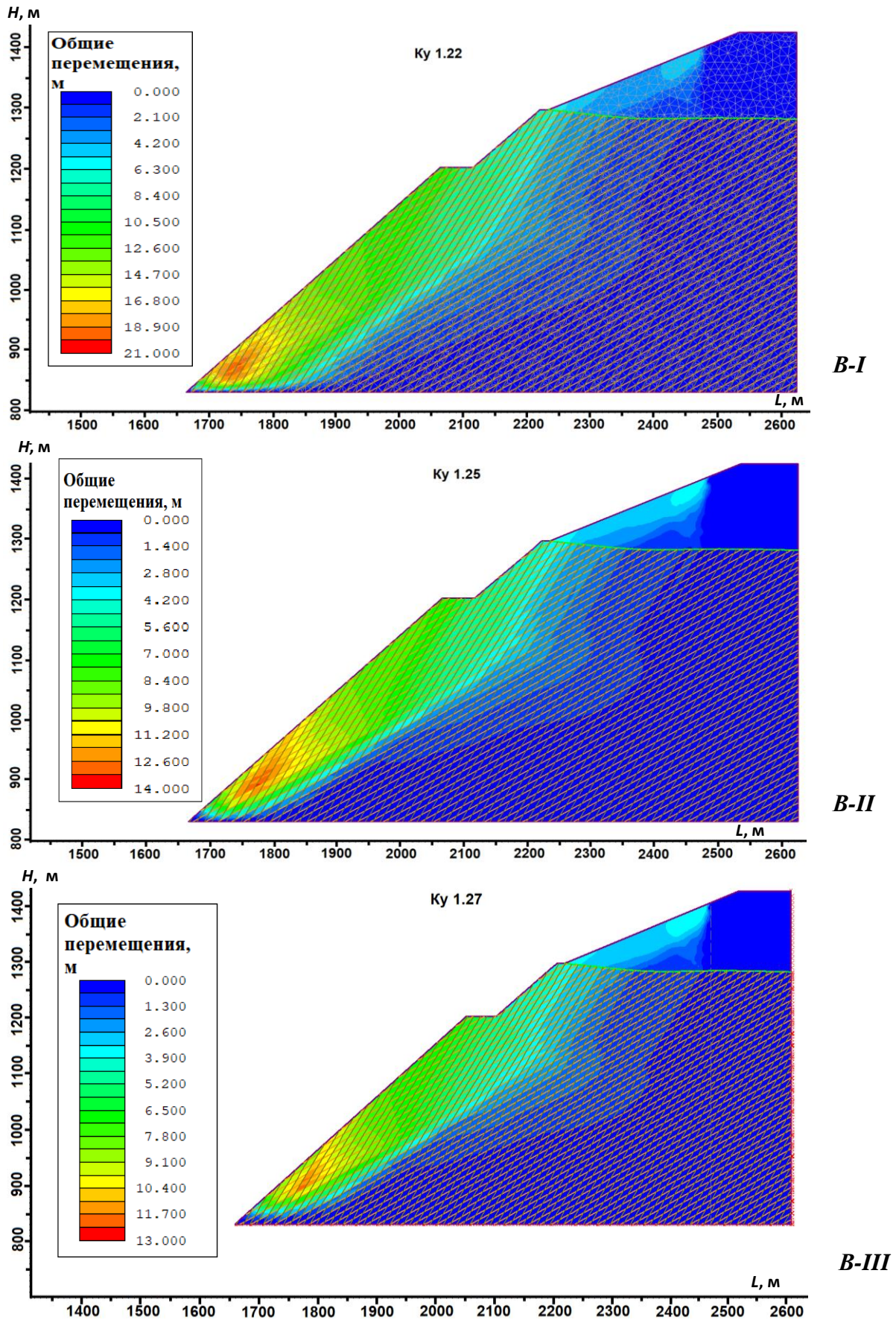


Рис. 11. Результаты моделирования устойчивости борта карьера с целью оценки влияния прочности скальных грунтов на коэффициент устойчивости ( $K_y$ ): *В-I*, *В-II*, *В-III* – варианты расчёта

