



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего образования
**«Российский государственный геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе»
(МГРИ)**

На правах рукописи

ЖИТИНСКАЯ ОЛЬГА МИХАЙЛОВНА

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

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
д-р. геол.-минерал. наук,
профессор
Ярг Л.А.

Научный консультант:
д-р. геол.-минерал. наук,
профессор
Фоменко И.К.

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Исторические аспекты изучения инженерно-геологических условий железорудных месторождений КМА	9
Выводы.....	25
Глава 2. Природно-техническая система «Железорудные месторождения»	26
2.1. Теоретические основы.....	26
2.2. Особенности строения сферы взаимодействия.....	27
2.2.1. Геологическое и инженерно-геологическое строение.....	27
2.2.2. Разрывные тектонические нарушения и трещиноватость массива скальных пород.....	35
2.2.3. Гидрогеологические условия.....	36
2.3. Основные элементы структуры железорудных месторождений «Лебединское»-«Стойленское»	43
2.4. Особенности функционирования локальной ПТС «Железорудное месторождение» в период длительной эксплуатации	50
Выводы.....	52
Глава 3. Тенденции изменения компонентов гидрогеологических условий железорудных месторождений при длительной разработке открытым способом.....	53
3.1. Формирование техногенного гидродинамического режима подземных вод.....	59
3.2. Изменение химического состава подземных вод в ходе эксплуатации месторождения. Источники загрязнения. Пути миграции загрязняющих веществ. Компонентный состав техногенных вод	67
Выводы.....	76
Глава 4. Геодинамическое состояние и степень устойчивости бортов карьера.....	78
4.1. Инженерно-геологические процессы, причины и условия их развития на территории ПТС «Стойленского и Лебединского карьеров».....	77
4.2. Алгоритм оптимизации углов заложения откосов бортов карьера.....	83

4.3. Инженерно-геологическая типизация бортов карьера.....	84
4.4. Расчётные модели устойчивости бортов Стойленского-Лебединского карьеров и прогноз дальнейшего состояния откосов	86
4.4.1. Оценка устойчивости бортов карьера на конечных контурах, формирующихся в толще осадочного чехла (ИГК-1).....	87
4.4.2. Оценка устойчивости бортов карьера, сложенных скальными грунтами рудно-кристаллической толщи (ИГК-2).....	96
Выводы.....	105
Глава 5. Информационные основы обеспечения оптимальной эксплуатации природно-технических систем «Железорудные месторождения».....	108
5.1. Показатели изменения геологической среды.....	108
5.2. Оптимизация системы наблюдения за уровнем подземных вод по результатам анализа временных рядов.....	116
5.3. Мониторинг за состоянием бортов карьера.....	121
5.4. Пути управления ПТС «Железорудные месторождения» на базе моделей устойчивости бортов карьеров.....	122
Выводы.....	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Курская магнитная аномалия – крупнейшая в мире железорудная провинция Земного шара площадью 125000 км² 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-деформационное 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 развитием 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: определенным 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 состояния 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.; Межрегиональные Терентьевские чтения «Наука на КМА: история и современность», посвящённых Дню российской науки и 100-летию со дня рождения В.И. Терентьева, первого директора Научно-исследовательского института по проблемам КМА, Губкин: МБУК «Музей истории КМА», 2016 г.; XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва: МГРИ-РГГРУ, 2017 г.; III Всероссийская научная конференция «Малышевские чтения», Старый Оскол: СОФ МГРИ-РГГРУ, 2017 г.; Межрегиональная научно-практическая конференция: «Миссия КМА в историческом и социально-экономическом развитии региона и России», посвящённой 85-летию добычи первой руды КМА, Губкин: МБУК «Музей истории КМА», 2018 г.; Международная научно-практическая конференция «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ)», Москва: МГРИ-РГГРУ, 2018 г.; II Общероссийская научно-

практическая конференция молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве», Москва: ООО «ИГИИС», 2018 г.; Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы геологии», Старый Оскол: СОФ МГРИ, 2019 г.

Публикации

По теме работы опубликовано в открытой печати 10 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК.

Структура и объём работы

Диссертация общим объёмом 145 страниц, состоит из введения, 5 глав и заключения. Работа содержит 11 таблиц, 57 рисунков. Список литературы включает 110 наименования на 15 страницах.

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 за конструктивные и полезные советы. Особо хочется поблагодарить 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 ООО НТЦ НОВОТЭК, АО «Стойленский ГОК», АО «Лебединский ГОК». За оказанное содействие автор выражает им свою признательность.

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

Железорудная провинция Курской магнитной аномалии (КМА) располагается в хорошо освоенном Центральном-Черноземном районе европейской части России. По запасам и качеству железных руд бассейну КМА принадлежит ведущее место в мире, по добыче – первое место в России [22]. Выгодное географическое положение Курской железорудной провинции по отношению к металлургическим заводам европейской части России, высокие перспективы на увеличение промышленных запасов богатых руд и легкообогащаемых железистых кварцитов позволяют считать этот регион главной железорудной базой России. Интенсивное промышленное освоение железорудного бассейна КМА началось в 60-х годах.

Курская магнитная аномалия простирается с юго-востока на северо-запад на 625 км при ширине 150–250 км; площадь её составляет около 125000 км² [21]. К железорудному бассейну КМА относится центральная часть этой территории (Курская, Белгородская, частично Орловская, Брянская и Воронежская области), где на площади 70 тыс. км² сосредоточены все представляющие практический интерес месторождения, участки и аномалии железных руд (рис. 1.1).

На территории Белгородской области находятся 14 из 18 разведанных и учтённых Государственным балансом месторождений железных руд КМА с запасами 51,1 млрд т. [104]. В Оскольском железорудном районе расположено 9 месторождений: Коробковское, Лебединское, Стойло-Лебединское, Стойленское, Приоскольское, Салтыковское, Осколецкое, Погромецкое и Чернянское, балансовые запасы которых представлены главным образом легкообогащаемыми кварцитами в количестве суммарно 18,05 млрд т. [104]. Пространственное распространение основных железорудных месторождений и перспективных участков показано на рисунке 1.2. В настоящее время на Лебединском,

Михайловском и Стойленском месторождениях открытым способом ведётся добыча железистых кварцитов, а на последних двух – и богатых железных руд.

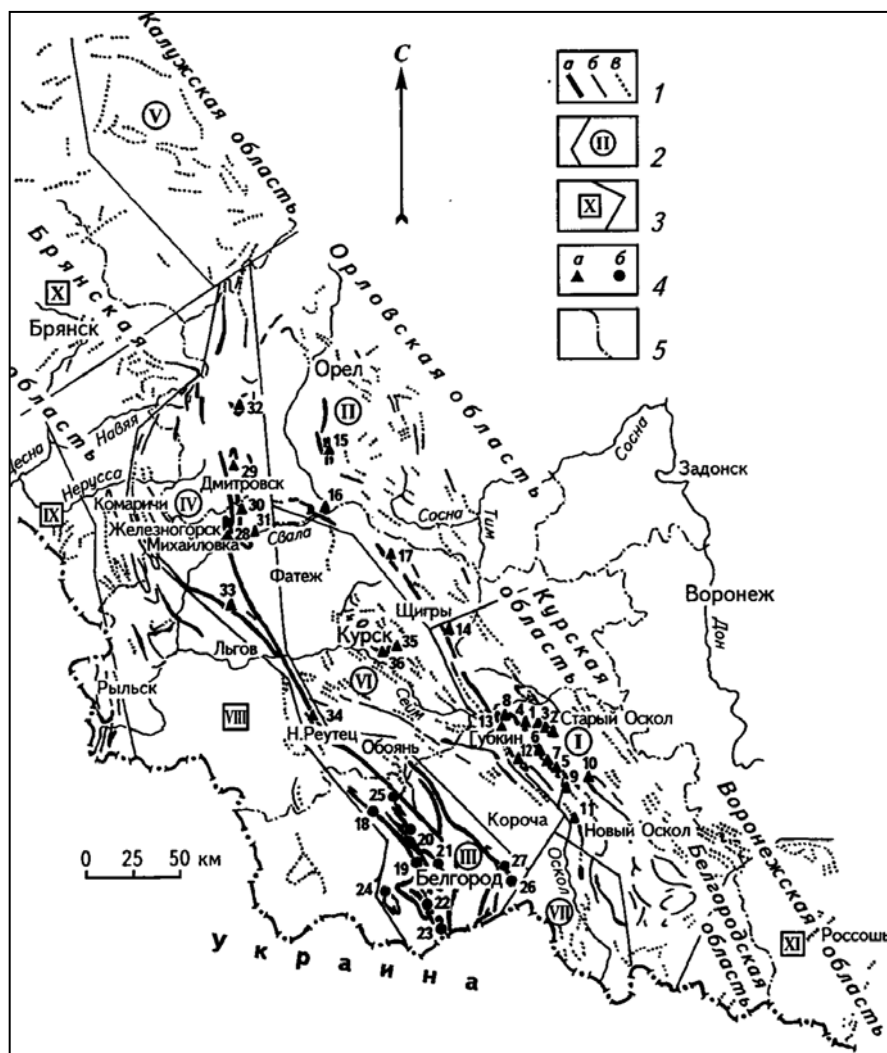


Рис. 1.1. Обзорная схема Курской магнитной аномалии [21]: 1 – вызывающие магнитные аномалии железорудные толщи мощностью от 200 до 1000 м и более (а), от 30 до 200 м (б), до 30 м и неясных масштабов (в); 2 – железорудные районы: I – Оскольский, II – Орловский, III – Белгородский; IV – Михайловский, V – Баятинский, VI – Курский, VII – Валуйский; 3 – металлогенические зоны (VIII – Льговская, IX – Крупецкая) и области (X – Брянская, XI – Россошанская); 4 – железорудные месторождения, участки железистых кварцитов (а), богатых руд (б): *Оскольский железорудный район*: 1 – Лебединское, 2 – Стойленское, 3 – Стойло-Лебединское, 4 – Коробковское, 5 – Приоскольское, 6 – Салтыковское, 7 – Александровское, 8 – Панковское, 9 – Чернянское, 10 – Северо-Волотовское, 11 – Погромецкое, 12 – Огибнянское, 13 – Осколецкое, 14 – Щигровский; *Орловский рудный район*: 15 – Орловское, 16 – Воронежское, 17 – Петровский; *Белгородский рудный район*: 18 – Яковлевское, 19 – Висловское, 20 – Гостищевское, 21 – Мелихово-Шебекинское, 22 – Разуменское, 23 – Таволжанский, 24 – Олимпийское, 21 – Ольховатское, 26 – Шамраевское, 27 – Большетроицкое; *Михайловский рудный район*: 28 – Михайловское, 29 – Новоялтинское, 30 – Курбакинское, 31 – Лев-Толстовский, 32 – Нарышкинский, 33 – Яценское, 34 – Дичнянско-Реутецкое; *Курский металлогенический район*: 35 – Бесединский, 36 – Кувшиновский; 5 – границы административных областей.

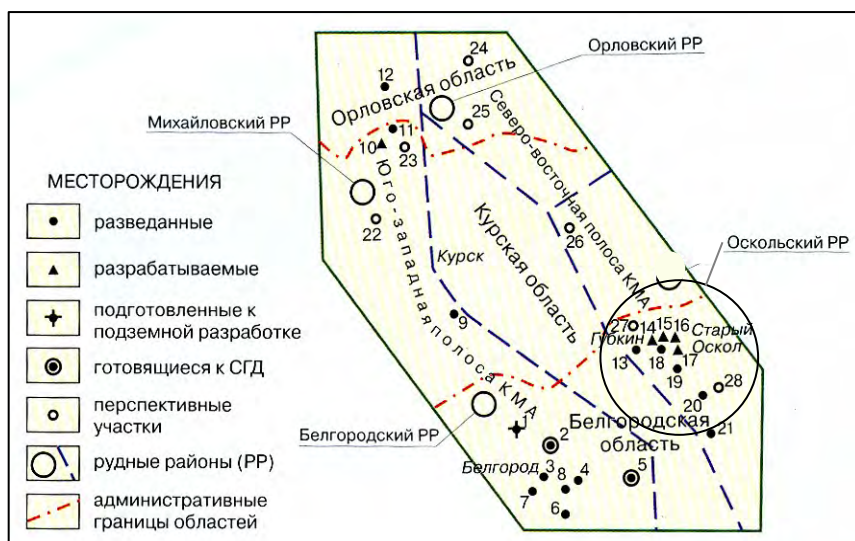


Рис. 1.2. Железорудные месторождения и перспективные участки бассейна КМА [104]: 1 – Яковлевское; 2 – Гостищевское; 3 – Висловское; 4 – Мелихово-Шебекинское; 5 – Большетроицкое; 6 – Разуменское; 7 – Олимпийское; 8 – Соловьевское; 9 – Дичнянско-Реутское; 10 – Михайловское; 11 – Курбакинское; 12 – Новоялтинское; 13 – Осколецкое; 14 – Коробковское; 15 – Лебединское; 16 – Стойло-Лебединское; 17 – Стойленское; 18 – Салтыковское; 19 – Приоскольское; 20 – Чернянское; 21 – Погромецкое; 22 – Яценский участок; 23 – Лев-Толстовский участок; 24 – Орловский участок; 25 – Воронцовский участок; 26 – Щигровский участок; 27 – Панковский участок; 28 – Северо-Волотковсчкий участок

Геологические исследования КМА. Явления Курской магнитной аномалии установлены в 1783 г. академиком П.Б. Иноходцевым [21]. В 1874 г. И.Н. Смирновым в результате выполненной им магнитной съёмки были выделены магнитные аномалии в районе Белгорода. В период 1898-1918 гг. Э. Е. Лейстом теоретически обосновано наличие 225 млрд. пудов железных руд на участках аномалий вблизи городов Обоянь, Белгород, Старый и Новый Оскол, Щигры, Фатеж.

Весомые результаты исследований по изучению КМА (1918-1926 гг.) связаны с именами П.П. Лазарева, И. М. Губкина, А.Д. Архангельского, В.И. Лучицкого, Н. И. Свительского, А.П. Карпинского, К.П. Козина, И.И. Корбуша и др. [21]. Геологические работы 1921-1926 гг. (бурение скважин и магнитных наблюдений) позволили И.М. Губкину дать прогноз о наличии 200 млрд. тонн железной руды в аномальной полосе длиной 250 км и выделить перспективные районы Щигров и Старый Оскол.

Проведённые в 1950-1955 гг. гидрогеологические и инженерно-геологические исследования на Лебединском и Михайловском месторождениях

подтвердили рентабельность отработки богатых руд открытым способом, после чего параллельно с разведкой началось проектирование Лебединского и Михайловского рудников. В 1955-1978 гг. поисковые и разведочные работы в бассейне КМА выполнялись Геологическим управлением центральных районов (ГУЦР), затем ПГО «Центргеология» (1978-1991гг.). Общее геологическое руководство осуществлялось М.Н. Доброхотовым (1955-1959 гг.), И.Н. Леоненко (1958-1980 гг.), В.П. Дмитриевым (1980-1990 гг.). Основные геологоразведочные работы были сосредоточены на Лебединском, Михайловском, Стойленском и Чернянском месторождениях. Изучению железорудных формаций, стратиграфии и минералогии докембрия КМА посвящены работы учёных Воронежского государственного университета (Плаксенко Н.А., Щеголев И.Н. и др.).

В 1969-1972 гг. под редакцией И.Н. Леоненко опубликована трёхтомная монография «Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии», в которой дана сравнительная оценка железорудных месторождений КМА [13].

За последующие 30 лет в регионе выполнены огромные объёмы геологоразведочных работ, в результате которых, проведена количественная и качественная оценка минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий и всего региона КМА. Были разведаны и оценены новые месторождения богатых железных руд и легкообогатимых железистых кварцитов, выполнено металлогеническое районирование и крупномасштабное прогнозирование железорудных ресурсов всей провинции. Полученный при этом огромный фактический материал в 1982 г. систематизирован в коллективной монографии «Железорудные формации докембрия КМА и их перспективная оценка на железные руды» (Голивкин Н.И., Дунай Е.И., Епифанов Б.П. и др. [23]).

В 1986-1989 гг. проведено изучение железорудных районов КМА с целью определения перспектив развития сырьевой базы территориально-производственного комплекса КМА (Соколов Н.А., Кузьмин Г.И. и др.). Рудным районам (металлогеническим зонам, месторождениям и перспективным участкам)

даны горнотехнические характеристики, рассчитаны технико-экономические показатели для подземного и открытого способов добычи железных руд, произведены их минералого-технологическая типизация и эколого-промышленная классификация.

В 1990 г., в соответствии с межведомственной программой по изучению железисто-кремнистых формаций докембрия европейской части СССР, опубликована монография «Прогнозная оценка железорудных месторождений», в которой В.П. Орловым и Н.И. Голивкиным обобщены и прогнозированы новые фактические материалы по условиям образования и закономерностям размещения железных руд КМА, выполнено металлогеническое районирование Курской железорудной провинции, оценены прогнозные и потенциальные рудные ресурсы, даны перспективы развития сырьевой базы железорудной промышленности [22].

В 1991-1997 гг. исследования по теме «Обобщение и систематизация материалов по железорудным месторождениям КМА», явились основной монографией «Железные руды КМА» (Голивкин Н.И., Орлов В.П., Романов И.И., Соколов Н.А., Фоминов Ю.М., Шевырёв И.А. и др., 2001 г.). Издание этой книги приурочено к 300-летию горно-геологической службы России. «Приятно осознавать, что в числе величайших открытий геологической службы страны за предыдущие 300 лет на одном из первых мест стоит выявление, разведка и промышленное освоение КМА – ведущей в России и крупнейшей в мире железорудной провинции, уникального геологического явления, исследования которого являются классическим достоянием мировой геологии» [21]).

В 1998 г. завершены работы по составлению геолого-экономической карты железорудных месторождений КМА масштаба 1:500000 (Соколов Н.А.). Рассчитаны экономические показатели железорудных месторождений и перспективных участков в ценах на 01.01.1997 г. общий экономический потенциал ресурсов железистых руд КМА составляет 1154 млрд. дол. США, в том числе чистая прибыль – 471 млрд. дол. США [21].

После 2000 гг. работы сосредоточены на доразведке отдельных месторождений.

Добыча богатых руд на Лебединском месторождении началась 26 декабря 1959 г., на Стойленском – 20 июня 1969 г.

Инженерно-геологическая и гидрогеологическая изученность. 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.

В послереволюционный период проведены следующие работы: геологическая съёмка десятивёрстного масштаба (Даньшин Б.М., Добров С.А. и др.); среднемасштабная гидрогеологическая съёмка по реке Оскол (Русинович Н.А., Захаревич Д.В., Краснопевцев Н.Д.); изучение подземных вод для водоснабжения (Голубкович В.И., Гравцева В.Н.); выход сводных работ по подземным водам (Дубянский А.А., Семихатов А.И., Плотников Н. А.); составлен комплект мелкомасштабных карт (Зайцева Н.П., Молярова И.А., Титова Н. А. и др.).

В период с 1930 по 1940 г. в Старооскольском и Губкинском районах проводятся поиски и разведка железорудных месторождений и первые гидрогеологические исследования на железорудных месторождениях, результаты которых приведены в работах Н.А. Русиновича, В.Т. Варфоломеева, А. И. Дружинина, С. Г. Лиференко, В. Ф. Прейса и др [15].

В 1955-1957 гг. выполнена комплексная геологическая съёмка масштаба 1:200 000, в результате которой собран обширный материал по подземным водам, составлены описания водоносных горизонтов с их количественной и качественной характеристиками, даны рекомендации по практическому их использованию, освещены вопросы формирования, питания и разгрузки подземных вод (Евтехова

Е.К., Горбаткина Т.Е., Аполлонова И.П., Алексеев А.А., Архипова А.А., Михайлова Т.А. и др.).

В 1958-1963 гг. проведена среднемасштабная инженерно-геологическая съёмка в северо-западной и юго-восточной площади района, составлены инженерно-геологические и гидрогеологические карты с подробной характеристикой инженерно-геологических и гидрогеологических условий железорудных месторождений (Акинфеева О.К., Захаров И.О., Иванова И.А., Ишутин В.П. и др.).

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. Этот период являлся наиболее плодотворным в изучении гидрогеологических и инженерно-геологических условий Коробковского, Лебединского, Стойленского, Чернянского и других железорудных месторождений (Кулибаба Ф. В., Курлянд Е. Н., Небосенко В. Ф., Бурмистров М. Н. и др.).

С 1951-1958 гг. работы на Лебединском, Осколецком, Стойленском, Салтыково-Александровском железорудных месторождениях выполнялись под методическим руководством ВСЕГИНГЕО партиями ГУЦР. С 1952 г. изучением Старооскольского железорудного района занималась Лаборатория гидрогеологических проблем АН СССР под руководством В.А. Приклонского и И.В. Попова. Исследованиями юрских пород занималась И.Г. Коробанова (1963); плавунностью батских и волжских песков И.М. Горькова (1957) [19]; деформациями откосов карьера В.Н. Славянов (1953 г., 1959 г., 1964 г.) [65-69].

В 1955-1957 гг. институтом «Фундаментпроект» выполнены инженерно-геологические изыскания на участке строительства первой очереди Лебединского карьера и дано заключение об инженерно-геологических условиях участка (Гунн В.Я. [20], и др., 1957 г.).

Типизацией инженерно-геологических условий и вопросами инженерно-геологических условий при открытой разработке железорудных месторождений в Старооскольском районе занимались Н.К. Парфенгольц, Ф.В. Кулибаба [33], И.В. Попов [60], Н.Н. Славянов [65-69] и др. (1960-1962 гг.). Испытания физико-механических свойств пород проводила группа ВСЕГИНГЕО под руководством В.Д. Дубровкина (1962 г., 1964 г.). Б.Н. Смирновым [70,71] была составлена схематическая карта гидрогеологического и инженерно-геологического районирования Воронежской антеклизы для оценки региональных условий разработки полезных ископаемых (1964 г., 1966 г.).

В 1960 г. институтом НИИ КМА проведено «Изучение и оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений богатых железных руд КМА» (Перцовский Ю.М. 1964 г. [58,59], Кудинова В.И. 1962 г. [39]).

Для изучения режима подземных вод на территории КМА и прогноза его изменения в связи с разработкой месторождений в 1956 году Геологическим управлением Центральных районов (ГУЦР) создана специальная гидрорежимная партия. В её функции входили: наблюдения за уровнем, расходами, температурой, химизмом подземных вод, за условиями их питания, движения и разгрузки, в естественном залегании и в нарушенных условиях (Плотников В. С., Котлов В. В., Штифанов И. И., Тарасов А. М.). Наиболее полные данные содержат выполненные во ВСЕГИНГЕО работы И.Н. Павлова (1955 г., 1959 г.) [54,55], в которых подведены итоги гидрогеологического и инженерно-геологического изучения территории КМА. В 1960 г. проведён комплекс опытных работ, включающий изучение химического состава подземных вод [40]. По полученным материалам в 1960-1964 гг. ВСЕГИНГЕО, ГУЦР, ГГИ было осуществлено моделирование гидрогеологических процессов на ЭВМ.

В 1961-1968 гг. проводились комплексные работы по оценке общего водного баланса территории КМА и прогнозу его изменений при эксплуатации подземных вод для целей водоснабжения крупных городов и водопонижениях в связи с

разработкой железорудных месторождений. Гидрологическая часть работы по оценке общих водных ресурсов выполнена Государственным гидрологическим институтом (Попов О. В., Образцов Н. Н., Доброумов Б. М. и др.), Геологическим управлением Центральных районов (Небосенко В.Ф., Иванова Н.А., Викторова Л.П., Плотников В. С. и др.). По результатам работ составлены научно-технические отчёты, в которых приводятся оценка ресурсов поверхностных вод на территории КМА, влияния крупных водозаборов на сток поверхностных вод, данные меженного стока и оценка влияния на речной сток дренажных систем железорудных карьеров. Б.Н. Смирновым составлена карта гидрогеологического районирования, на которой выделено 10 гидрогеологических районов по литолого-стратиграфическим особенностям и распространению основных водоносных горизонтов [70].

В 1969-1972 гг. ГУЦР совместно с Воронежским государственным университетом выпустил монографию «Геология, гидрогеология и железные руды КМА, под редакцией А.Т. Бобрышева, В.Д. Бабушкина, Г.Г. Скворцова, Б.Н. Смирнова, С.П. Прохорова, в которой обобщены все материалы по состоянию изученности на 1965-1969 гг.

Основной задачей, стоявшей перед гидрогеологами на этом этапе, была оценка суммарных водопритоков по контуру карьера и разработка эффективной дренажной системы.

В период с 1963 по 2000 г. производятся прогнозные оценки эксплуатационных запасов подземных вод с учётом взаимодействия работы водозаборов и водопонижительных систем Старооскольского железорудного района– Лебединского, Стойленского, Южно-Лебединского карьеров [72].

С 1966 г. институтами НИИ КМА и ВИОГЕМ проводились гидрогеологические и инженерно-геологические исследования по Лебединскому и Стойленскому карьерам. Результаты работ освещены в отчётах, где приводятся данные по режиму подземных вод и инженерно-геологической характеристике

Рис. 1.3. Прогнозная карта снижения уровня сеноман-альбского водоносного горизонта по Старооскольскому железорудному району на 1980 г. (вариант аналитических расчетов по В.С. Плотникову) [15]: 1 – изолинии снижения уровня на 1980 г (в м); 2 – линия гидрогеологического

разреза; 3 – площадь непосредственного залегания аллювия на сеноман-альбских отложениях; 4 – контур рудных залежей; 5 – контур железистых кварцитов; 6 – водопонижительные контуры карьеров; 7 – существующие наблюдательные скважины и их номера; 8 – в числителе номер точки, в знаменателе – прогнозное снижение уровня сеноман-альбского водоносного горизонта; 9 – максимальная прогнозная величина снижения уровня (м).

Для целей геофильтрационного моделирования в работе обобщён обширный материал по Новооскольскому железорудному и прилегающим районам, построены карты водопроводимости, мощностей, изолиний подошвы, изолиний кровли, суммарных мощностей, статического положения уровней воды водоносных горизонтов.

В 1972 г. издательством «Недра» издана монография «Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии», том II (Смирнов Б.Н., Викторова Л.П., Котлов В.В., Лосев Ф.И., Небосенко В.Ф. и др. под редакцией Бобрышева А.Т., 1972 г.) и том IV монографии «Гидрогеология СССР» (Воронежская, Белгородская, Брянская, Орловская, Липецкая, Тамбовская области) под редакцией Соколова И.С., Бобрышева А.Т. и др. В монографиях [14,15] обобщён обширный материал по территории КМА и прилегающим районам по геологии, гидрогеологии и инженерной геологии за всю историю исследований района.

В 1974 г. для водоснабжения Стойленского ГОКа проведены разведочные работы в устье реки Убля. По результатам исследований оценены эксплуатационные запасы альб-сеноманского водоносного горизонта в количестве 10,8 тыс. м³/сут (Долбинцев Н.Д., Кулешов С.Т.).

В 1976 г. завершены работы по разведке Коробковского, Лебединского, Южно-Лебединского, Стойленского, Стойло-Лебединского месторождений. Изучены гидрогеологические и инженерно-геологические условия этих месторождений детально. Опробованы водоносные горизонты осадочного чехла, рудных залежей и кристаллического фундамента; рассчитаны гидрогеологические параметры водоносных горизонтов; определены водопритоки в горные выработки, изучены химический состав подземных вод; дана оценка устойчивости бортов

карьеров (Голивкин Н.И. и др., 1964; 1965; 1969 гг., Соколов Н.А. и др., 1972; 1976 гг.).

В 1978-1981 гг. в составе комплексной съёмки масштаба 1:50000 выполнены гидрогеологические и инженерно-геологические исследования центральной части территории района, проведено инженерно-геологическое районирование территории (Аверин В. И., Соколов Н. А., Чмаро М. Г., Гончаренко А. Г.).

В период 1980-2000 гг. Комплексной лабораторией гидрогеологии и природосберегающих горных технологий РАН под руководством В. А. Мироненко проводились широкомасштабные научно-исследовательские работы в разных регионах в связи с обоснованием шахтного и карьерного строительства, осушения горных выработок, прогноза ресурсов и качества подземных вод, выбора природоохранных мероприятий и решения экологических задач. В работе «Охрана подземных вод в горнодобывающих районах» [1980 г.] были разработаны методы изучения гидрогеологических и гидрохимических режимов подземных вод на участках бассейнов промстоков (хвостохранилищ и гидроотвалов). На примере крупного горнодобывающего района КМА разрабатываются мероприятия по рациональному использованию вод, откачиваемых дренажными системами карьера, и даётся обоснование соответствующих контрольно-предупредительных мероприятий [48].

Более быстрое снижение уровня воды в котловане привело к возникновению градиентов фильтрации в водопонижительных скважинах и развитию процесса суффозии с образованием каналов, крупных пещер и провальных воронок, а затем смещений крупных блоков пород в откосе. Это потребовало проведение дополнительных инженерно-геологических исследований. В работе А.И. Арсентьева, И.Ю. Букина, В.А. Мироненко (1982 г.) [5] описаны основные виды нарушений устойчивости бортов карьеров и отвалов: оползни, осыпи и обрушения, фильтрационные деформации, осадки и просадки. Дана классификация горных пород по устойчивости в бортах проектируемых карьеров. Предложены основные методы расчёта устойчивости в технологических целях.

Институтом ВИОГЕМ в 1983-1985 гг. построена трёхслойная гидродинамическая модель Старооскольского железорудного района на базе программного обеспечения для ЭВМ ЕС-1022 /1 и дан прогноз изменения режима подземных вод, оценены водопритоки в дренажные системы карьеров Лебединского ГОКа и Стойленского ГОКа, а также фильтрационные потери из хвостохранилищ ЛГОКа и СГОКа, Старооскольского водохранилища на период до 2001г. В 1988-1989 гг. институтом ВИОГЕМ разработана численная модель фильтрации подземных вод на основе программы RF6 для ЭВМ ЕС-1022, реализующей в конечных разностях неустановившийся режим плановой напорно-безнапорной фильтрации подземных вод в двухслойной толще пород. С использованием модели выполнен прогноз изменения режима фильтрации подземных вод в условиях эксплуатации хвостохранилища ЛГОКа до 2018 г.

В 1990-1996 гг. ГП «Геосинтез» и ПГО «Центргеология» обобщён огромный фондовый материал и создан информационный банк данных по территории КМА. Геофильтрационная модель разработана в масштабе 1:500000 и включает общую модель КМА и региональные модели Белгородского (Южного), Курского (Центрального) и Брянского (Северо-западного) регионов.

В 2000-2001 гг. выполнена работа [64] по созданию гидрогеологической информационно-компьютерной системы для управления недрами на территории КМА Белгородской области, разработаны разномасштабные геофильтрационные модели Старооскольского промрайона и создана автоматизированная система мониторинга подземных вод в зоне влияния Лебединского ГОКа (Гомберг И.Г., Рошаль А.А., 2001 г.).

В 2000-2001 гг. ФГУП ВИОГЕМ в рамках НИР «Оценка инженерно-геологических условий формирования постоянных бортов карьера ОАО «Лебединский ГОК» для выработки рекомендаций по их параметрам» (Будков В.П., Волков Ю.И., Дунаев В.А.) производилось изучение влияния подземных вод на разработку Лебединского месторождения железных руд.

Эксплуатация месторождений открытым способом сопровождается извлечением огромной массы горных пород и накоплением отвалов, занимающих большие площади, имеющих достаточно большую высоту. Вопросы инженерно-геологического обоснования технологии формирования отвальных насыпей на гидроотвалах освещены в работе Могиллина А.В. (2002 г.) [51]. Он считает, что важнейшими факторами, определяющими состояние и свойства отвальных массивов, являются: состав и плотность материала, поступающего в отвал, геометрические параметры сооружения, интенсивность отсыпки и последовательность формирования, высота сбрасываемого материала. На состав, состояние и свойства пород отвалов оказывают влияние физико-географические условия (климатические атмосферные осадки, колебания температур, промерзание, снежный покров). Среди процессов, определяющих формирования состава пород отвала основными являются плоскостной смыл по поверхности откоса, оползание, инфильтрационное вымывание, уплотнение, выветривание. Плоскостями скольжения могут служить поверхности старых откосов.

Лабораторией инженерной геологии и геомеханики ФГУП ВИОГЕМ (2003 г.) проведены научно-исследовательские работы на Лебединском карьерном поле. Выполнен анализ условий формирования и эксплуатации бортов карьера и отвалов, их геодинамическое состояние и степень устойчивости. Установлено [32], что за 4 года измерений по реперам наблюдательных станций деформации приоткосных массивов пород не превысили допустимых, скорости смещения не перешли в прогрессирующие, выявлены локальные деформации на верхних площадках отвалов.

В настоящее время работы по мониторингу подземных вод, специализированным гидрогеологическим и инженерно-геологическим наблюдениям выполняются специалистами ОАО «Лебединский ГОК». В отчётах приводятся данные по уровенному режиму и гидрохимическому составу поверхностных и подземных вод, инженерно-геологическая характеристика горных пород, данные по водопритокам в систему осушения и водоотбору

подземных вод по водозаборам ОАО «Лебединский ГОК» (Титов В.Р., Малина Н.П., Емельянов Н.В., Игнатова Г.В. и др., 2000-2004 гг.).

Оценка влияния объектов Стойленского и Лебединского ГОКов на формирование уровня режима подземных вод и гидрохимическую обстановку исследовалась в работах, выполненных ФГУП ВИОГЕМ, НТЦ НОВОТЭК и другими организациями в различное время. ООО НТЦ «НОВОТЭК» в 2006 г. выполнена переоценка эксплуатационных запасов дренажных вод карьера Стойленского ГОКа, которые утверждены в ГКЗ Роснедра в объёме 126,7 тыс. м³/сут [53]. ФГУП ВИОГЕМ в 2005 году подсчитал запасы подземных вод Лебединского месторождения до 2030 года, величина которых составила 201,67 тыс. м³/сут [61].

Гидрологические работы. В 1962-1967 гг. на территории КМА Гидрологическим институтом (г. Ленинград) проведена гидрометрическая съёмка. Эти исследования вошли в состав работы по подсчёту общего водного баланса территории и прогноза его изменений в связи с эксплуатацией подземных вод и водопонижения при разработке железорудных месторождений, дана оценка ресурсов поверхностных вод на территории КМА, влияния крупных водозаборов на сток поверхностных вод (Образцов И.П. и др., 1968 г.). В 1964-1965 гг. специальной гидрометрической съёмкой в бассейне было определено количество фильтруемых речных вод в зону депрессионной воронки.

Гидрологические изыскания, выполненные экспедицией ГГИ за короткий промежуток времени, дали практический результат только на тот период, когда они проводились. С 1985 г. гидрометрические наблюдения за реками Оскол и Осколец выполняются только по гидрометрическим створам в г. Старый Оскол. В настоящее время гидрологический режим р. Осколец значительно изменился и подобные исследования необходимы.

Экологические исследования. Экологические последствия разработки железорудных месторождений КМА рассмотрены в фундаментальных работах Комплексной лабораторией гидрогеологии и природосберегающих горных

технологий РАН под руководством В. А. Мироненко период 1980-2000 гг. В 3-х томной монографии В.А. Мироненко, В.Г. Румынина «Проблемы гидрогеоэкологии» (1998-1999 гг.) рассмотрены теоретические и практические аспекты проблемы техногенного загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах, задачи гидрогеологических исследований. Прогноз техногенных изменений качества подземных вод под влиянием хвостохранилищ и горных отвалов железорудных комбинатов базируется на представлениях о процессах и расчётных схемах миграции загрязняющих веществ в подземных водах. Предложены специальные мероприятия по борьбе с загрязнением подземных вод [50].

Вопросам экологической безопасности и рационального недропользования посвящены работы А.М. Бабец [8] «Стратегия экологической безопасности Лебединского ГОКа» (2002г.); А.Н. Петина [104] «Рациональное недропользование в железорудной провинции Курской магнитной аномалии» (2010г.); А.М. Гальперина, Ю.В. Кириченко, В.А. Ермолова, Ю.И. Кутепова [102] «Инженерно-геологическое обеспечение экологически безопасного освоения горно-промышленных природно-техногенных систем» (2012г.); В.И. Голик, Разоренова Ю.И. и др. «Охрана природной геологической среды утилизацией хвостов обогащения руд» (2015г.).

ОАО «Белгородгеология» в 1999 г. выполнила работы по доизучению условий формирования геоэкологической среды и качества подземных вод на территории деятельности предприятий ОАО «Стойленский ГОК» (Штифанов И.И., Спиридонов А.И., Трофимова Е.Н. и др.).

Фильчаков Ю.В. (2008 г.), изучая экологическое состояние почв в зоне функционирования хвостохранилища ГОКа КМА, установил ежегодное возрастание валового содержания железа в почвах на всём интервале удаленности (1–10 км) от источника загрязнения [105].

Негативное воздействие испытывает заповедник «Белогорье» участок «Ямская степь», расположенный в непосредственной близости от хвостохранилища Лебединского месторождения [104,82].

Выводы

При значительной техногенной нагрузке на геологическую среду в районе карьера Стойленского ГОКа и обширной зоне влияния его дренажной системы специальных разведочных гидрогеологических работ практически не проводилось. Немногочисленные и маломощные опытно-фильтрационные работы осуществлялись на площади выбранного пространства современного карьерного поля в совершенно других условиях, близких к естественной обстановке. Эксплуатационная разведка подземных вод сводилась исключительно к опытно-фильтрационным наблюдениям в процессе создания и развития дренажных систем. При высокой степени изученности состава и положения рудных тел в пространстве железорудных месторождений смежная зона, где происходит формирование эксплуатационных запасов подземных дренажных вод, с точки зрения фильтрационных параметров исследована недостаточно, например, не в полной мере изучены фильтрационные и емкостные параметры юрских разделяющих глинистых отложений. Несмотря на весьма основательные инженерно-геологические и гидрогеологические исследования, работы, вскрытие Лебединского карьера, начались с крупных аварий.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ»

2.1. Теоретические основы

Широко используемое настоящее время понятие «геологическая среда», по-разному трактуется различными авторами в зависимости от направлений их исследований. Наиболее распространённым считается определение «геологической среды», данное Е.М. Сергеевым, который под этим термином понимает верхнюю часть литосферы, рассматриваемую как многокомпонентную систему, находящуюся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, в результате чего происходит изменение природных геологических процессов и возникновение новых антропогенных явлений, что в свою очередь вызывает изменение инженерно-геологических условий строительства объектов на конкретной территории [104].