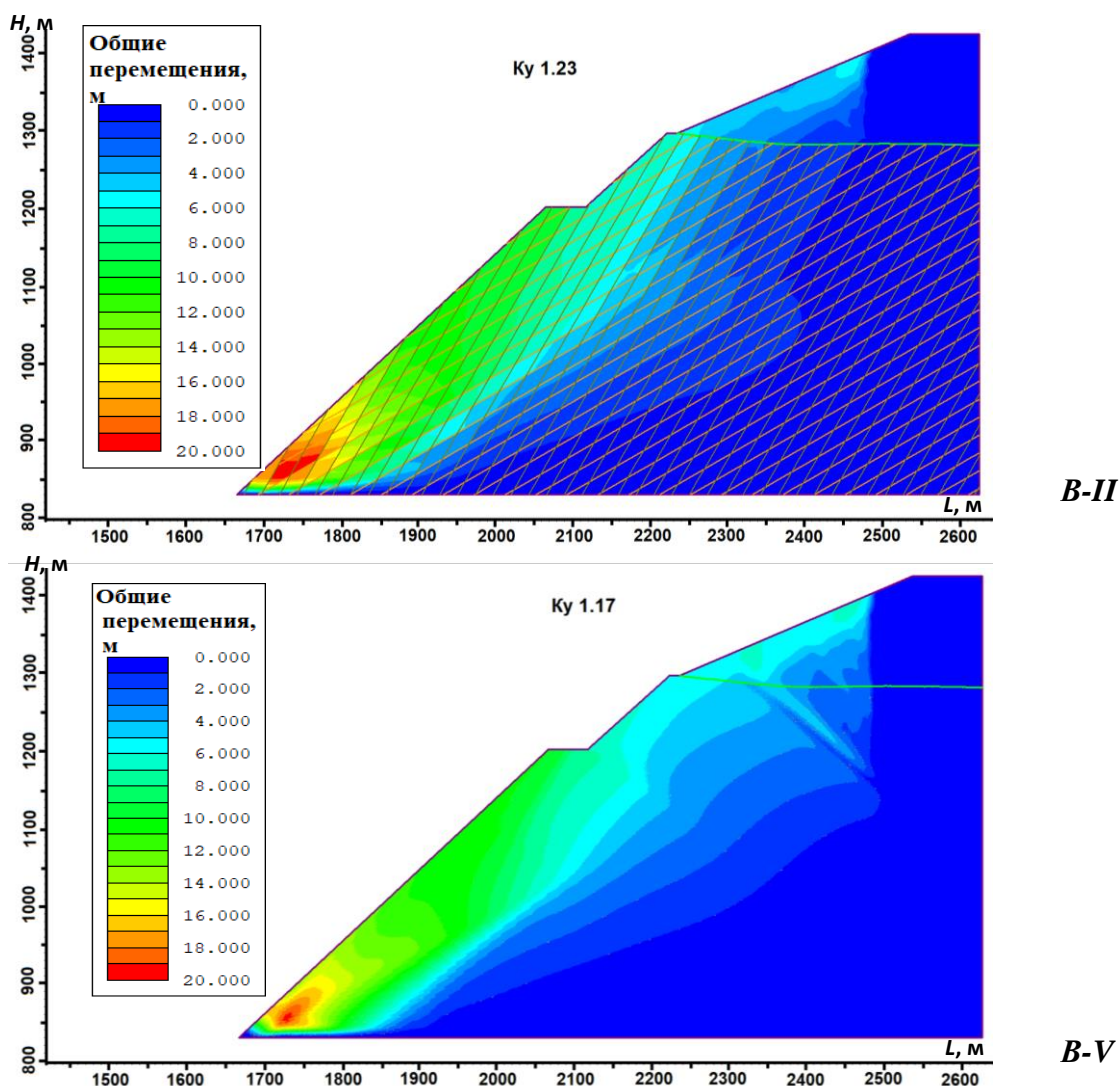


Рис. 12. Результаты моделирования устойчивости борта карьера методом конечных элементов с целью оценки влияния блочности массива скальных грунтов на коэффициент устойчивости ( $K_u$ ): *B-II–B-V*– варианты расчёта

## ГЛАВА 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ «ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ»

Оптимальное функционирование достигается в результате анализа информации, характеризующей динамику ПТС. Развитие процессов, инициируемое технологическими работами, носит прогрессирующий характер в пространственно-временном отношении. Система мониторинга позволяет устанавливать основные тенденции распространения негативных последствий. Это предопределяет отношение к пространственной системе пунктов получения информации, набору наблюдаемых параметров и режима их наблюдений.