Основные компоненты геологической среды – это горные породы, подземные воды, формы рельефа, геологические процессы и явления и их инженерно-геологические аналоги.

С конца 70-х годов XX столетия в отечественную геологическую литературу Г.К. Бондариком был введён 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 совокупностью взаимодействующих компонентов, включающих орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно изменённые природные тела, а также естественные и искусственные информационно-энергетические поля» [10]. Горнодобывающее предприятие располагается в конкретных природных условиях и связано потоками вещества, энергии с природными системами. 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. В процессе взаимодействия технической системы (ТС) с природными геосистемами (ГС) посредством обмена вещества и энергии, формируется ПТС. ПТС являются объектом исследования, объединяющим интересы геологов, инженеров-геологов, гидрогеологов и экологов. Изучение их основных компонентов и вещественно-энергетических связей между ними, определяющих структуру природно-технической системы, служит основой оптимального управления горнодобывающим предприятием, а также прогноза и контроля состояния природной среды, что, в конечном счёте, приводит к рациональному экономически и экологически сбалансированному освоению природных ресурсов в горнодобывающих районах.

В свою очередь, горнопромышленные природно-технические системы по своей структуре могут быть различного уровня: элементарной, локальной и региональной. ПТС элементарного уровня образуется при взаимодействии отдельного сооружения горнопромышленного объекта с геологической средой.

Горнопромышленная ПТС локального уровня формируется и функционирует под влиянием взаимодействия всех сооружений горнодобывающего комплекса с литосферой и состоит из элементарных природно-техногенных систем.

Горнопромышленная ПТС регионального уровня может быть образована несколькими природно-техническими системами локального уровня, связанными между собой однородностью геолого-структурного происхождения и распространением определенного типа полезного ископаемого.

2.2. Особенности строения сферы взаимодействия

2.2.1. Геологическое и инженерно-геологическое строение

В геолого-структурном отношении район располагается в сводовой части Воронежской антеклизы – крупной положительной структуры Русской платформы и приурочен к юго-западному склону Воронежского кристаллического массива и северо-восточной окраине Днепровско-Донецкой впадины [61].

Стойленское месторождение, вскрываемое карьером, на котором осушению подвергается вся толща пород, залегающих над рабочим пластом, расположено в 2 км южнее протекающей почти в широтном направлении р. Осколец, правобережного притока р. Оскол (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Речная сеть района исследований

В геологическом строении принимают участие два структурных комплекса: нижний – кристаллический фундамент (рис. 2.2), представленный сложнодислоцированными метаморфизованными кристаллическими породами докембрия, прорванными интрузиями различного состава, и верхний – осадочный чехол, трансгрессивно перекрывающий кристаллические породы и сложенный неметаморфизованными горизонтально залегающими отложениями палеозоя, мезозоя и кайнозоя [61].

Структура осадочной толщи сложная, складывается разнообразными литолого-стратиграфическими комплексами пород и в целом характеризуется пёстрым и изменчивым составом по площади и в разрезе, различной мощностью и этажным чередованием относительно водоупорных и водопроницаемых пород.

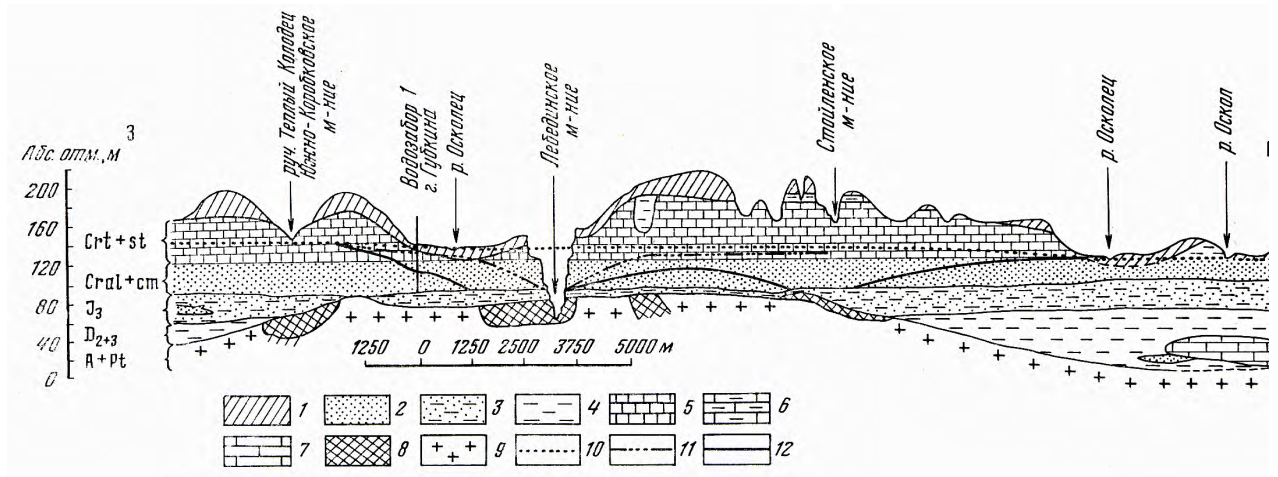


Рис. 2.2. Геологический разрез по Старооскольскому железорудному району [15]: 1 – суглинки; 2 – пески; 3 – глины песчаные; 4 – глины; 5 – мел; 6 – мергели; 7 – известняки; 8 – железные руды; 9 – породы кристаллического фундамента. Уровни воды сеноман-альбского водоносного горизонта: 10 – статический; 11 – динамический на 1964 г.; 12 – прогнозный на 1980 г.

Осадочный чехол сложен (сверху-вниз): четвертичными отложениями, породами мела, юры и девона [12,13,53,61].

Четвертичные образования распространены практически повсеместно. Они представлены породами нижнего, среднего и верхнего отделов, а также современными отложениями: на водоразделах и склонах балок глинами и суглинками мощностью до 15 м, по тальвегам балок – суглинками с обломками мела и мергелей мощностью от 1 до 6 м, в долине рек – аллювиальными отложениями мощностью до 10 м, сложенными преимущественно песками, в верхней части перекрытыми суглинками, иногда просадочными.

Меловые отложения. Значительную часть геологического разреза в пределах КМА составляет мергельно-меловая толща верхнего мела, которая по стратиграфическим и петрографическим признакам делится на три части. Нижняя – сложена мелом коньяк-туронского возраста, средняя – мергелями сантонского яруса, верхняя – мелом маастрихтского и кампанского ярусов. Кровля пород размыта, изобилует карстом и рассечена пологосклонными ложбинами стока, преимущественно субмеридианального простирания, выполненные

четвертичными отложениями. Увеличение мощности мело-мергельных отложений наблюдается от 15–30 м в долинах рек к водоразделам, где она достигает 60–70 м.

Сеноман-альбские пески на территории КМА распространены очень широко. Это тонкозернистые, реже мелкозернистые (например, в районе Лебединского месторождения), в нижних горизонтах средне-, крупнозернистые, гравелистые пески, косослоистые, с маломощными линзами гидрослюдистых глин, с включениями пирита. Местами они сцементированы до состояния слабых песчаников. В кровле отложений залегает фосфоритовая плита мощностью до нескольких метров. Пески выдержаны по мощности (20–40 м), повсеместно водоносны, достаточно водообильны, играют большую роль в обводнении месторождений железных руд. Коэффициент фильтрации их достигает 15–20 м/сут.

Отложения нижнего мела (апт-неокомские) представлены в северных районах преимущественно песками, а на значительной площади южных районов главным образом глинами. Глины в основном лёгкие, песчаные, редко – тяжёлые. Плотность их несколько выше средней, изменяется от 1,96 до 2,17 г/см³, пористость умеренная 28–34%, в отдельных случаях достигает 41 %. Естественная влажность низкая, поэтому они, как правило, находятся в полутвёрдом состоянии. Прочность глин, как пород средней степени литификации, нормальная. Сцепление изменяется от 0,01 до 0,1 МПа, а угол внутреннего трения достигает 20–25°. Апт-неокомские пески довольно однородны по составу: тонко-, мелкозернистые, местами глинистые. Коэффициент фильтрации их не превышает первых метров в сутки. Угол естественного откоса достигает 30–35°. Пески водоносны. Подземные воды гидравлически связаны с вышележащими сеноман-альбскими песками, с которыми образуют единый водоносный комплекс, напор воды в котором достигает 200–250 м. В результате развития дренажных водопонижительных и горных работ напор воды этого комплекса на многих участках сильно снизился и едва достигает 10 м. Пески склонны к разжижению с переходом в плавунное состояние. Мощность яруса составляет 25–40 м, средняя 35 м.

Юрские отложения в верхней части представлены песчано-алевритистой толщей, сложенной тонко-, и мелкозернистыми глинистыми песками, мощностью 3–4 м, алевритами, мощностью 10–12 м и глинами с прослоями песка. В нижней части юра сложена глинистой толщей, выполняющей понижения кристаллического фундамента. Мощность отложений меняется от 5 до 36 м. Сопротивление сдвигу характеризуется сцеплением 0,05–0,07 МПа и коэффициент внутреннего трения 0,30–0,35. Коэффициент крепости 2–4. При увлажнении глины размокают, набухают и резко снижают прочность. Давление набухания глин составляет 0,6–0,9 МПа.

Девонские отложения представлены в нижней части франским ярусом (щигровские слои – каолиновые плотные глины) и живетским ярусом (старооскольскими слоями – известково-глинистого и глинисто-конгломератового состава). Щигровские слои залегают на пестроцветных отложениях среднего девона или непосредственно на размытой поверхности протерозоя, выполняя глубокие эрозионные ложбины в кристаллическом фундаменте. Максимальная мощность отложений 18 м.

Толща осадочных пород платформенного чехла, мощность которой 54–169 м, в пределах рудного поля подстилается сложно-складчатым метаморфическим комплексом докембрия.

Докембрий рудного поля в пределах Лебединского и Стойленского месторождений сложен в основном железорудной коробковской свитой и подстилающей ее стойленской свитой (рис. 2.3).

Коробковская свита, представлена двумя железорудными и разделёнными сланцевой подсвитой. Верхняя железорудная подсвита, являющаяся продуктивной Центрального и Южного участков Лебединского месторождения, практически полностью сложена железистыми кварцитами, средней мощности 225 м. По минерально-петрографическому составу железистые кварциты свиты разделяются на четыре горизонта (снизу-вверх): щелочно-амфибол-магнетитовые (72 м), силикатно-магнетитовый (30 м), щелочно-амфибол-магнетитовые с пачками

тальковых и железослюдковых разностей магнетитовых кварцитов (70 м), и завершается разрез бледными биотит-магнетитовыми кварцитами (26 м) [13,61].

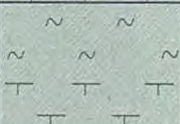
Эоно-тема	Серия	Свита	Под-свита	Мощ-ность	Индекс	Колонка	Литологический состав
Нижний протерозой (карелий) PR_1	Оскольская PR_{1os}	Тимская	верхне-тимская	до 500м	$PR_1^{tm_2}$		Кварц-биотитовые сланцы, порфиры
			нижне-тимская	до 150м	$PR_1^{tm_1}$		Песчаники, алевролиты
		Роговская	верхне-роговская	до 430м	$PR_1^{rg_2}$		Известняки, доломиты
			нижне-роговская	до 500м	$PR_1^{rg_1}$		Песчаники, алевролиты
	Стойленская PR_{1ks}	Коробковская	верхняя сланцевая	более 200м	$PR_1^{st_4}$		Кварцево-слюдистые сланцы
			верхняя железорудная	220-230м	$PR_1^{st_3}$		Кварциты железистые, магнетитовые, силикатно-магнетитовые, железослюдомангнетитовые, слабо-рудные
			нижняя сланцевая	30-100м	$PR_1^{st_2}$		Кварцево-слюдистые сланцы
			нижняя железорудная	70-150м	$PR_1^{st_1}$		Железистые кварциты
		Стойленская	верхняя	до 100м	$PR_1^{st_2}$		Кварцево-слюдистые сланцы
			нижняя	50-500м	$PR_1^{st_1}$		Кварцито-песчаники с прослоями гравелитов и кварцево-мусковитовых сланцев
Верхний архей AR_2	Михайловская PR_{2mh}	Лебединская		до 3 км	AR_2/b		Кварцевые порфиры, кварц-слюдяные мусковитовые сланцы, туфосланцы
		Александровская			AR_2/al		Амфиболиты, амфибол-сланцы, биотит-роговообманковые гнейсы
Нижний архей AR_1	Обоянская AR_{1ob}			более 2-х км	AR_{1ob}		Мигматиты и плагиоклазы с мало-мощными прослоями амфиболитов и ультрабазитов

Рис. 2.3. Сводная стратиграфическая колонка докембрийских отложений района исследований [61]

Нижняя железорудная подсвита характеризуется сложным межпластовым строением и изменчивостью мощности (35–155 м) и сложена в нижней части силикатно-магнетитовыми кварцитами (средняя мощность 40 м), в средней части –

магнетитовыми кварцитами (40 м), в верхней части – куммингтонит-магнетитовыми кварцитами (30 м). Промежуточная сланцевая подсвита представлена кварц-биотитовыми и филлитовыми сланцами, с примесью графита, средняя мощность 60 м [77].

Стойленская свита, окаймляющая залежи железистых кварцитов и слагающая ядро Крамской антиклинали, сложена кварцито-песчаниками с маломощными прослоями сланцев. Мощность свиты 150–200 м, в ядре антиклинали – до 500 м.

Практически повсеместно по метаморфическим (кварциты, сланцы) и магматическим (архейские граниты, слюдисто-карбонатные сланцы, диорит-порфириты) породам развита кора выветривания. В её вертикальном строении выделяются зоны: зона дезинтеграции – начального разложения и замещения минералов в породах; средняя – интенсивного разложения и верхняя – окончательного разложения. Мощность коры выветривания не превышает 50 м и в среднем составляет 5–30 м в зависимости от петрографического состава субстрата. Наиболее устойчивы к выветриванию кварцито-песчаники, наименее – кристаллические сланцы.

Железные руды представлены двумя геолого-промышленными типами: железистыми кварцитами и богатыми железными рудами.

Железистые кварциты образовались в результате метаморфизма древних железисто-кремнистых осадков главным образом нижнего протерозоя. Это полосчатые очень крепкие породы. Полосчатость обусловлена чередованием разноокрашенных полос шириной от долей миллиметра до 1,5–2 см, сложенных преимущественно рудными и нерудными минералами. Основные рудные минералы кварцитов – магнетит, реже гематит, нерудные – кварц, амфиболы (куммингтонит, актинолит, реже тремолит), слюды (биотит, иногда флогопит) и пироксен. В виде примесей железистые кварциты содержат карбонаты и сульфиды (пирит, пирротин) [81,106].

Железистые кварциты стратиграфически относятся к Коробковской свите, структурно приурочены к крыльям и замковым частям синклиналей. В магнитном поле кварциты проявляются положительными линейно-вытянутыми высокоинтенсивными аномалиями. Залежи железистых кварцитов представлены пластами мощностью до 200–500 м моноклиального или сложноскладчатого залегания. Падение их крутое до субвертикального. Протяжённость залежей – до нескольких десятков километров. Среднее содержание железа в балансовых рудах колеблется по отдельным месторождениям от 32 до 36,8%.

Богатые железные руды сформировались по железистым кварцитам в процессе их выветривания. Основные минеральные типы руд: железно-слюдково-мартитовые, мартитовые и гидрогётит-гидрогематит-мартитовые. По внешнему виду они представляют собой полосчатый мелко- и тонкозернистый рыхлый и слабосцементированный агрегат от красновато-бурой до черной окраски. В верхних частях залежей развиты плотные разности богатых руд, образованные при цементации рыхлых руд минералами (преимущественно сидеритом, в меньшей степени хлоритом, кальцитом и сульфидами), выпавшими из инфильтрационных растворов на конечной стадии формирования коры выветривания [21,62].

Богатые руды прерывистым плащом покрывают выходы железистых кварцитов, образуя субгоризонтальные залежи с крутопадающими клиновидными ответвлениями, уходящими по зонам трещиноватости вглубь массивов железистых кварцитов. Средняя мощность залежей по различным месторождениям колеблется от 10–30 м (Оскольский район) до 50–125 м (Белгородский и Михайловский районы), а протяженность – от 0,5 до 20 км. Качество руд высокое: среднее содержание в них железа 53–62%. После окускования (агломерации) рыхлых разностей и дробления плотных они пригодны для доменной плавки без обогащения [77].

2.2.2. Разрывные тектонические нарушения и трещиноватость массива скальных пород

В структурно-тектоническом строении месторождения прослеживается Региональный Западный разлом, ограничивающий Лебединское месторождение с запада, и разрывные нарушения двух порядков: первые протяжённостью более 1000 м и вторые – сотни метров. Они часто сопровождаются зонами повышенной трещиноватости [6,16]. Разрывные нарушения, являющиеся продольными относительно складчатости, расчленяют рудно-кристаллическую толщу на блоки пластинчатой и клиновидной формы, шириной 200–460 м. Падение разрывных нарушений крутое до субвертикального ($70-90^\circ$). Разрывные нарушения представляют собой зоны дробления и рассланцевания с глиной трения; их мощность от 0,5 до 5–7 м.

В массиве докембрия прослеживаются следующие системы трещин [52]:

- напластования по слоистости (полосчатости) северо-восточного и юго-западного падения, азимут падения $310-320^\circ$, угол падения $60-85^\circ$, среднее расстояние между трещинами – 0,7 м;
- продольной относительно складчатости субпараллельны простиранию пород, угол падения $10-30^\circ$, среднее расстояние между трещинами – 0,85 м;
- поперечной относительно складчатости субортогональны простиранию трещин напластования, система трещин крутопадающая $60-85^\circ$, среднее расстояние между трещинами – 1,0 м.

Исходя из сказанного, можно сделать следующие выводы:

- по степени структурной нарушенности, массив скальных пород характеризуется как средне-, крупноблочный, в зоне коры выветривания – мелкоблочный.
- разрывные нарушения крутопадающие, не являются потенциальными поверхностями скольжения.
- деформации уступов могут происходить по неблагоприятно ориентированным системам трещин.