Сокращение негативных последствий возможно только при чётком понимании процессов развивающихся в сфере взаимодействия природно-технических систем (ПТС) «Железорудные месторождения». Изменения состояния природно-технической системы «Железорудное месторождение» в ходе техногенных воздействий иллюстрирует функциональная блок-схема (рис. 13).

Обеспечение безопасности ведения горных работ требует мониторинга за состоянием приоткосных массивов. Система мониторинга включает: – инженерно-геологическое обследование состояния откосов и мест проявления инженерно-геологических процессов; – инженерно-геологическая типизация бортов карьера с учётом литолого-петрографического состава, условий залегания пород, их трещиноватости, блочности и свойств, гидрогеологических условий; – обоснование местоположения наблюдательных профилей и количество реперов с учётом выделенных инженерно-геологических элементов; – маркшейдерские инструментальные измерения по реперам, позволяющие определить показатели, характеризующие процессы деформирования прибортовых (приоткосных) массивов; – опробование горных пород для лабораторных исследований с целью оценки снижения прочности горных пород под влиянием процесса выветривания, перманентно развивающегося при вскрытии массива; – сравнительный анализ расчётных и натурных данных, характеризующих устойчивость бортов карьера и обоснование оптимальных их углов заложения.

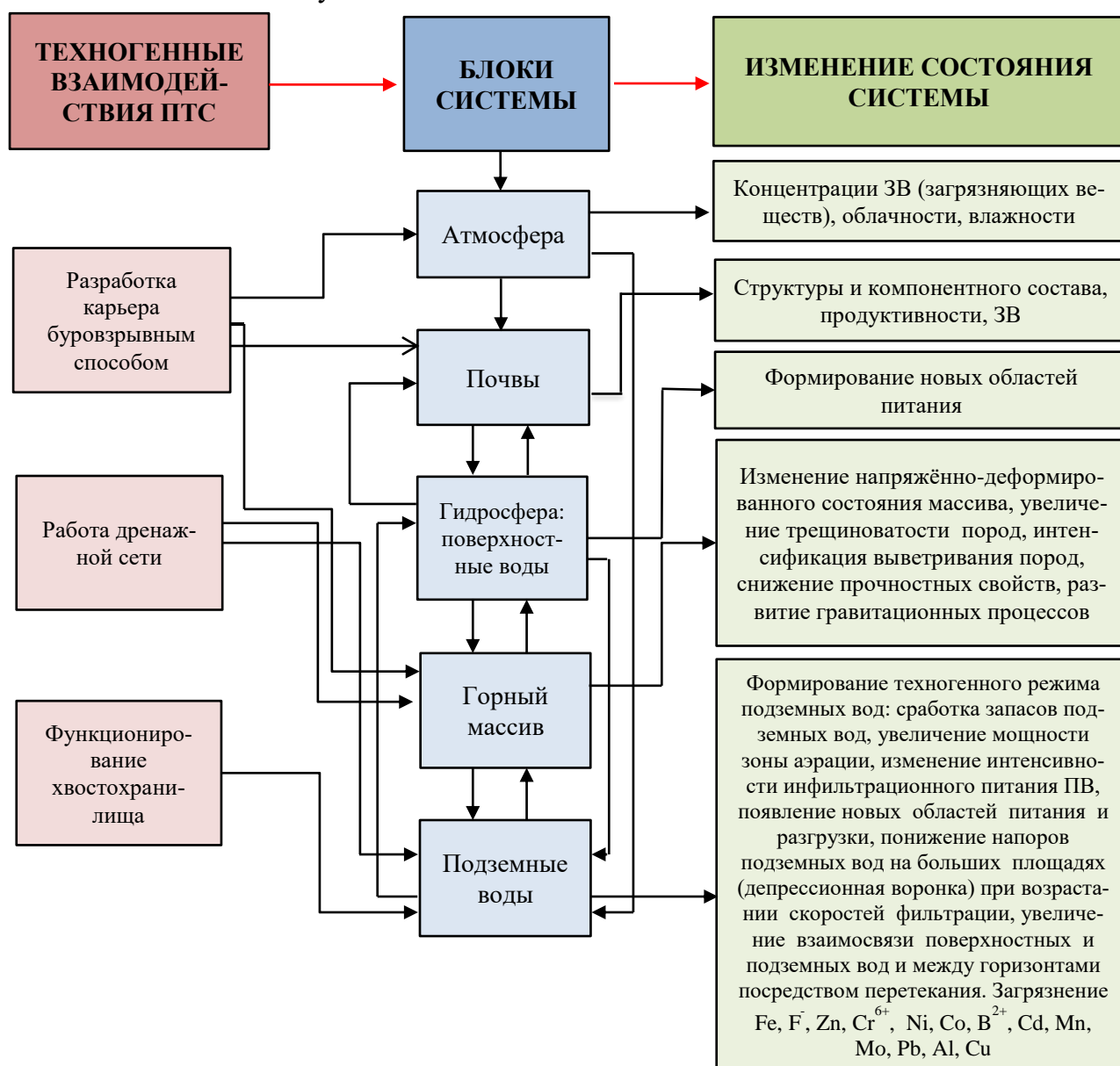


Рис.13. Функциональная блок-схема природно-технической системы активно-разрабатываемого железорудного месторождения

**Оптимизация системы наблюдения за уровнем подземных вод по результатам анализа временных рядов.** Существующий массив данных за уровнем подземных вод (2004–2015 гг.) позволил автору обосновать алгоритм оптимизации информации, включающий: разделение гидрогеологических полей на области, отличающиеся гидрогеологическим режимом; установление тренда в изменении параметров; оптимизацию числа наблюдений. Графики изменения уровней подземных вод во времени содержат флуктуации, относящиеся к периодам снеготаяния и обильных осадков и снижение уровней в остальное время года (рис. 14). В ходе анализа были использованы две выборки данных: первая включала ежемесячные данные по замерам уровня подземных вод, вторая – ежеквартальные (см. рис.14).

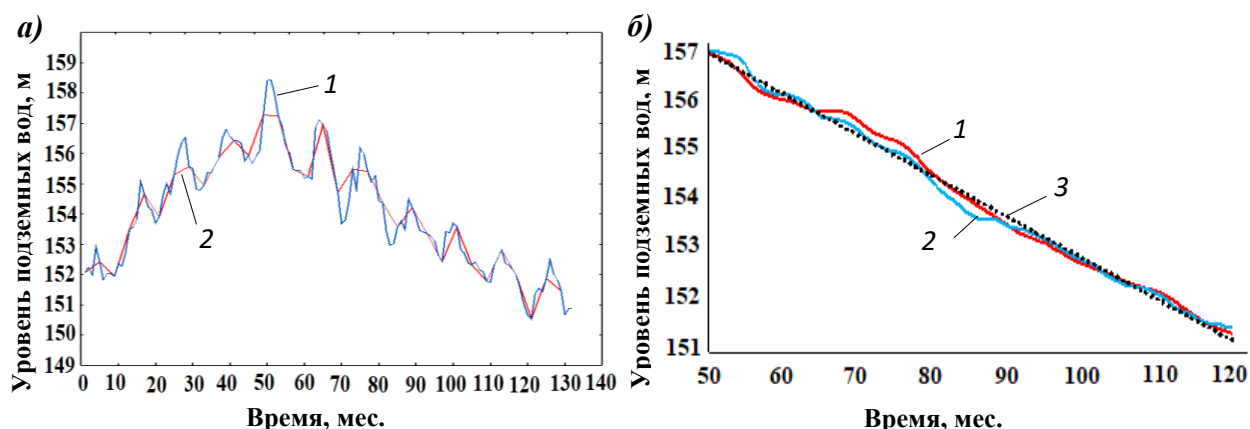


Рис. 14. Временные ряды (а) и тренд изменения (б) уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта по данным наблюдений 2004 – 2015 гг.: 1 – кривые аппроксимации ежемесячных замеров; 2 – кривые аппроксимации ежеквартальных замеров; 3 – линия тренда