2.2.3. Гидрогеологические условия

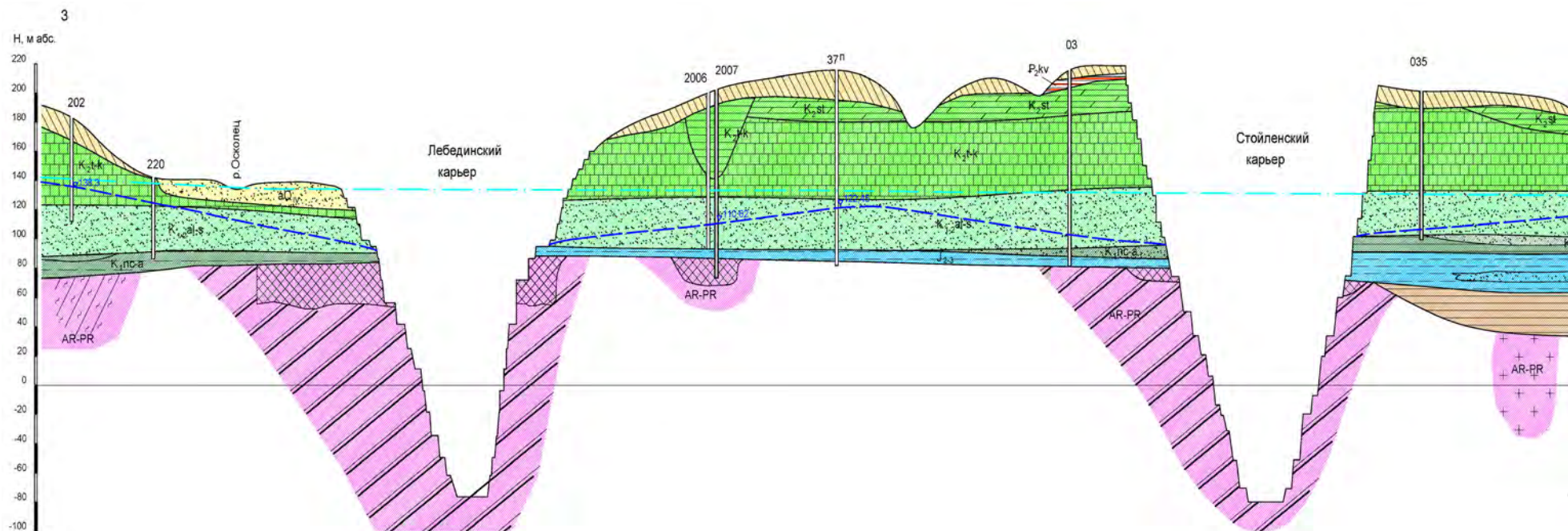
Рассматриваемая территория в гидрогеологическом отношении приурочена к северо-восточной окраине Днепровско-Донецкого артезианского бассейна, примыкающего к юго-западной склоновой части Воронежского кристаллического массива. Подземные воды приурочены к отложениям всех систем осадочной толщи и к зоне трещиноватости кристаллического фундамента [15,42,53,61].

По условиям циркуляции и характеру водовмещающих пород развиты пластово-поровые и трещинные воды общей мощностью обводненной зоны 120-150 м. По характеру залегания выделяются подземные воды напорные и безнапорные. По минерализации подземные воды, как правило, пресные, по химическому составу в основном, гидрокарбонатные кальциевые. Вся обводнённая толща находится в зоне активного водообмена и гидравлически взаимосвязана с поверхностными водотоками. Питание подземных вод осуществляется в основном за счёт атмосферных осадков, разгрузка – в гидрографическую сеть.

Водоупорные породы не имеют сплошного и выдержанного по мощности распространения.

В пределах района исследований выделяют два водоносных комплекса: верхний и нижний, разделённые водоупорной толщей юрских глин.

К верхнему комплексу относятся современный аллювиальный и средне-верхнечетвертичный водоносные горизонты, турон-коньякский (мело-мергельный), альб-сеноманский и неоком-аптский водоносные горизонты. Нижний комплекс – архей-протерозойский (рудно-кристаллический) водоносный горизонт (рис. 2.4). Характеристика водоносных горизонтов представлена в таблице 2.1.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

aQ_{IV}	водоносный горизонт современных аллювиальных отложений	J₂₋₃	водоносный комплекс юрских отложений	почвенно-растительный слой, суглинок	песчаник
aQ_{II-III}	водоносный горизонт верхне-средне-четвертичных аллювиальных отложений	D₂₋₃	водоносный комплекс девонских отложений	глина	известняк
P₂ kv	водоупорные отложения киевской свиты	AR-PR	водоносная толща трещиноватых архей-протерозойских пород	мергель	железная руда
K₂ t-k	водоносный горизонт турон-коньякских отложений	Уровни подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта		мел	железистые кварциты
K₁₋₂ al-s	водоносный горизонт альб-сеноманских отложений			песок	граниты
K₁ nc-a	локально обводненные неок-аптские отложения		в естественных условиях	глина песчаная	кварцито-песчаники
			в нарушенных условиях на конец 2004 г.		

Рис. 2.4. Гидрогеологический разрез Лебединского и Стойленского месторождений (ОАО «ВИОГЕМ», 2014)

Таблица 2.1. – Характеристика водоносных горизонтов

Водоносный горизонт	Породы	Мощность, м	Коэффициент фильтрации, м/сут	Напор, м
<i>Аллювиальный</i>	Суглинки, пески, глины	0–10	0,05–11,2	Безнапорный
<i>Турон-коньякский</i>	Мергели, мел	21–94	0,1–20	Безнапорный
<i>Альб-сеноманский</i>	Пески	25–40	7–15	10–15
<i>Юрский</i>	Глины, пески с прослоями глин	0–20	0,006–2,0	до 40
<i>Архей-протерозойский или рудно-кристаллический</i>	Руда, кварцит	–	0,0007–3,6 0,008–1,7	47 79,6

Аллювиальный водоносный горизонт (aQ_{I-IV}) распространён в пойме и надпойменных террасах рек Оскол, Осколец, Чуфичка и тальвегах крупных оврагов и балок, приурочен к разнородным пескам, в кровле песков развит слой суглинков, супесей; как правило, залегает на водоносной мергельно-меловой формации турон-коньякского горизонта. Водообильность горизонта зависит от гранулометрического состава песков, но обычно незначительная. Мощность обводненных отложений составляет 0–10 м. Воды безнапорные, уровни залегают на глубинах 0–4 м. Удельные дебиты скважин колеблются в пределах 0,02–0,12 л/с. Коэффициенты фильтрации песков изменяются от десятых долей до 10 м/сут, а супесей и суглинков не превышают 0,02 м/сут.

Турон-коньякский водоносный горизонт (K_{2t-k}) распространён практически повсеместно и приурочен к мелам, трещиноватость которых неодинакова как в плане, так и в разрезе. По мере приближения к руслам рек трещиноватость пород меловой толщи и мощность трещиноватой зоны увеличивается. Водоносный горизонт безнапорный, лишь в поймах рек приобретает напор до 5–15 м. Глубина залегания его уровня изменяется в широких пределах и составляет 2–89 м. Водообильность горизонта находится в прямой зависимости от степени трещиноватости и закарстованности. Наибольшая водообильность отмечается в поймах рек и уменьшается в сторону водоразделов. Коэффициент фильтрации

изменяется от 0,1 до 20 м/сут. Водопроницаемость пород составляет 20–100 м²/сут на водоразделах и увеличивается до 500–1000 м²/сут в долинах рек.

На участке долин рек Оскол и Осколец мело-мергельные отложения размывы. Водоносный горизонт практически полностью осушен в центральной части депрессии в результате эксплуатации систем осушения Стойленского и Лебединского карьеров. Средняя мощность обводнённых меловых пород составляет 25 м.

Альб-сеноманский водоносный горизонт ($K_{1-2al-s}$), приуроченный к пескам мощностью 20–40 м, является в районе месторождения наиболее выдержанным по распространению и водообильности. Залегание в кровле водопроницаемых аллювиальных и меловых отложений обуславливает гидравлическую взаимосвязь альб-сеноманского водоносного горизонта с аллювиальным и турон-коньякским водоносными горизонтами. Это проявляется в совпадении абсолютных отметок их статических уровней и подтверждено опытными и осушительными работами на Лебединском и Стойленском железорудных месторождениях. Коэффициент фильтрации равен 15,4 м/сут, а водопроницаемость 100–500 м²/сут.

Турон-коньякский и альб-сеноманский водоносные горизонты образуют единый *надъярский безнапорный водоносный комплекс*, имеющий гидравлическую связь с поверхностными водами реки Осколец. От рудно-кристаллического водоносного горизонта этот комплекс отделён относительно водоупорными глинами юры. На отдельных участках, в местах размыва глинистых отложений юры, пески альб-сеномана залегают непосредственно на породах докембрия.

Гидродинамическая структура потока подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта в зоне карьерного поля, определена [32,61,64,108] на основании результатов численного моделирования с учётом фактических данных, неоднородна (табл. 2.2).

Таблица 2.2.– Водоприток из альб-сеноманского водоносного горизонта к бортам карьера [32].

Карьер	Борт	Водоприток, м ³ /ч		Средний удельный приток, м ³ /ч/м ²
		Общий	К внутри-дренажному контуру	
Лебединский	северо-западный	1208	420	0,278
	западный	893	635	0,922
	юго-восточный	787	145	0,074
	северо-восточный	453	165	0,145
	северный	574	216	0,183
Южно-Лебединский	западный	1336	705	0,351
	южный, юго-восточный	918	303	0,110

Юрский водоносный комплекс (J_{2-3}) имеет ограниченное распространение. Водовмещающими отложениями являются глинистые тонкозернистые пески с прослоями глин. Соотношение глинистых и песчаных фракций в юрских слоях изменяется в широких пределах в плане и разрезе. Водоносные породы характеризуются малой водообильностью, залегают на девонских отложениях и в депрессиях рельефа докембрийского основания. Толща пород не содержит единого выдержанного водоносного горизонта ввиду фациальной изменчивости и непостоянства механического состава пород и разделяется относительными глинистыми водоупорами на отдельные пачки. Общая мощность отложений в районе месторождения составляет 0–20 м. Водоносный комплекс напорный с напорами до 40 м. Коэффициенты фильтрации изменяются от 0,006 до 2,0 м/сут.

Архей-протерозойский или рудно-кристаллический водоносный горизонт (AR-PR) распространён повсеместно, приурочен к верхней трещиноватой зоне метаморфических кристаллических пород докембрийского возраста (богатым железным рудам, железистым кварцитами, кристаллическим сланцам, гнейсам и гранитам), соответствующей коре выветривания, характеризуется напорным режимом, пьезометрический уровень которого практически совпадает с уровнем подземных вод верхнего надюрского комплекса. Это связано с тем, что песчано-глинистый состав и локальное отсутствие юрских отложений создают благоприятные условия для связи водоносных комплексов. По данным опытных работ удельные дебиты скважин изменяются в пределах 0,009–3,0 л/с,

коэффициент фильтрации архей-протерозойских пород – от 0,0007 до 3,6 м/сут. Наиболее высокими фильтрационными свойствами в рудно-кристаллическом комплексе обладают богатые железные руды, характеризующиеся значительной пористостью и трещиноватостью, коэффициент фильтрации изменяется от 0,5 до 3,6 м/сут. Коэффициент фильтрации плотных руд не превышает 1,0 м/сут. Обводнённость рудовмещающих пород значительно ниже: для железистых кварцитов коэффициент фильтрации – 0,008–1,7 м/сут, для сланцев – 0,00011–0,18 м/сут. Наиболее низкие фильтрационные свойства у гнейсов и гранитов. Верхняя обводнённая зона докембрийской толщи имеет мощность в среднем порядка 50 м, причём водопроницаемость в этой зоне, как правило, существенно не изменяется с глубиной.

Как показывает опыт осушения, в обводнении Стойленского месторождения основное участие принимают три водоносных горизонта: турон-коньякский, альб-сеноманский и рудно-кристаллический в зоне выветривания метаморфических пород докембрия. Статические уровни воды в песках до начала работ по осушению находились на отметках 137–138 м. В результате длительного водопонижения уровни альб-сеноманского водоносного горизонта снижены до отметок +93...+108 м [42,52]. При этом надъюрский водоносный комплекс играет ключевую роль в водообеспечении района и в обводнении месторождения. Водоносный комплекс на большей части территории надёжно защищён от загрязнения с поверхности покровными четвертичными суглинками мощностью до 10–15 м [12].

В радиусе зоны влияния системы осушения карьера Стойленского ГОКа расположены сооружения: хвостохранилища Лебединского и Стойленского ГОКов, Старооскольское водохранилище, которые являются источником дополнительного инфильтрационного питания водоносных горизонтов.

2.3. Основные элементы структуры железорудных месторождений

«Лебединское» – «Стойленское»

Старооскольский рудный узел имеет площадь около 600 км². Здесь сосредоточены крупнейшие на КМА Лебединское и Стойленское месторождения. Основные элементы структуры месторождений представлены на рисунке 2.5.



Рис 2.5. Структура месторождений Старооскольского рудного узла

Разработка месторождений ведётся открытым способом с применением гидромеханизации при производстве вскрышных работ и гидравлическим транспортированием отходов рудообогащения и связана с формированием крупных намывных горнотехнических сооружений – гидроотвалов и хвостохранилищ (см. рис.2.5).

Разработка железных руд на Лебединском месторождении начата в 1959 г., к настоящему времени размеры карьера в плане составляют 5х3 км, глубина –410 м. Эксплуатация Стойленского месторождения ведётся с 1969 г., размеры карьера (рис. 2.6, 2.7) (по дневной поверхности) составляют около 2,3 х 2,5 км, глубина -350 м [21]. Площадь горного отвода карьеров 400 км². Проектная глубина Стойленского карьера -475 м.

Карьерное поле характеризуют следующие параметры: суммарная длина фронта карьера, рельеф поверхности карьера, уступы, их число, высота и угол заложения, бермы, отвалы.



Рис. 2.6. Борт Стойленского карьера

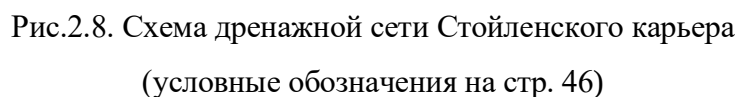


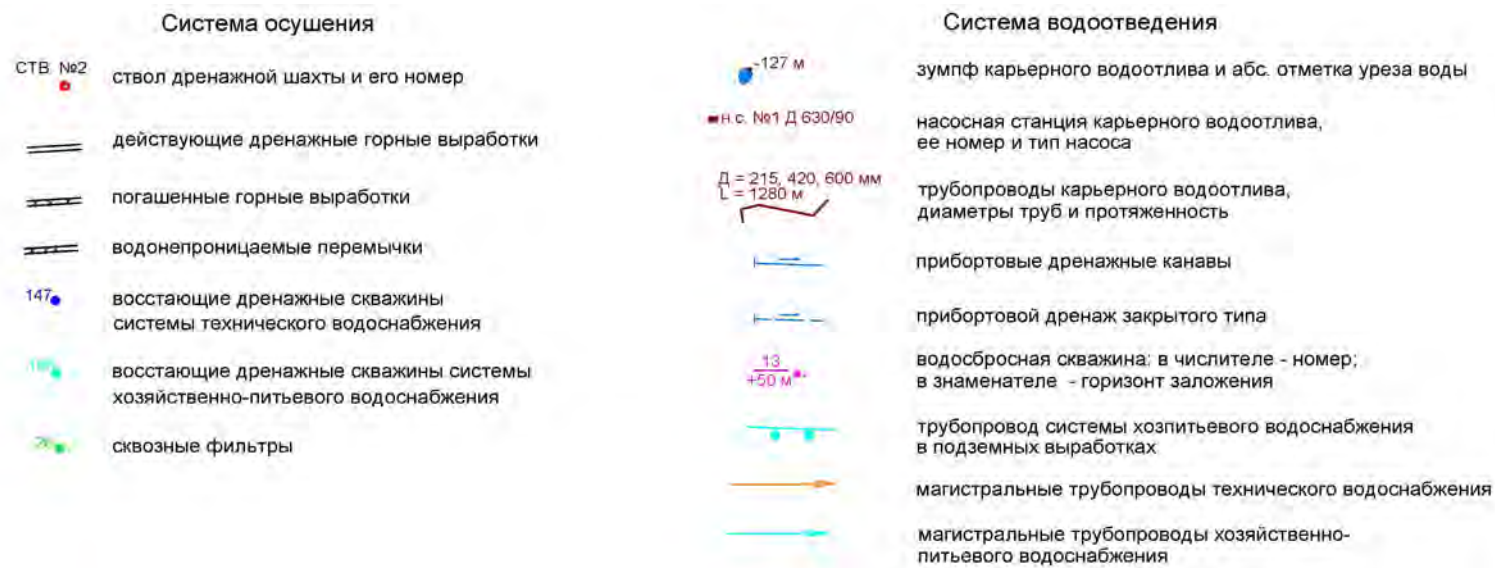
Рис. 2.7. Карьер Стойленского месторождения

Осушение Лебединского и Стойленского карьеров осуществляется комбинированным способом с применением подземного дренажного комплекса, перехватывающего основную часть потока подземных вод за пределами карьеров по их контуру, внутрикарьерными дренажными комплексами: дренажными канавами, горизонтальными дренажными скважинами и системой водопонижающих скважин.

Подземный дренажный комплекс (рис. 2.8) состоит из: 1) дренажных штреков; 2) центральной насосной станции; 3) двух водосборников; 4) камерного водоотлива; 5) насосного хозяйственного водоснабжения; 6) восстающих скважин на альб-сеноманский водоносный горизонт; 7) кустовых скважин на рудно-кристаллический горизонт; 8) сбросных скважин [52].

Вся вода из сбросных скважин восстающих сквозных фильтров, дренажных выработок по лоткам поступает в водосборники ствола № 1 (см. рис. 2.8) и откачивается на поверхность. На внешнем дренажном контуре работают 32 сквозных фильтра, из которых 19 свободного истечения. Вода из сквозных фильтров поступает в дренажные выработки и по ним к стволу № 1. Кроме того, в карьере организован открытый водоотлив. В скальных породах на нижнем





Условные обозначения к рис. 2.8



Рис. 2.9. Дренажные штреки (протяженность около 40 км)

Гидромониторы ГМ-350 размывают вскрышные породы, образуемая пульпа транспортируется землесосом 20Р-11М по пульповоду диаметром 400–700 мм и укладывается в гидроотвалы и хвостохранилища Лебединского и Стойленского месторождений (рис. 2.10), расположенных в 1,5 км от промплощадок горно-обогатительных комбинатов (ГОКов). Хвостохранилища намывного типа, представляет собой естественную емкость, образованную плотиной в русле реки Чуфички и ограждающими дамбами, имеющих сложную структуру, по берегам. Общая длина ограждающих дамб более 6 км [25].