Для выявления общих тенденций изменения уровня подземных вод и с целью прогноза его дальнейшего изменения, на основе рассмотренных выше временных рядов были построены графики скользящего среднего. В процессе аппроксимации временных рядов установлено, что уравнение линейного тренда по ежемесячным и ежеквартальным замерам совпадает при достоверности 0,99. Таким образом, система наблюдений может быть оптимизирована за счёт перехода от ежемесячных наблюдений к ежеквартальным, при сохранении качества получаемых результатов.

**Пути управления ПТС «Железорудные месторождения» на базе моделей устойчивости бортов карьеров.** Задачи управления локальными ПТС могут решаться с учётом перекрёстных связей. В теории Больших систем «large-scale interconnected» основное внимание уделяется перекрёстным связям, когда переменные одной подсистемы входят в описание других систем. Это характеризует взаимодействие подсистем друг с другом, минуя центр [Литвинчев И.С., Цурков В. И.]. Метод оптимального управления ПТС «Железорудные месторождения» в части устойчивости бортов карьера базируется на двух-уровневых системах с перекрёстными связями. В качестве минимизированных критериев функционирования рассматриваются отклонения текущего состояния от предельно-допустимых. В качестве оптимизированных параметров

– уровень надъюрского водоносного горизонта, прочностные свойства альб-сеноманских песков и девонских глин, трещиноватость и блочность докембрийского массива. Предлагаемый подход является одним из путей, обеспечивающих устойчивость бортов карьера при длительной его эксплуатации.

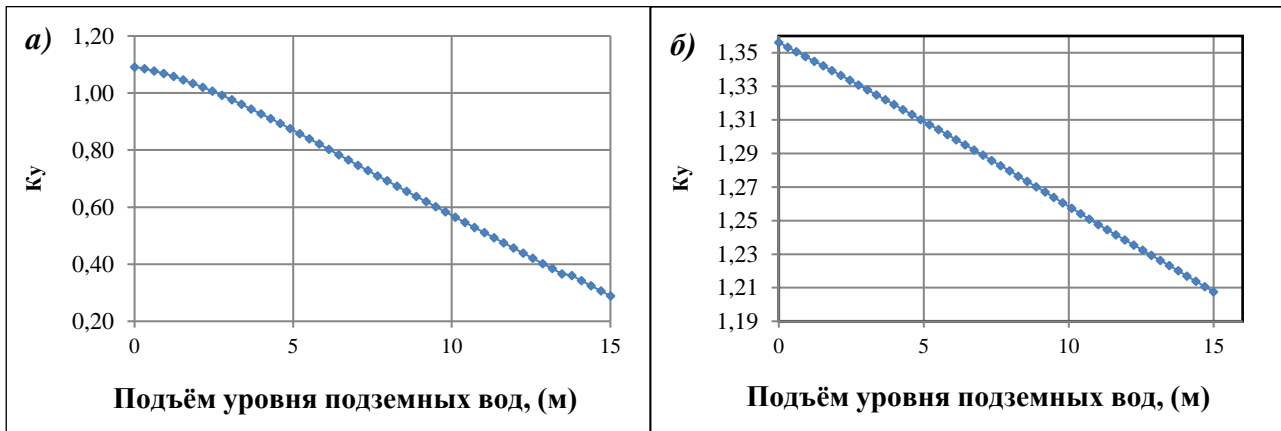


Рис. 16. Влияние подъёма уровня надъюрского водоносного горизонта на локальную (а) и глобальную (б) устойчивость борта карьера ( $K_u$ ), метод Morgenштерн-Прайса

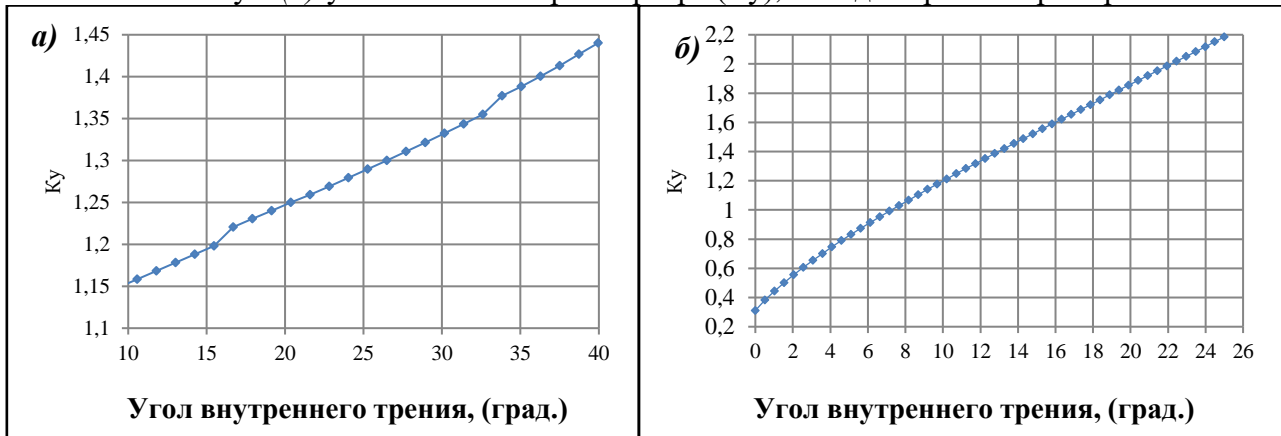


Рис. 17. Влияние на глобальную устойчивость борта карьера ( $K_u$ ) углов внутреннего трения альб-сеноманских песков (а), метод Morgenштерн-Прайса и девонских глин (б), метод Бишопа

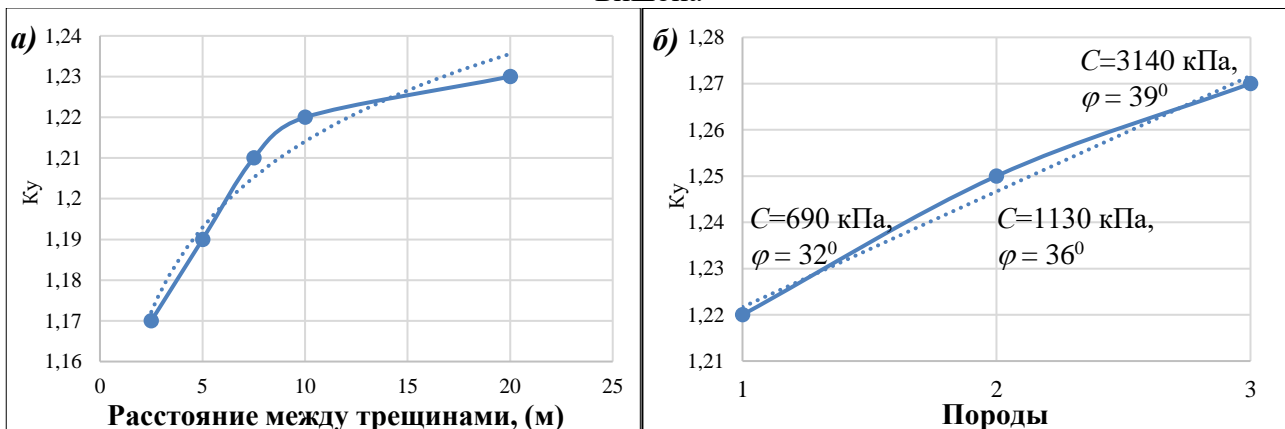


Рис. 18. Зависимость коэффициента устойчивости ( $K_u$ ) борта карьера от блочности (а) и прочности (б) скального массива: 1 – сильнотрещиноватые породы; 2 – среднетрещиноватые породы; 3 – слаботрещиноватые породы

Графики зависимости коэффициента устойчивости ( $K_u$ ) от выше перечисленных факторов свидетельствуют о снижении устойчивости бортов карьера при: повышении

уровня подземных вод (рис. 16), снижении угла внутреннего трения при водонасыщении альб-сеноманских песков (рис. 17, *а*), снижении прочностных свойств глин девонского возраста при повышении их влажности (рис. 17, *б*), увеличении трещиноватости и блочности рудно-кристаллических пород массива (рис. 18).