Рис. 2.10. Хвостохранилище Стойленского месторождения

Хвостохранилище Лебединского ГОКа функционирует с 1972 г.: площадь 1766 га, выход хвостов до 19,4 млн м³ в год, максимальная высота 95 м. Гидроотвал меловых пород вскрыши с песчаной ограждающей дамбой из вскрышных пород: проектная площадь 330 га, укладываемый объём гидровскрыши до 6 млн м³/год, максимальная высота 45 м. К хвостовому хозяйству Лебединского ГОКа примыкают меловой отвал и хвостохранилище Стойленского ГОКа (1984 г.): (площадь – 650 га, выход хвостов – до 9 млн. м³/год, максимальная высота – 47 м), формируя «узел» объединённых гидроотвально-хвостовых хозяйств

Старооскольского железорудного района КМА. Основные параметры намывных горнотехнических сооружений приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. – Основные параметры намывных сооружений [82,108]

Название	Площадь	Высота дамб, м	Объем хвостов млн м ³	Отметка гребня, м	Применяемые способы повышения вместимости
Гидроотвал «Березовый Лог»	9378 тыс. м ²	76,5	250	220 на конец 1986 г.	совместное складирование фильтрующих и слабоводопроницаемых намывных грунтов; формирование дренажно-упорных элементов из скальных и песчаных пород в основании. На сегодняшний день - рекультивирован
Гидроотвал «Отсек №7 хвостохранилища ЛГОКа» «Балка Суры»)	4315 тыс. м ²	54,2	96,24	210	посекционное наполнение; формирование дренажно-упорных элементов из скальных и песчаных пород в основании
Хвостохранилище Стойленского ГОКа	650 га	47	386	174	формирование дренажно-упорных элементов из скальных и песчаных пород в основании
Хвостохранилище Лебединского ГОКа	900 га	95	780	210	посекционное заполнение хвостохранилища и объединение прудов-осветлителей

В связи с интенсивным развитием в 1960-х годах гидромеханизации удачное решение в размещении крупного объема пород Южно-Лебединского карьера было найдено при сооружении гидроотвала «Берёзовый Лог», который начал эксплуатироваться с 1964 года [82]. К моменту окончания эксплуатации в 1986 году объем уложенных пород гидроотвала составил 250 млн м³. Площадь гидроотвала – 9378 тыс. м² при длине 9800 м и ширине по гребню 20 м. Максимальная высота – 76,5 м. Отметка гребня – 222,5 м. Естественной ёмкостью гидроотвала является корытообразная долина сухой балки «Берёзовый Лог» с

уложенными вскрышными породами: мел, суглинок, глина, юрская глина, а также хвостами обогащения в объёме 11,9 млн м³. На 2011 год в действующий гидроотвал «Отсек №7 хвостохранилища ЛГОКа» («Балка Безымянная» или «Балка Суры») уложено 96,24 млн м³ вскрышных пород (на формирование дамбы – 24,45 млн м³, емкость гидроотвала – 71,79 млн м³). Высота дамбы составляет 54,2 м, а длина – 4860 м. Площадь гидроотвала – 4315 тыс. м², причём полезная площадь (по гребню) – 3440 тыс. м². Средняя отметка гребня составляет 212,2 м, уровня воды – 210,2 м проектная отметка – 230 м [108].

2.4. Особенности функционирования локальной ПТС «Железорудное месторождение» в период длительной эксплуатации

Горнопромышленные природно-технические системы (ПТС) по своей структуре могут быть различного уровня: элементарной, локальной и региональной. ПТС элементарного уровня образуется при взаимодействии отдельного сооружения горнопромышленного объекта с геологической средой.

Региональная ПТС образована несколькими природно-техническими системами локального уровня, связанными между собой однородностью геолого-структурного происхождения и распространением определенного типа полезного ископаемого. «Курская магнитная аномалия» является ПТС регионального уровня.

Локальная природно-техническая система (ЛПТС) «Железорудное месторождение» включает элементарные ПТС (рис. 2.11): карьер, хвостохранилище, гидроотвалы, отвал вскрышной породы, дренажная сеть. Каждая из них, характеризуется своими (борта карьера, депрессионная воронка, купол растекания) особенностями функционирования: набором процессов, их режимом и численными характеристиками.

Длительная эксплуатация ПТС «Железорудное месторождение» (40-50 лет) привела к изменению границ, режима и набора процессов (таблица 2.4). По набору негативных процессов сфера взаимодействия сложной ПТС может быть разделена на зоны: 1) аэродинамического воздействия, 2) фильтрации техногенных вод

(купол растекания), 3) дифференциации пульпы (расслоения пульпы и осаднения илов, 4) миграции химических компонентов, 5) уплотнения, суффозии и гравитационных процессов.



Рис. 2.11. Структура ПТС КМА

Это позволяет обосновать наиболее информативные параметры, подлежащие наблюдению в системе мониторинга. Параметрами наблюдения являются: уровенный режим подземных вод, их химический состав, состояние бортов карьеров и откосов дамб хвостохранилищ.

Таблица 2.4. – Изменения состояния природно-технической системы железорудного месторождения

Техногенные воздействия ПТС	Блоки системы	Изменения состояния системы
Разработка карьера буровзрывным способом	Атмосфера	Концентрация загрязняющих веществ (ЗВ), облачность, влажность
	Гидросфера: поверхностные воды	Новые области питания

	Почвы	Структуры и компонентного состава, продуктивности, ЗВ
Работа дренажной сети	Горный массив	Изменение напряжённо-деформационного состояния массива; увеличение его трещиноватости; интенсификация процессов выветривания пород; снижение прочностных свойств; развитие гравитационных процессов.
Функционирование хвостохранилища	Подземные воды	Формирование техногенного режима подземных вод: – сработка питьевых запасов подземных вод; – увеличение мощности зоны аэрации и изменение интенсивности инфильтрационного питания ПВ; – появление новых областей питания и разгрузки; – понижение напоров подземных вод на больших площадях (депресссионная воронка); – возрастание скоростей фильтрации; – увеличение взаимосвязи поверхностных и подземных вод и между водоносными горизонтами посредством перетекания. Загрязнение: Fe, F⁻, Zn, Cr⁶⁺, Ni, Co, B²⁺, Cd, Mn, Mo, Pb, Al, Cu, SO₄

Выводы

1. Сфера взаимодействия включает два структурных комплекса: грунты вскрыши и грунты рудно-кристаллической толщи, требующие применение разных геомеханических моделей расчёта устойчивости бортов карьера;
2. Условия разработки осложнено наличием 4 водоносных горизонтов, требующих организации сложной дренажной сети;
3. Длительная разработка карьера (50 лет) кардинальным образом изменяет состояние компонентов природной среды;
4. Безаварийное функционирование ПТС «Железорудное месторождение» требует текущего и прогноза будущих состояний на базе анализа процессов взаимодействий в ПТС.

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

Гидрогеологические особенности Лебединского и Стойленского железорудных месторождений определяются наличием двух водоносных комплексов рудно-кристаллического напорного, мощностью 20–50м и надъюрского безнапорного.

Архей-протерозойский или рудно-кристаллический водоносный горизонт (AR-PR) распространен повсеместно, приурочен к коре выветривания – верхней трещиноватой зоне метаморфических кристаллических пород докембрийского возраста (богатым железным рудам, железистым кварцитами, кристаллическим сланцам, гнейсам и гранитам) характеризуется напорным режимом, пьезометрический уровень которого, практически совпадает с уровнем подземных вод верхнего надъюрского комплекса. Нижним водоупором рудно-кристаллического водоносного комплекса являются плотные невыветрелые породы кристаллического фундамента.

Рудно-кристаллический водоносный горизонт питается в основном за счёт гидравлической связи с надъюрским водоносным комплексом на участках повышенной кровли докембрия, где девонские и юрские отложения отсутствуют. Коэффициент фильтрации архей-протерозойских пород – от 0,0007 до 3,6 м/сут.

Надъюрский водоносный горизонт приурочен к альб-сеноманским пескам и коньяк-туронским 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 (хвостохранилище, гидроотвалы, отстойники). Зонами разгрузки водоносного комплекса являются дренажные системы, борта карьера, водозаборы и долина р. Осколец (рис.3.1).

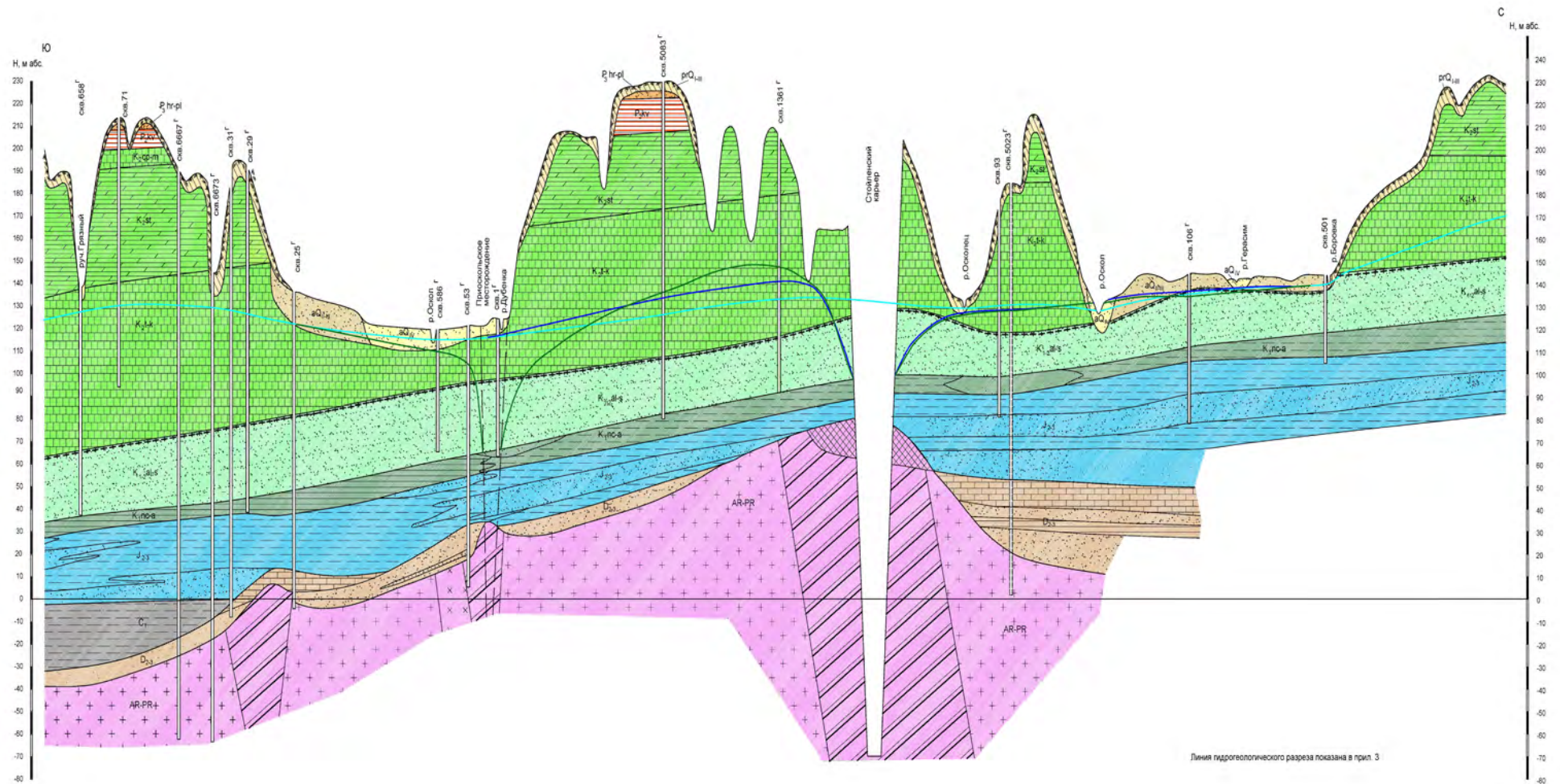


Рис. 3.1. Гидрогеологический разрез по Стойленскому железорудному месторождению (ОАО «ВИОГЕМ», 2014г.)
(условные обозначения на стр. 54)

	водоносный горизонт современных аллювиальных отложений
	водоносный горизонт верхне-средне-четвертичных аллювиальных отложений
	слабоводоносный горизонт харьковско-полтавских отложений
	водоупорные отложения киевской свиты
	водоносный горизонт турон-маастрихтских отложений
	водоносный горизонт альб-сеноманских отложений
	локально-обводненный водоносный горизонт неом-аптских отложений

	водоносный комплекс юрских отложений
	водоносный горизонт нижне-каменноугольных отложений
	водоносный комплекс средне-верхнедевонских отложений
	водоносная толща трещиноватых ахрей-протерозойских пород

Уровень подземных вод
альб-сеноманского водоносного горизонта

	в естественных условиях
	в нарушенных условиях на конец 2004 г.
	прогнозный на конец 2030 г.

	почвенно-растительный слой, суглинок
	глина
	мергель
	мел
	слой фосфоритовых желваков
	песок
	глина песчаная

	песчаник
	известняк
	железная руда
	железистые кварциты
	граниты
	мигматиты

Условные обозначения к рисунку 3.1.

Неравномерность трещиноватости и закарстованности коньяк-туронских мергельно-меловых отложений определяют изменение фильтрационных свойств в плане и разрезе в широком диапазоне от 2 до 60 м/сут, достигая иногда 200 м/сут.

Альб-сеноманский водоносный горизонт на месторождении распространен повсеместно и является самым устойчивым по водообильности: суммарной водопроницаемости 350–400 м²/сут, коэффициентам фильтрации – до 23 м/сут. Вся обводнённая толща находится в зоне активного водообмена и гидравлически взаимосвязана с поверхностными водотоками. Величина водопритоков в карьер превышает 5000 м³/час (таблица 3.1). Это отражается на состоянии бортов карьера: по всему периметру карьера фильтрация подземных вод в откосы уступов прослеживается по нижней части песков апт-альб-сеномана.

Таблица 3.1.– Водопритоки из альб-сеноманского водоносного горизонта к бортам карьера [32].

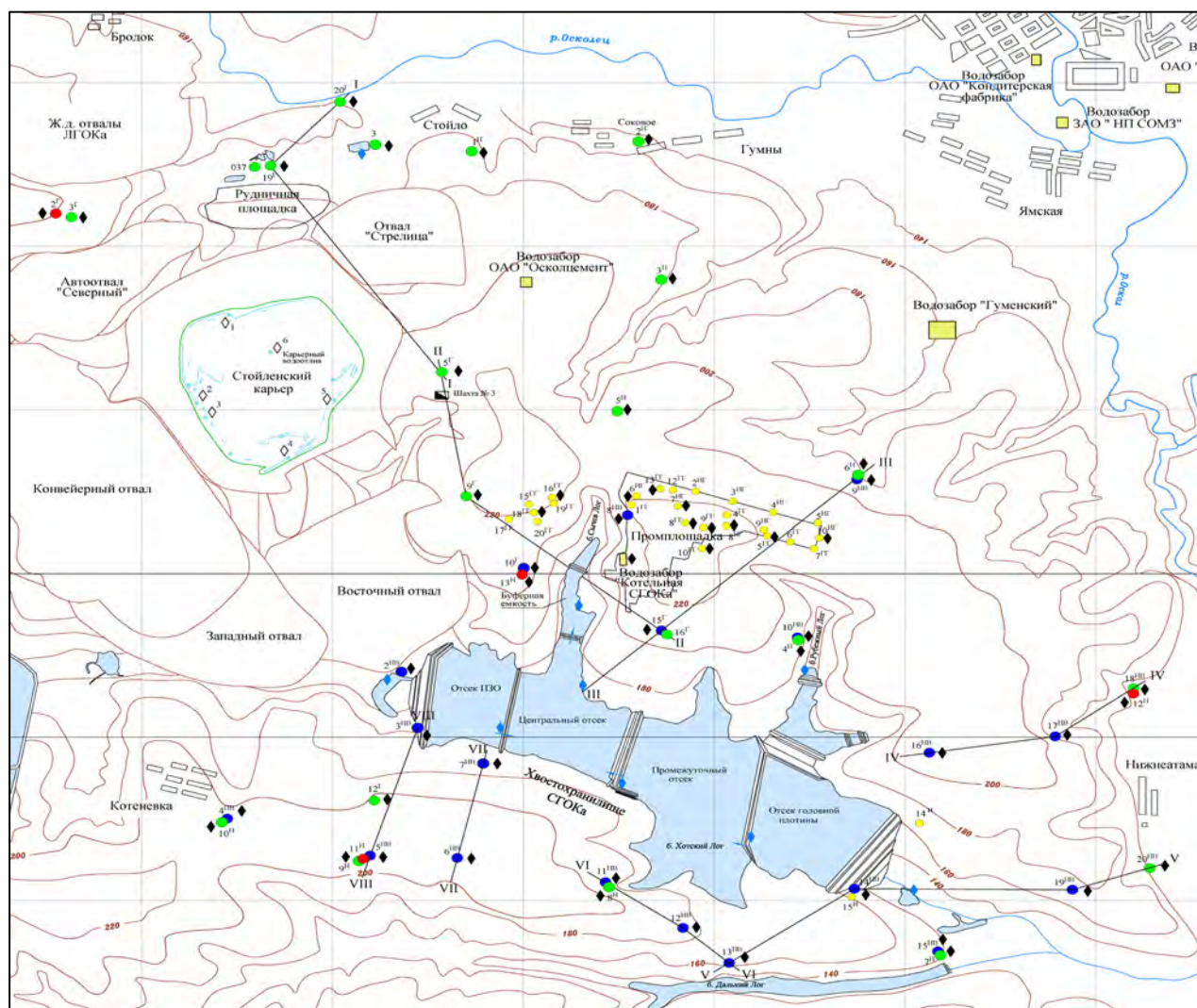
Карьер	Борт	Водоприток, м ³ /ч		Средний удельный приток, м ³ /ч/м
		Общий	По внутри-дренажному контуру	
Лебединский	северо-западный	1208	420	0,278
	западный	893	635	0,922
	юго-восточный	787	145	0,074
	северо-восточный	453	165	0,145
	северный	574	216	0,183
Южно-Лебединский	западный	1336	705	0,351
	южный, юго-восточный	918	303	0,110

По условиям циркуляции и характеру водовмещающих пород развиты пластово-поровые и трещинные воды общей мощностью обводнённой зоны 120–150 м. По характеру залегания выделяются подземные воды напорные и безнапорные. По минерализации подземные воды, пресные, по химическому составу гидрокарбонатные кальциевые.

Оценка влияния функционирования объектов на геологическую среду ведётся на основании информации, получаемой в рамках мониторинга. Режимная сеть Стойленского горно-обогатительного комбината (СГОК) на начало 2015 г. включала 63 наблюдательные скважины, из которых 20 оборудованы на четвертичный водоносный горизонт, 19 скважин – на турон-коньякский, 21 – на

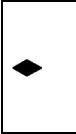
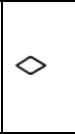
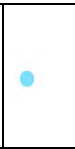
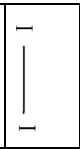
альб-сеноманский и 3 скважины – на рудно-кристаллический водоносные горизонты [12]. Из ранее сооружённых (1988-1989 гг.) в настоящее время действуют 10 наблюдательных скважин (2^г, 3^г, 5^г, 9^г, 10^г, 12^г, 15^г, 16^г, 19^г, 20^г). Местоположение наблюдательных скважин режимной сети СГОКа приведено на схеме (рис. 3.3). Параметры наблюдения: уровенный режим подземных вод, их химический состав, периодичность наблюдений составляла соответственно 1 раз в месяц и 1 раз в квартал.

Продолжительность наблюдательных рядов, анализируемых автором, составляет для Стойленского месторождения 12 лет (2004-2015 гг.), для Лебединского – 7 лет с 2007 по 2013 гг.



Масштаб 1:25000

Рис. 3.3. Схема расположения наблюдательных скважин режимной сети СГОКа
(условные обозначения на стр. 57)

	Наблюдательные скважины		Прибортовые дренажные канавы		Точки отбора проб воды из скважин
	Четвертичный водоносный горизонт		Прибортовой дренаж закрытого типа		Точки отбора проб воды в карьере
	Альб-сеноманский водоносный горизонт		Контур горизонта +93 м		Точки отбора проб воды поверхностных вод
	Турон-коньякский водоносный горизонт		Водосбросные скважины		Точки отбора проб воды из реки
	Рудно-кристаллический водоносный горизонт		Линия гидрогеологического разреза		Оскол

Условные обозначения к рисунку 3.3.