Результаты хорошо согласуются с общепризнанными представлениями о причинах нарушения устойчивости приоткосных зон массива. Достоинством полученных данных является возможность установления по графикам предельных значений изменения факторов, определяющих как локальную, так и глобальную устойчивость бортов карьера (Ку), при которых система не выйдет из области допустимых состояний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Рассмотрена структура природно-технических систем (ПТС) «Железорудные месторождения КМА». В её пределах открыто 19 месторождений, являющихся ПТС локального уровня и включающих элементарные ПТС: карьеры, хвостохранилища, отвалы вскрышных пород, дренажные сооружения, каждая из которых характеризуется своими особенностями функционирования.
2. Выявлены тенденции изменения компонентов инженерно-геологических условий при длительном функционировании ПТС «Железорудные месторождения». Развитие процессов, инициируемое технологическими работами, носит прогрессирующий характер в пространственно-временном отношении. Длительное функционирование ПТС «Стойленский ГОК» (50 лет) привело к изменению границ, режима и набора процессов.
3. Установлены причины и условия развития инженерно-геологических процессов в ходе функционирования элементарной ПТС «Карьер» железорудных месторождений Стойленского и Лебединского. Буровзрывные работы, перманентное углубление карьера приводят к изменению напряжённого состояния, разуплотнению пород, увеличению трещиноватости массива, скорости выветривания, снижению прочностных свойств пород, слагающих борта карьера, активизации инженерно-геологических процессов: обрушения; оползания; поверхностной эрозии. Формирование техногенного режима подземных вод (образование депрессионной воронки, возникновение градиентов напора и возрастание скоростей фильтрации; увеличение мощности зоны аэрации; изменение интенсивности инфильтрационного питания подземных вод; увеличение степени взаимосвязи поверхностных и подземных вод) провоцирует возникновение в бортах карьера таких горно-геологических процессов как: механическая и химическая суффозия, фильтрационные деформации, оплывание. Обеспечение устойчивости борта карьера, безаварийное ведение горнодобывающих работ при длительной эксплуатации месторождения, является первоочередной задачей.
4. Разработан алгоритм оптимизации углов откосов карьера глубокого заложения включающий: выделение инженерно-геологических комплексов (ИГК), различающихся горно-геологическими условиями и механизмом формирования гравитацион-



ных процессов; инженерно-геологическую типизацию бортов карьера с учётом состава и свойств грунтов, динамики техногенного водоносного горизонта; выбор расчётных параметров для численного прогнозирования состояния откосов карьера; обоснование и реализацию геомеханических моделей расчёта устойчивости бортов карьера с учётом основных причин и условий, определяющих развития процессов.

5. Дана оценка устойчивости бортов карьера на конечных контурах, выполненная с использованием современных технологий (компьютерных программ), которая показала, что принятые в настоящее время углы заложения откосов в осадочной толщине являются недостаточными для обеспечения длительной устойчивости борта карьера Ку 1,1–1,3. Расчёты устойчивости выполнены в программном комплексе Rocscience; методами предельного равновесия – в Rocscience Slide 7, методом конечных элементов – в Rocscience RS2. Основные факторы, определяющие устойчивость бортов карьера: нестационарный гидрогеологический режим и связанные с ним суффозионные процессы в песках (локальная потеря устойчивости откоса) и колебание порового давления в глинах девонского возраста (основной деформируемый горизонт при глобальной потере устойчивости борта).
6. Предложен алгоритм оптимизации углов откосов бортов карьера, заложенных в рудно-кристаллической толще, с учётом анизотропии прочностных свойств пород, трещиноватости и блочности скального массива. В настоящее время борт карьера в скальном массиве с «неблагоприятной» ориентацией систем трещин: (с падением субгоризонтальных трещин в сторону карьера –  $30^\circ$ , субвертикальные –  $60^\circ$ ), находится в состоянии близком к предельному равновесию: продолжающаяся разработка карьера ведёт к возрастанию рисков его эксплуатации.
7. Дальнейшая разработка карьера (проектная мощность 450 м) требует контроля состояния приоткосных массивов в рамках модернизации мониторинга. Анализ временных рядов за 15-летний период за уровнем техногенного водоносного комплекса позволяет оптимизировать систему мониторинга с переходом от ежемесячных наблюдений к ежеквартальным при сохранении качества получаемых результатов.
8. Прогнозные оценки устойчивости бортов карьера должны выполняться с учётом изменения компонентов инженерно-геологических условий под влиянием техногенных взаимодействий производственного процесса: динамики подземных вод, снижении прочностных свойств пород вскрыши (альб-сеноманских песков и девонских глин) при увеличении их влажности, возрастании трещиноватости и блочности рудно-кристаллических пород.
9. В соответствии с Теорией больших систем «large-scale interconnected» управление локальными ПТС в части устойчивости бортов карьера, может базироваться на двухуровневых системах с перекрёстными связями. В качестве минимизированных критериев функционирования рассматриваются отклонения текущего состояния от предельно допустимого (Ку). В качестве оптимизированных параметров (факторов) – уровень надбюрского водоносного горизонта, прочностные свойства альб-сеноманских песков и девонских глин; прочность, трещиноватость и блочность докембрийского кристаллического массива.