3.1 Формирование техногенного гидродинамического режима подземных вод

Строительство и эксплуатация горнодобывающих предприятий привели к нарушению гидродинамического режима подземных вод. Понижение напоров на контурах карьеров достигло 120–130 м (что привело к частичному осушению мергельно-мелового горизонта), площадь региональной депрессионной воронки измеряется несколькими тысячами квадратных километров.

При длительной работе дренажных систем в пределах ПТС «Железородные месторождения» формируется сложный техногенный гидродинамический режим подземных вод. Он обусловлен:

- развитием депрессионной воронки масштабы (диаметр и глубина) которой возрастают по мере увеличения размеров карьера (рис. 3.4);
- формированием купола растекания под хвостохранилищем, динамика которого тесно связана с производственными процессами добычи полезного ископаемого (см. рис. 3.4);
- изменением градиентов напора и скорости потока, нарушающие механизм взаимодействия между твердой и жидкой фазой [38];
- перетеканием вод из верхних горизонтов, вследствие снижения напоров подземных вод и падения уровней;
- сработкой статических запасов подземных вод и вовлечение в процесс динамических ресурсов, зависящих от условия питания и разгрузки;
- техногенной областью питания за счёт инфильтрационных потерь из технических водоёмов и образованием под ними купола растекания.

В первоначальный период эксплуатации Лебединского месторождения сработка статических запасов надъярского водоносного комплекса привела к тому, что в 1966 году (через 10 лет после начала его строительства) при понижении уровня на 43 м образовалась депрессионная воронка радиусом влияния в южном направлении 11 км, в северном около 9 км [43].

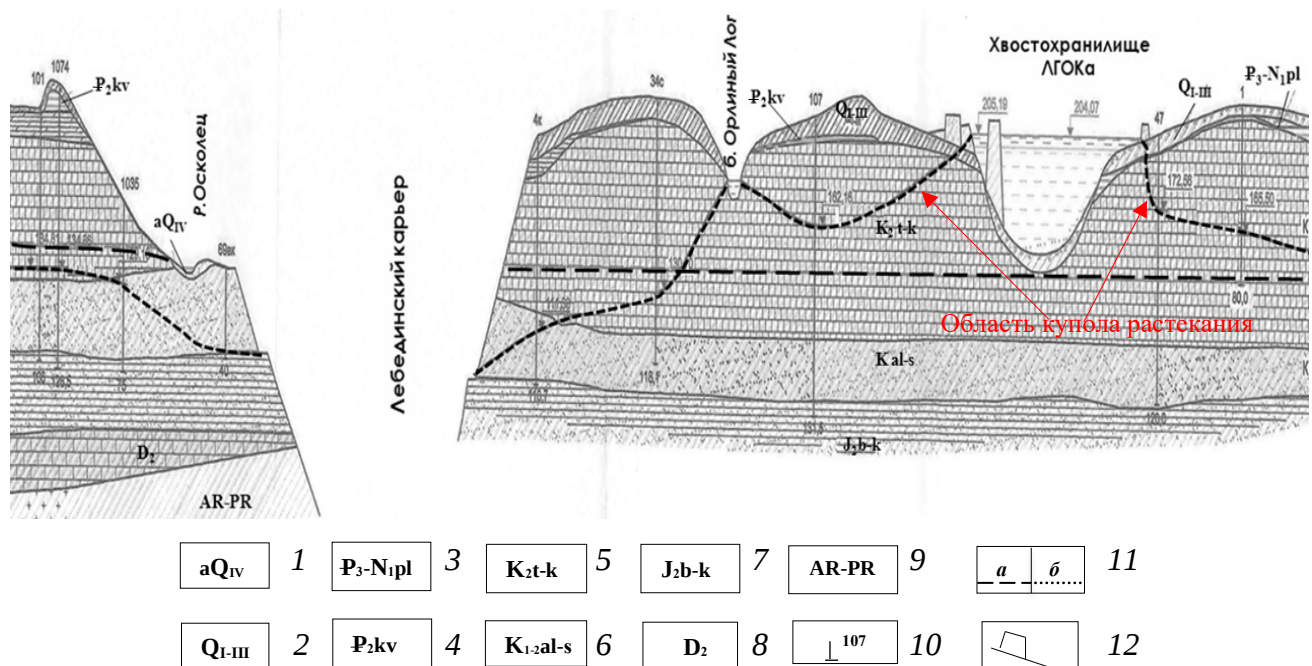


Рис. 3.4. Схематический гидрогеологический разрез [27]: 1 – современные аллювиальные отложения: пески, супеси, суглинки; 2 – нижне-верхне-четвертичные отложения, делювий: пески, супеси; 3 – неоген-палеогеновые отложения полтавской свиты: пески; 4 – палеогеновые отложения киевской свиты: глины; 5 – турон-коньякский ярус: белый писчий мел, мергель; 6 – альб-сеноманский ярус: глауконит-кварцевые пески; 7 – юрские отложения бат-келовейского яруса: глины, алевроиты, 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

Осушение месторождения, снижение уровней грунтовых и напорных вод создают благоприятные условия для инфильтрационного питания подземных вод дождевыми, талыми водами, водами ручьёв и техногенных водоёмов (хвостохранилищ, прудов-отстойников)[7]. 70 % водопритоков в горные выработки формируется за счёт инфильтрационных вод, уровни подземных вод вблизи р. Осколец оказались ниже её русла, потери воды на фильтрацию из реки достигли 1000 м³/ч. Инфильтрационные потери из гидроотвала «Берёзовый Лог» на Лебединском карьерном поле в 1970-1972 гг. достигли 1200–1500 м³/г, в результате чего, уровень «подпитываемого» надюрского горизонта под гидроотвалом повысился на 15 м [43,53]. В настоящее время составляет около 6000 м³/г.

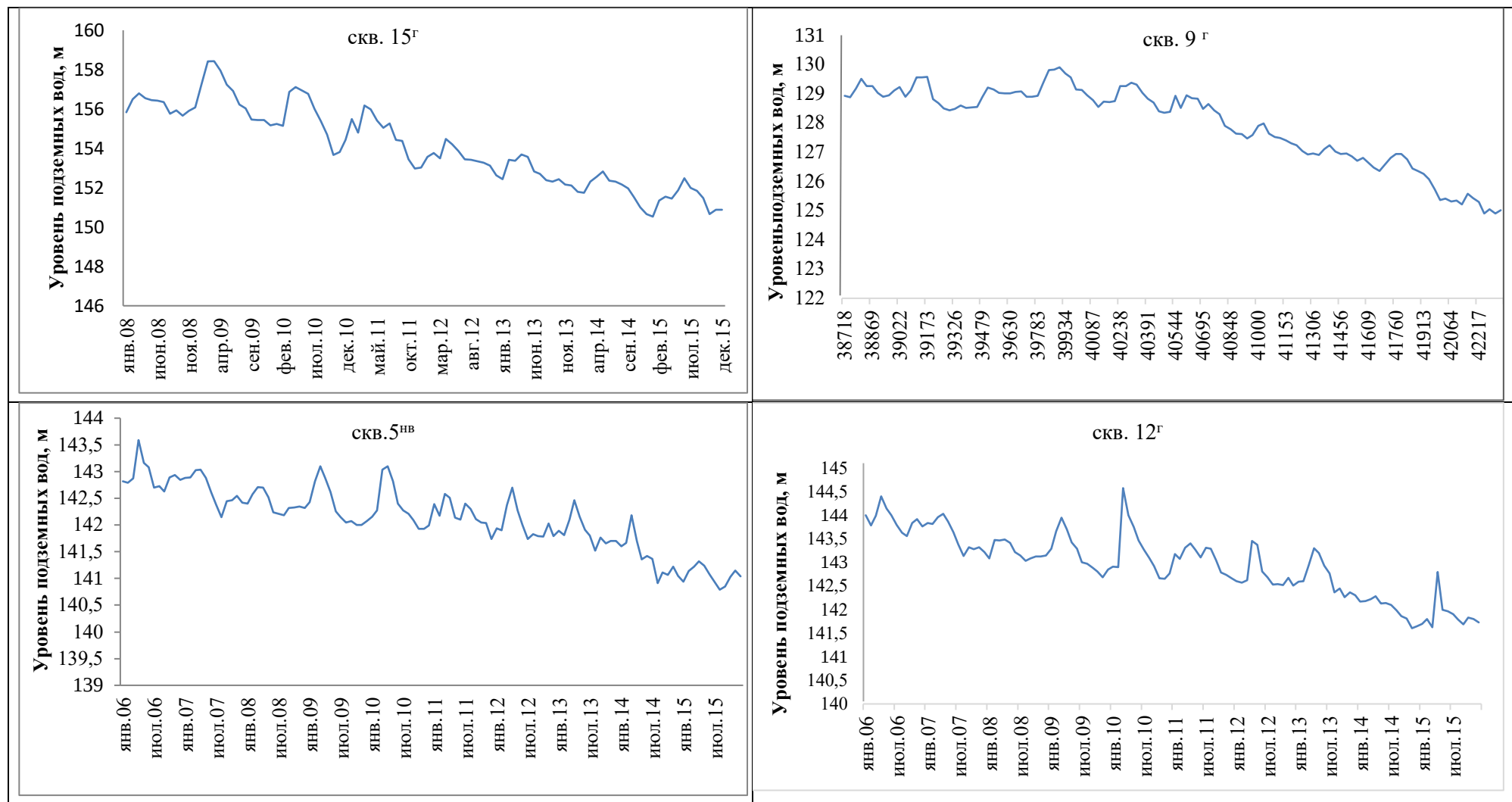


Рис. 3.5. Графики изменения уровней подземных вод альб-сеноманского (скв. 9 Г, 12Г) и турон-коньякского (скв. 5 НВ, 15Г) водоносных горизонтов с 2006 по 2015 г. по наблюдательным скважинам

На территории Стойленского месторождения с 2004 по 2015 г. по графикам, построенных по данным режимных наблюдений, прослеживается тренд снижения уровня подземных вод: в рудно-кристаллическом водоносном горизонте на 8,7 м, в альб-сеноманском водоносном горизонте 2,2 м, в турон-коньякском водоносном горизонте 1,3 м [26].

Графики изменения уровня подземных вод турон-коньякского и альб-сеноманского водоносных горизонтов с 2006 по 2015 г. приведены на рисунке 3.5.

Для режима альб-сеноманского водоносного горизонта в 2006-2015 гг. (скважины 12^г и 9^г) характерно сезонное изменение уровней и незначительное понижение в течении пяти последних лет.

С начала работы дренажной системы к настоящему времени турон-коньякский водоносный горизонт в центре депрессии полностью сработан. Его уровень на участке расположения карьера снижен более чем на 40 м [12]. Положение депрессионных воронок на территории Лебединского и Стойленского месторождений в 2015 г. и прогнозные карты уровней подземных вод на 2020 и 2030 гг. приведены на рисунках 3.6, 3.7, 3.8. К 2030 г. возможно слияние депрессионных воронок Лебединского и Стойленского месторождений.

Подобный анализ изменения уровня альб-сеноманского водоносного горизонта за 7-летний период выполнен по Лебединскому месторождению. К северу от карьера снижение уровня в год составило 0,30 м, к югу – 0,36 м, к западу – 0,15 м, к востоку – 0,93 м [61]. Различия положения уровней депрессионной воронки обусловлены работой дренажной системы соседнего Стойленского карьера, находящегося в 8 км к востоку от Лебединского.

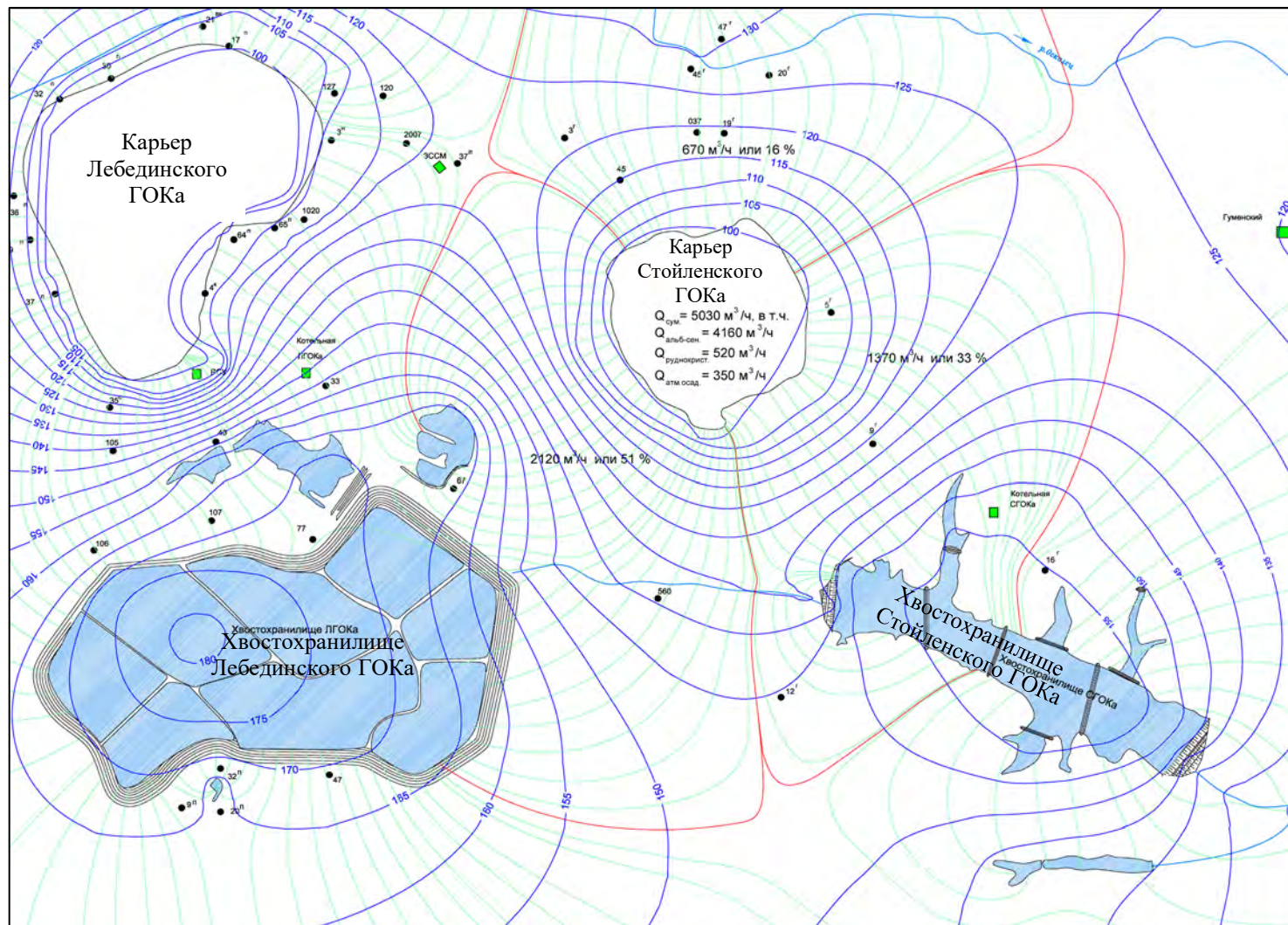


Рис. 3.6. Положение депрессионной воронки в Старооскольском рудном узле на 2014 год (ОАО «ВНОВЕ», 2014 г.)

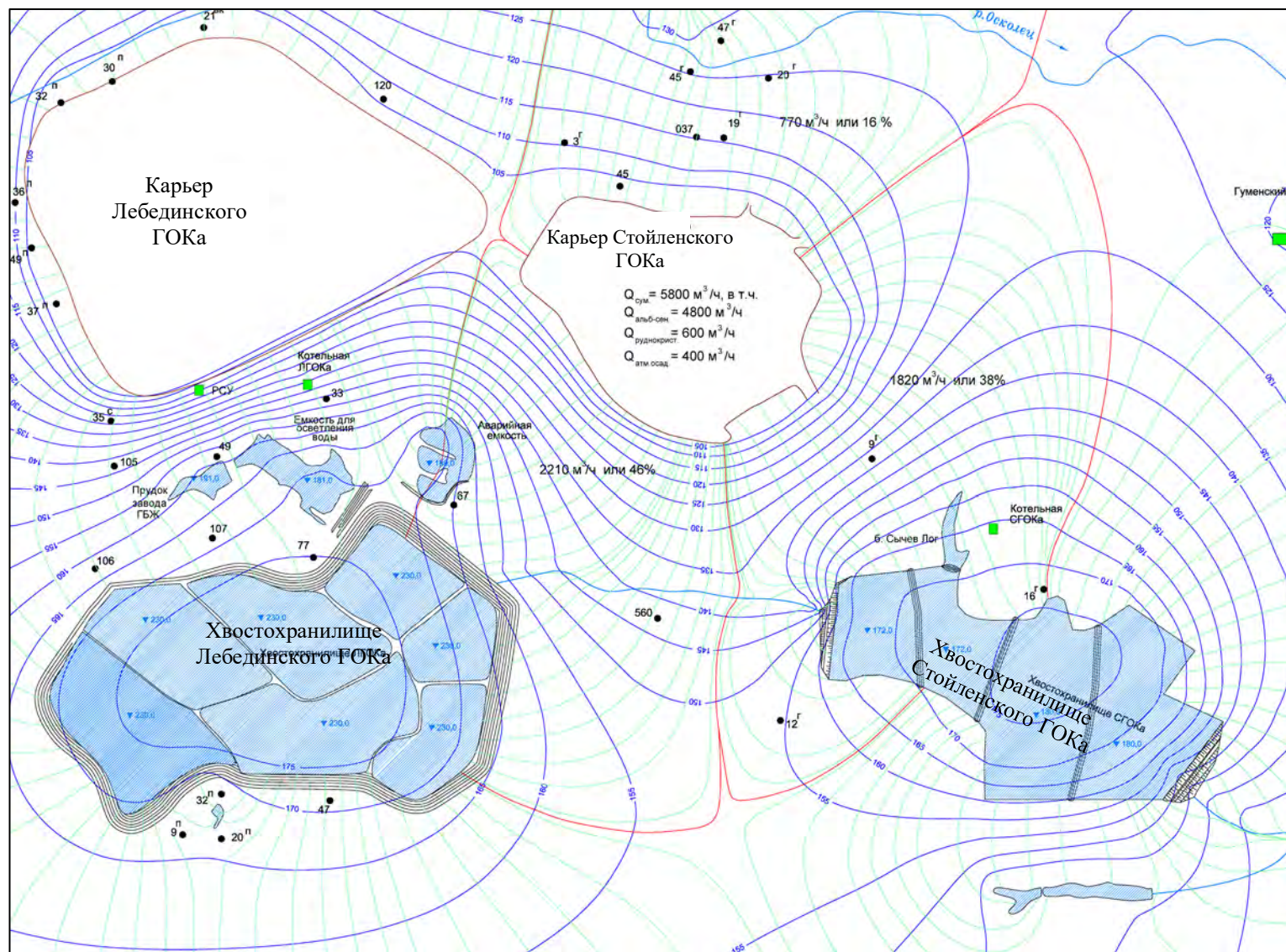


Рис. 3.7. Прогноз развития депрессионной воронки в Старооскольском рудном узле на 2020 год (ОАО «ВИОГЕМ», 2014 г.)

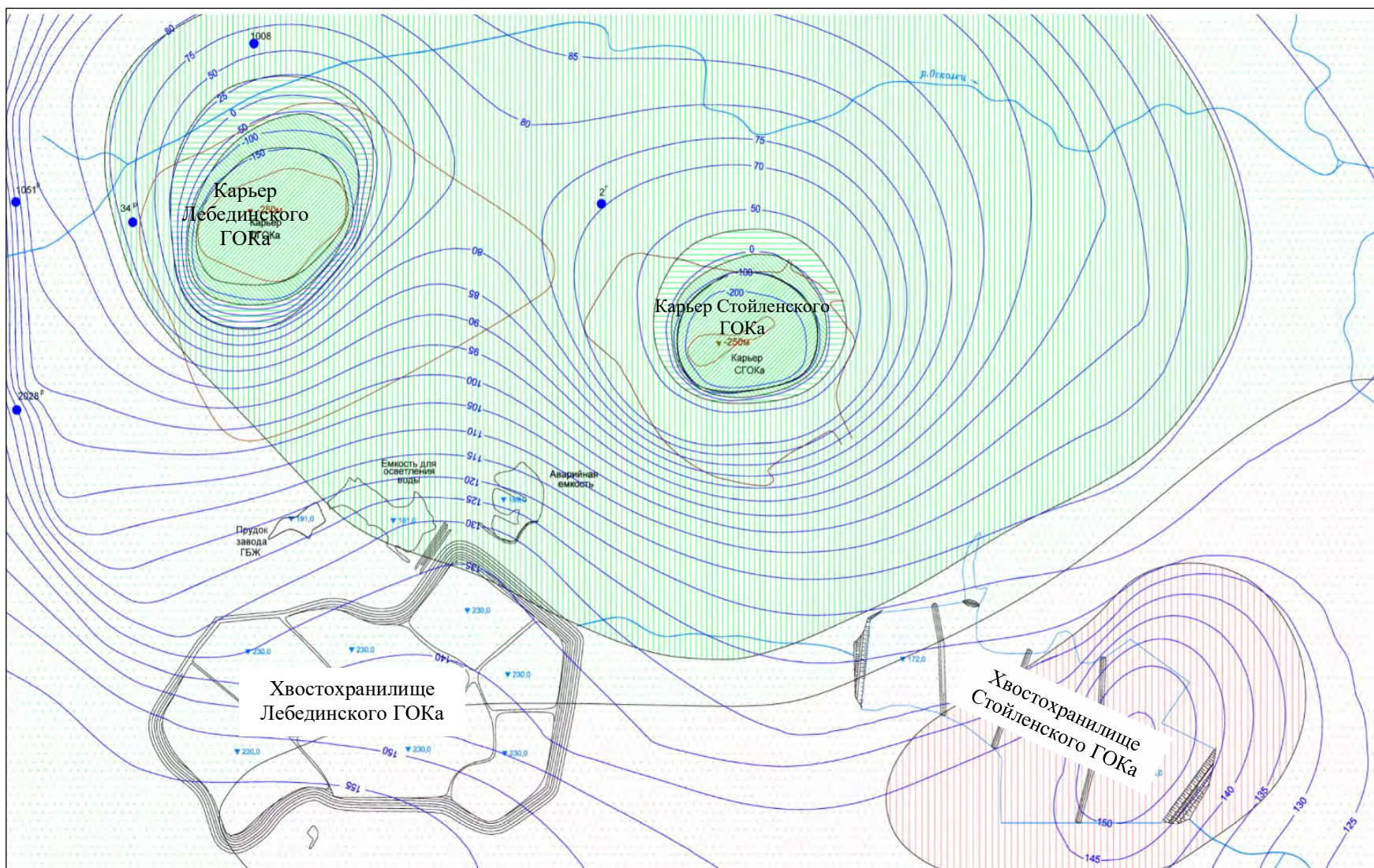


Рис. 3.8. Прогнозная карта уровней подземных вод на 2030 г.: слияние депрессионных воронок Лебединского и Стойленского ГОКов (ОАО «ВЮГЕМ», 2014 г.)

На динамику уровней подземных вод заметное влияние оказывают хвостохранилища, являющиеся техногенной областью питания турон-коньякского водоносного комплекса. Анализ результатов мониторинга уровня режима подземных вод мелового водоносного комплекса в районе Стойленского хвостохранилища показал, что общий подъём уровня с 1999 по 2015 г. составил 3 м. Подъём уровня подземных вод во всех направлениях зафиксирован до 2008 г. В период 2008-2015 гг. происходит его стабильное понижение. Прекращение роста уровня воды на описываемом участке с последующим его падением, по всей видимости, связано со снижением инфильтрационных потерь из хвостохранилища в связи с ростом мощности хвостов песчано-глинистого состава [12].

В районе расположения хвостохранилища Стойленского месторождения в целом, отмечается высокое положение уровня подземных вод как в турон-коньякском, так и в альб-сеноманском водоносных горизонтах. За счёт инфильтрационных потерь из технического водоёма под ним и на прилегающей территории образовался купол растекания (см. рис. 3.4). За время существования хвостохранилища максимальный подъём уровня подземных вод по сравнению с естественным режимом достиг 25 м и более [12]. Аналогичная ситуация фиксируется и в районе хвостохранилища Лебединского месторождения [15, 24, 26, 82].

Хвостохранилища превращаются в область техногенного питания водоносных горизонтов.

На нарушение уровня режима подземных вод и формирование новых его закономерностей на месторождениях полезных ископаемых оказывают влияние также и другие факторы. Так, например, при подработке территорий и толщ горных пород горными выработками, возникает нарушение сплошности массива горных пород, увеличивается их трещиноватость [6]. Все это, естественно, облегчает инфильтрацию дождевых, талых и поверхностных вод и создаёт условия для перетекания воды из одних водоносных горизонтов в другие и увеличения суммарного притока воды в карьер.

Одним из основных факторов, определяющих как локальную, так и глобальную устойчивость бортов карьера является динамика техногенного водоносного горизонта, в частности, формирование депрессионной воронки. Градиент изменения уровня подземных вод в результате работ дренажной системы провоцирует развитие суффозионного процесса, подтопление откоса уступов и их разрушение, перекрытие уступов деформированными массами.

3.2. Изменение химического состава подземных вод в ходе эксплуатации месторождения. Источники загрязнения. Пути миграции загрязняющих веществ. Компонентный состав техногенных вод

На всей территории описываемого региона подземные воды, залегающие первыми от поверхности не защищены в естественных условиях от проникновения загрязняющих веществ (по оценке методом В.М. Гольдберга [17]). Подземные воды альб-сеноманского возраста широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения и извлекаются дренажными системами Лебединского и Стойленского карьеров и водозаборами.

Основные источники загрязнения подземных вод (ПВ): это пруды-отстойники, шламовые пруды, пруды-накопители, золоотвалы, хвостохранилища и др. Значительная часть загрязняющих веществ поступает с инфильтрующимися атмосферными осадками, выпадающими на участках скопления твёрдых отходов. Загрязнение ПВ может происходить и непосредственно через атмосферу в результате выброса в неё различных (в том числе и токсичных) продуктов деятельности горнопромышленных предприятий [47, 107]. Развитие техногенной трещиноватости массива при буровзрывных работах способствуют интенсификации процессов перетекания из смежных горизонтов вод с ухудшенными качественными характеристиками.

Загрязнение подземных вод может происходить и без притока загрязняющих веществ извне. На рудных месторождениях, разрабатываемых с водопонижением, возникает мощная зона аэрации и развиваются окислительные процессы. Также

подземные воды загрязняются через затрубные пространства и поглощающие скважины, карьеры, эксплуатационные скважины.

В условиях нарушения гидродинамического режима подземных вод происходит постепенное замещение природных вод техногенными стоками и ухудшение их качества с образованием обширных депрессионных воронок вокруг карьера, куполов растекания техногенных вод под хвостохранилищами.

Пути миграции загрязняющих веществ. Подземные воды представляют сложную многокомпонентную среду. В целом, реальные гидрогеохимические системы в термодинамическом отношении являются открытыми и неравновесными системами. Длительный водообмен при малых скоростях движения подземных вод приводит к частичному равновесию в системе «вода – горная порода – газ». Среди причин и условий, влияющих на изменение химического состава подземных, является динамика подземных вод при вскрытии и длительной разработке месторождения. Снижение уровней подземных вод, изменение градиентов напора и скорости потока, нарушают механизм взаимодействия между твёрдой и жидкой фазой. В условиях снижения напоров подземных вод и падения уровней происходит перетекание вод из верхних горизонтов, что приводит к возрастанию минерализации подземных вод.

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 [17, 35, 48, 49]. Общей причиной протекания процессов массопереноса путём молекулярной диффузии или конвекции и молекулярной диффузии одновременно являются: изменение градиентов концентраций, температуры и давления как в водной системе, так и в сложной системе «вода – порода – газ» [36]. Для техногенных типов подземных вод характерны временные изменения кислотно-щелочных равновесий и соответственно pH. Это связано с преобразованием карбонатных равновесий. Изменение окислительно-восстановительного состояния подземных вод вызывает изменение зарядов ионов

с переменной валентностью, ведущее к усилению или снижению миграционной способности элементов в воде. 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) [64], что приводит к нарушению естественных физико-химических равновесий в системе «вода – горная порода – газ» и созданию неравновесного состояния.

Компонентный состав техногенных вод. Фоновые концентрации компонентов в настоящее время полностью изменены на расстоянии сотен километров. О влиянии длительной разработки месторождения можно судить по данным химического состава подземных вод на период геологической разведки месторождения, на начальных этапах вскрытия карьера и в настоящее время.

В период геологической разведки месторождения химический состав надъюрского водоносного комплекса (в дальнейшем разделённого на отдельные водоносные горизонты) содержал: гидрокарбонатов 110 мг/л, сульфатов 5 мг/л, хлоридов 11 мг/л, кальция 18 мг/л, магния 6 мг/л, натрия 18 мг/л. Сухой остаток - 137 мг/л, при минерализации 192 мг/л. После шести лет разработки карьера, химический состав вод турон-коньякского водоносного горизонта уже изменён. Содержание гидрокарбонатов увеличивается до 242 мг/л, ионов сульфатов 64 мг/л, ионов хлоридов 12 мг/л, кальция 78 мг/л, магния 13 мг/л, натрия 14 мг/л, сухой остаток 318 мг/л [15, 53]. Анализ данных о современном химическом составе подземных вод (2015 год) показал ещё более существенные его изменения.

Качественный состав подземных вод в период 2004-2015гг. определялся по 48 режимным и 4 водозаборным скважинам, дренажных вод – в 6 точках карьера Стойленского ГОКа, отбор поверхностных вод производился в 11 пунктах, шахтных вод по трассе сбросного канала – в 3 пунктах. Частота отбора проб – 1 раз в квартал. Общее число проб, отобранных в течение года, составило 288 [12].

Негативные тенденции изменения качества подземных вод, масштабов и специфики загрязнения ПВ развиваются за счёт:

- интенсификации привноса загрязнений с поверхности, в первую очередь за счёт фильтрационных потерь из бассейнов промстоков и поверхностных водотоков, содержащих загрязняющие компоненты;
- резкого роста скорости горизонтальной и субвертикальной фильтрации подземных вод, которые становятся активными транспортерами загрязнителей;
- изменения характера и условий взаимосвязи водоносных горизонтов, содержащих воды различного качества;
- активизации физико-химических процессов как в зоне аэрации, так и в глубоких зонах обводнённого разреза.

Грунтовые воды четвертичного водоносного горизонта практически повсеместно характеризуются повышенной жесткостью 12,8 мг-экв/л (ПДК 7 мг-экв/л). На локальных участках отмечено превышение в воде: сухого остатка до 2283 мг/л (ПДК 1000 мг/л), ионов хлоридов до 1073 мг/л (350 мг/л), кремния до 22,39 мг/л (10 мг/л), нефтепродуктов до 0,32 мг/л (0,1 мг/л); из микрокомпонентов: превышение содержания марганца до 0,13 мг/л (0,1 мг/л) и алюминия до 0,92 мг/л (0,5 мг/л) [12].

Подземные воды турон-коньякского водоносного горизонта на протяжении ряда лет по химическому составу подразделяются на четыре типа: гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый и гидрокарбонатный магниевый-натриево-кальциевый. За 12-летний период исследований увеличено содержание в воде ионов сульфатов до 70 мг/л, железа общего до 3,46 мг/л (0,3 мг/л) [12].

В альб-сеноманском водоносном горизонте вода локально имеет повышенную жёсткость до 17,9 мг-экв/л (ПДК 7 мг-экв/л), превышение сухого остатка до 1909 мг/л (1000 мг/л), содержанию натрия до 509,7 мг/л (200 мг/л),

кремния до 19,83 (10 мг/л), марганца 0,32 мг/л (0,1 мг/л) и окисляемости перманганатной до 311,50 мгО₂/л (5 мгО₂/л) [12].

Динамика изменения химического состава с 2004 по 2015 гг. турон-коньякского, альб-сеноманского, рудно-кристаллического водоносных горизонтов по скважинам 2^г, 15^г, 19^{нв}, 3^{нв}, 9^г, 12^г, 5^г приведена на рисунках 3.9 – 3.11.

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 CO₃²⁻, SO₄²⁻ и органическим веществом» [36]. Положение железосодержащих подземных на Eh-pH-диаграмме показано на рисунке 3.12.

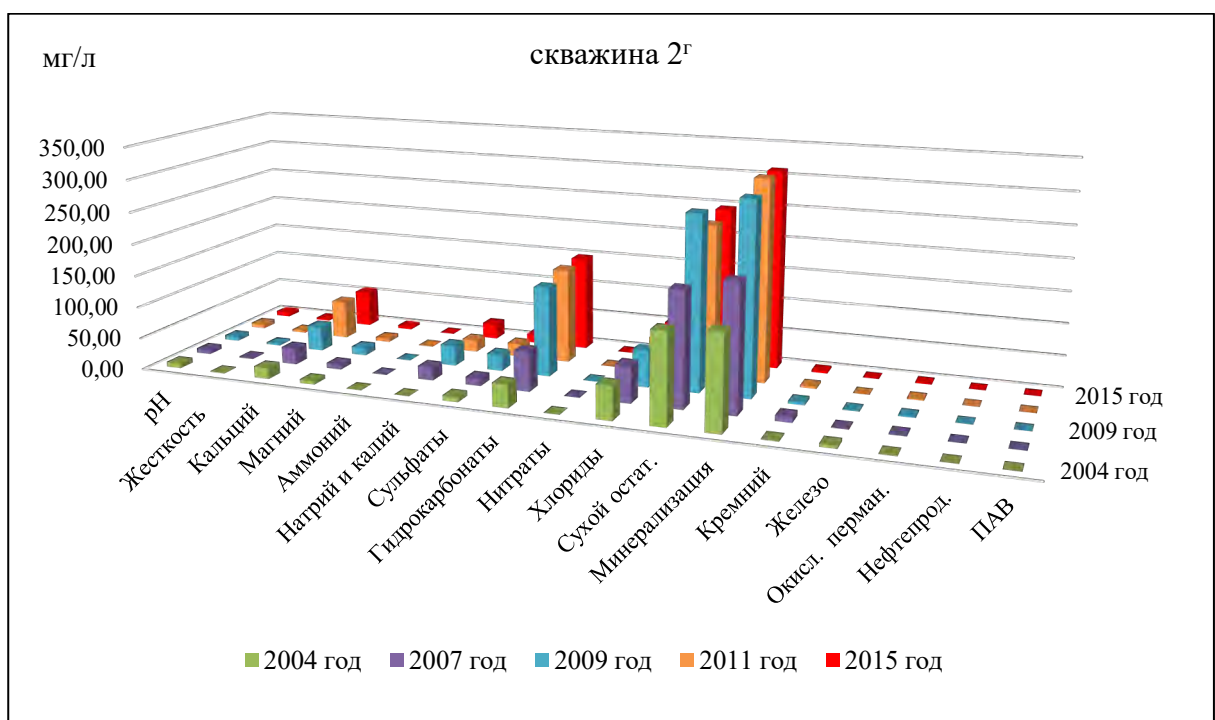


Рис. 3.9. Динамика изменения химического состава рудно-кристаллического водоносного горизонта

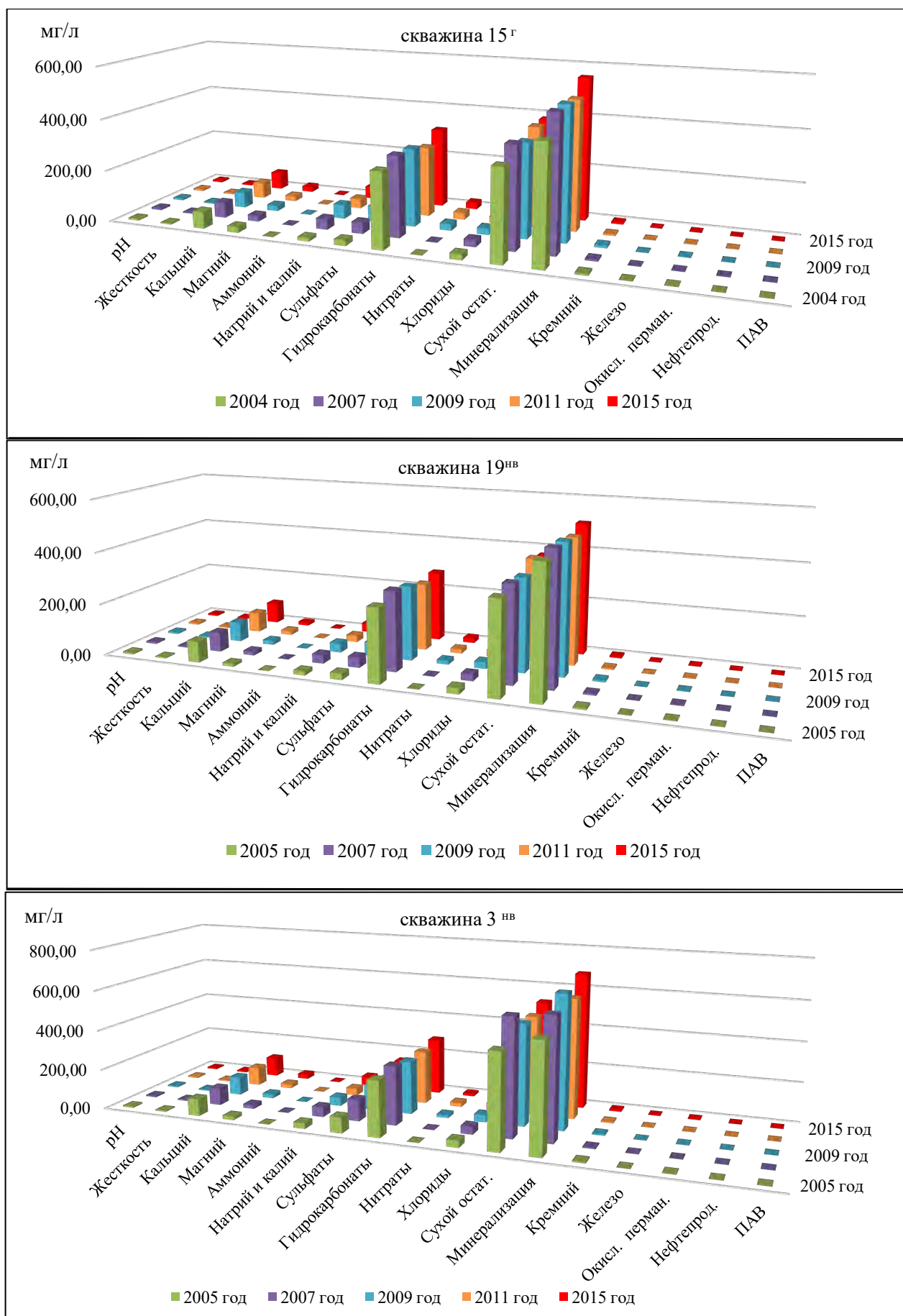


Рис. 3.10. Динамика изменения химического состава турон-коньякского водоносного горизонта