10. Полученные прогнозные оценки устойчивости бортов карьера могут быть использованы при проектировании и разработке месторождений со сходными инженерно-геологическими условиями.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### А. Публикации в журналах из списка рекомендованных ВАК

1. *Житинская О.М., Ярг Л.А.* Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) [Текст] / Житинская О.М., Ярг Л.А. // Известия высших учебных заведений. Научно-методический журнал. Геология и разведка. – 2018. – № 1. – С.49-61.
2. *Ярг Л.А., Житинская О.М.* Информационные основы обеспечения оптимальной эксплуатации природно-технических систем «Рудные месторождения» [Текст] / Ярг Л.А., Житинская О.М. // Известия высших учебных заведений. Научно-методический журнал. Геология и разведка. – 2017. – № 5. – С.78-81.
3. *Ярг Л.А., Фоменко И.К., Житинская О.М.* Оценка факторов, определяющих оптимизацию углов заложения откосов при длительной эксплуатации карьера (на примере Стойленского железорудного месторождения КМА) [Текст] / Ярг Л.А., Фоменко И. К. Житинская О.М. // Горный журнал. – 2018. – № 11. – С.76-81.

### Б. Публикации в прочих изданиях

4. *Житинская О.М.* Характер взаимодействия компонентов ПТС «Месторождения КМА» (на примере Старооскольского рудного узла) [Текст] / Житинская О.М. // Материалы III Всероссийской научной конференции «Малышевские чтения». – Старый Оскол: СОФ МГРИ-РГГРУ. – 2017. – С. 68-73.
5. *Житинская О.М.* Обеспечение оптимального функционирования ПТС «Хвостохранилища КМА» на базе прогноза техногенных изменений свойств компонентов системы (на примере Лебединского месторождения) [Текст] / Житинская О.М. // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М.: МГРИ-РГГРУ. – 2015. – С. 292-294.
6. *Житинская О.М., Ярг Л.А.* Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) [Текст] / Житинская О.М., Ярг Л.А. // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М.: МГРИ-РГГРУ. – 2017. – С. 181-182.
7. *Ярг Л.А., Житинская О.М., Фоменко И.К.* Оптимизация системы мониторинга природно-технической системы «Железорудные месторождения» на базе анализа временных рядов [Текст] / Ярг Л.А., Фоменко И.К., Житинская О.М., // Материалы Международной научно-практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее». – М.: МГРИ-РГГРУ. – 2018. Т. 2. – С. 220-221.
8. *Житинская О.М.* Оптимизация системы наблюдения за уровнем подземных вод по результатам анализа временных рядов (на примере КМА) [Текст] / Житинская О.М. // Материалы межрегиональной научно-практической конференции, посвящённой 85-летию добычи первой руды КМА «Миссия КМА в историческом и социально-экономическом развитии региона и России». – Губкин, Старый Оскол: ООО «Ассистент плюс». – 2018. – С. 105-111.