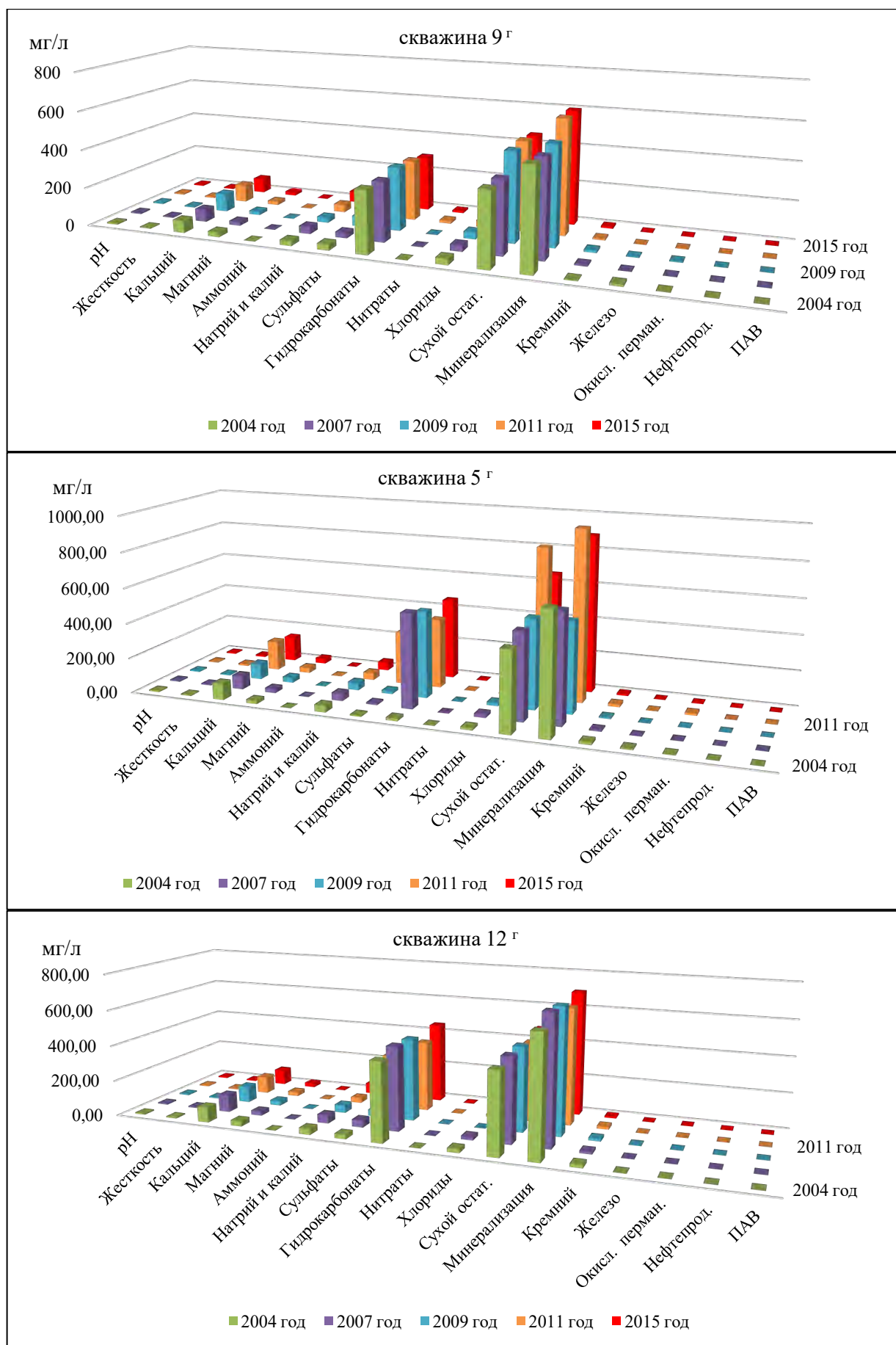


Рис. 3.11. Динамика изменения химического состава альб-сеноманского водоносного горизонта

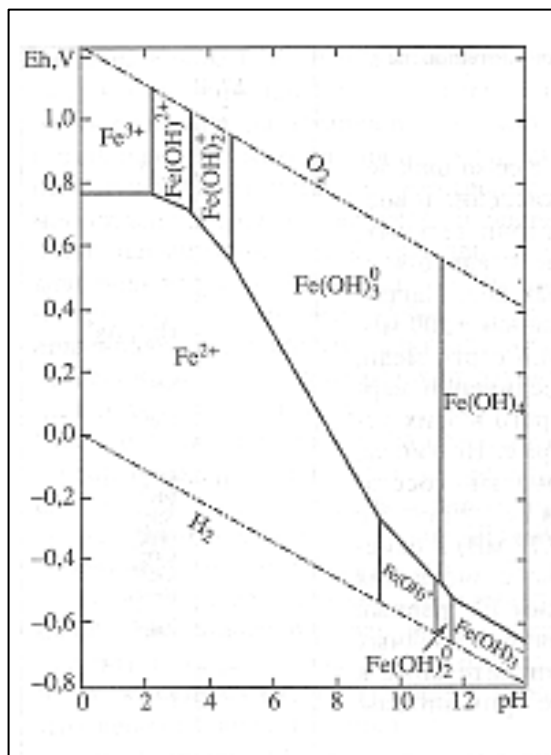


Рис. 3.12. Eh-pH– диаграмма системы Fe-H₂O-CO₃²⁻ для температуры 25°C и общего давления 0,1 МПа, по (Гаррелс, Крайст, 1986г.) с изменениями [36]

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 столь значительных концентраций в водах турон-коньякского водоносного горизонта.

Дренажные воды карьера СГОКа опробовались в пределах горизонта абс. отм. + 93 м – из дренажной канавы на участке водосбросных скважин и зумпфа – на дне карьера (таблица 3.2).

Таблица 3.2. – Содержание железа в дренажных водах ПТС «Стойленское» [12].

Место отбора пробы воды	дата отбора пробы воды, 2015 г.	Содержание компонентов	
		Железо общее, мг/л	Ионы сульфатов
Дренажные воды		от 0,62 до 3,65	
- северный борт карьера		при ПДК = 0,3	
- южный борт карьера	Февраль, сентябрь и ноябрь	от 3,05 до 17,86	
- западный борт карьера, участок выхода закрытого дренажа	В течение года	от 0,35 до 2,67	

Место отбора пробы воды	дата отбора пробы воды, 2015 г.	Содержание компонентов	
		Железо общее, мг/л	Ионы сульфатов
Дренажная канава - западный борт карьера, в районе водосбросных скважин 12 и 12 ^а	Сентябрь, май	от 0,36 до 3,29	
зумпф	Сентябрь	0,44	430-685
отсек у головной плотины	Май	от 0,53 до 3,96	
промежуточный отсек	2015 г.	до 1,39	
<i>Технические воды</i> Хвостохранилище - центрального отсека	Ноябрь, август	от 0,52 до 0,79	
- отсек у плотины защиты отвалов	Ноябрь	37,69	
- буферная емкость	Август, ноябрь	0,78 и 0,74	
- прудок, в нижнем бьефе плотины защиты отвалов	Август	0,61	
- хвостохранилище	В течение года	37	295,0
Пруд-аккумулятор содержит дренажные воды, профильтровавшиеся через тело и в обход головной плотины	В течении года	Данные не приведены	196
Шламонакопитель ДСУ (балка Бродчанский Лог)	Август	4,17 до 156,31	
Шахтные воды, сбрасываемые в хвостохранилище СГОКа	В период 2013-2015гг.	0,57 до 1,94	141-157

Контроль качественного состава поверхностных вод в пределах зоны влияния объектов ПТС «Стойленское», включающих техническую воду хвостохранилища СГОКа, шламонакопителя дробильно-сортировочного участка (ДСУ) и воду из реки Оскол, производился по 11 пунктам с частотой отбора проб воды 1 раз в квартал. Химический состав воды в зумпфе карьера на протяжении ряда лет (2006-2015 гг.) изменяется, как в годовых, так и сезонных циклах.

В целом, для технической воды хвостохранилища характерно повышенное (в пределах ПДК) содержание ионов сульфатов 295,0 мг/л и железа общего до 37 мг/л. В шламонакопителе ДСУ (балка Бродчанский Лог, западнее п. Стойло) вода имела бурый цвет, большое содержание взвесей, содержание железа общего до 156,31 мг/л (август 2015г.), окисляемости перманганатной до 11,09 мгО₂/л (ноябрь 2015г.).

Установлено [12, 53, 61, 64, 104], что река Осколец в районе эксплуатации дренажных систем карьеров ЛГОКа и СГОКа и на участке эксплуатации водозабора Теплый Колодезь, а река Убля в районе эксплуатации водозаборов Воротниковский, Ильинский и Незнамовский питают водоносные горизонты. Инфильтрационные потери составляют из р. Осколец порядка 1900 м³/ч, в т.ч. в районе зоны влияния карьеров – 1250 м³/ч, из р. Убля – 1300 м³/ч. В балку Дальний Лог разгружается около 450 м³/ч вод, фильтрующихся из хвостохранилища СГОКа.

Выводы

1. Техногенный режим подземных вод ПТС «Железорудные месторождения» характеризуется определенными новыми закономерностями.
2. На протяжении длительной эксплуатации дренажных систем карьеров Стойленского и Лебединского ГОКов, совместно с работой ряда водозаборов подземных вод, сформировалась значительная по размерам депрессионная воронка. Она прослеживается вдоль русла реки Осколец полосой шириной 13–22 км и длиной 35 м. На участках, прилегающих к карьере СГОКа, полностью осушен турон-коньякский водоносный горизонт, в пределах карьера сдренирован альб-сеноманский водоносный горизонт на 40 м (от первоначального уровня подземных вод).
3. На территории ПТС «Стойленского и Лебединского карьеров» чётко прослеживается *тренд снижения уровня* подземных вод в районе депрессионной воронки. Максимальное снижение уровня воды за шестнадцать лет было зафиксировано в рудно-кристаллическом водоносном горизонте – 15,74 м и в альб-сеноманском водоносном горизонте 6,94 м. В районе хвостохранилищ продолжает сохраняться купол растекания подземных вод.
4. Изменение уровенного режима подземных вод в меловом водоносном комплексе в течение всего периода наблюдений года носит *сезонный* характер, с максимальным подъёмом в мае-июне и последующим снижением в октябре-ноябре.

5. Изменение гидрогеологических условий в процессе добычи руд permanently провоцируют возникновение горно-геологических процессов в бортах карьера. Градиент изменения уровня подземных вод в результате работ дренажной системы провоцируют развитие суффозионного процесса, изменение состояния и прочностных свойств пород в прибортовой части массива, подтопление откоса уступов и их разрушение.
6. В условиях постоянного отбора подземных вод дренажной системой карьера и пополнения их за счёт инфильтрации техногенных вод из хвостохранилища происходит постепенное изменение качества подземных вод. Замещение природных подземных вод техногенными является непрерывным процессом на всём протяжении работы горнорудных предприятий.
7. Функционирование хвостохранилища является причиной ежегодного роста валового содержания железа в радиусе 10 км. Для дренажных вод карьера характерно повышенное содержание железа общего и ионов сульфатов. Основными загрязняющими компонентами поверхностных и подземных вод являются соединения железа, азота и нефтепродуктов.
8. В целом гидрохимическая обстановка резко меняется к худшему.

ГЛАВА 4. ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И СТЕПЕНЬ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА

4.1. Инженерно-геологические процессы, причины и условия их развития на территории ПТС «Стойленского и Лебединского карьеров»

Карьерное поле характеризуют следующие параметры: суммарная длина фронта карьера, рельеф поверхности карьера, уступы, их число, высота и угол заложения, бермы, отвалы. К настоящему времени на Лебединском карьере насчитывается в толще осадочных пород 11 уступов, в метаморфических породах докембрия – 24 уступа. Высота уступов определяется составом пород, условиями их залегания, блочностью и трещиноватостью массива.

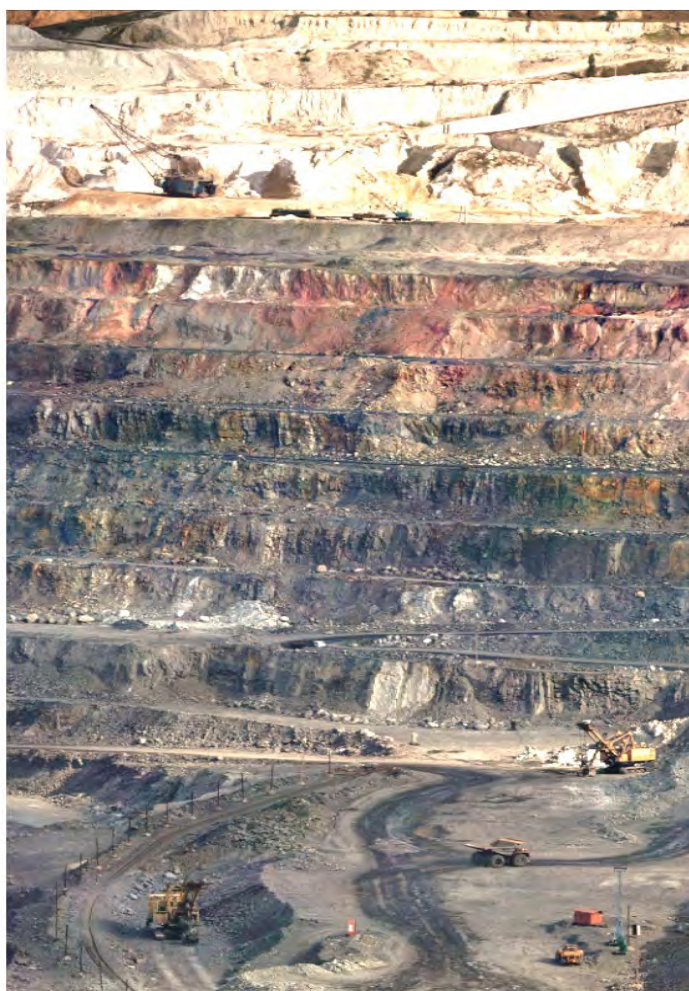


Рис. 4.1. Карьер Стойленского месторождения

Толща осадочных пород, мощностью до 170 м подстилается сложноскладчатым комплексом метаморфических пород докембрия. В основном, месторождения Лебединское и Стойленское сложены железорудной коробковской

свитой и подстилающей её стойленской свитой (мощностью 159–500м), представленной преимущественно кварцито-песчаниками с прослоями сланцев. Коробковская свита, средней мощностью 600 м, является продуктивной. Практически повсеместно по породам докембрия развита кора выветривания, в вертикальном строении которой, выделяются три зоны (снизу-вверх): дезинтеграции, литомаржа, дисперсная. Мощность коры выветривания в зависимости от состава субстрата варьирует от 5 до 50 м.

Сложноскладчатый рудно-кристаллический фундамент разбит крупными тектоническими нарушениями различного порядка. Западный региональный разлом и тектонические нарушения I и II порядка (протяженностью от 1000 до нескольких сотен метров) создают блоковое строение массива. Зоны тектонических нарушений представляют собой зоны дробления, рассланцевания с глиной трения. Расстояния между зонами нарушений колеблется от 30 до 150 м. По степени структурной нарушенности массив характеризуется как крупно-, среднеблочный, в коре выветривания – как мелкоблочный [32].

Основными параметрами, используемыми при проектировании карьеров (выборе заложения откосов) являются: плотность, прочность, коэффициент разрабатываемости пород [1,3,73].

Разработка месторождений полезных ископаемых кардинально изменяет напряжённое состояние горного массива пород. В прибортовых массивах участки пород с изменённым напряжённым состоянием захватывают широкие зоны, являясь областями потенциальных поверхностных разрушений [44, 83].

Борта карьера на конечных контурах формируются в толще пород осадочного чехла и массива пород рудно-кристаллического фундамента. С точки зрения строения локальной ПТС «Карьер», следует выделить два инженерно-геологических комплекса: верхний, сложенный рыхлыми и полускальными грунтами, мощностью до 90 м; нижний – представленный скальными породами, мощностью до 600 м, каждый из которых характеризуется собственным набором

физико-механических свойств и процессов, проявляющихся в бортах карьеров (таблица 4.1).

Таблица 4.1– Физико-механические свойства пород, составляющих борта карьера [26,32,43,62]

<i>Верхний инженерно-геологический комплекс</i>						
Геологический индекс, порода	Мощность, м	Физико-механические свойства пород				
		Плотность, г/см ³	Влажность, %	Коэффициент пористости, %	Сцепление, МПа	φ , °
Q , суглинки	25	1,83	19	0,8	0,05–0,08	19–36
K_{2t-k} , мергель, мел	28–35	1,81–1,86	16–41	0,78	0,07–0,14	
K_{1-2 al-s} , пески	4–6	1,70–1,86	5–17	–	0,02	28–33
J , глины песчаные	2–30	2,12	20–22	0,66	0,03–0,07	20–28
eL(PR) , кора выветривания – зона литомаржа – зона дробления	5–50	2,13–3,31 2,35			0,09 0,73–15,1	22
<i>Нижний инженерно-геологический комплекс</i>						
Наименование пород	Трещиноватость	Плотность	φ , °	C, МПа H=10м	C, МПа H=15м	C, МПа H=45м
Кварциты железистые окисленные	сильная	3,31	14	25,7	25,1	22,2
PRkr₁ , кварциты магнетитовые и силикато-магнетитовые	сильная	3,48	16	26,7	25,6	23,1
	средняя	3,64	19	28,4	27,7	21,6
PRkr₂ , сланцы биотитовые, выветрелые	сильная	2,67	15	14,1	13,4	11,6
PRkr₃ , кварциты магнетитовые с железной слюдкой	сильная	3,51	17	28,8	26,8	23,4
	средняя	3,67	19	29,6	28,3	23,1
PRst₁ кварцито-песчаники	сильная	2,57	16	12,7	12,1	10,8
	средняя	2,63	19	14,3	13,7	11,9

Примечание: H – высота уступа борта карьера, C – сцепление, φ – угол внутреннего трения

Развитие гравитационных процессов в высокопрочных скальных грунтах (плотность – 3,6 г/см³, временное сопротивление сжатию 15 – 30, максимальная – 120 МПа) обусловлено наличием складчатости и блочности массива пород,

создаваемой разрывными нарушениями с глиной трения, зонами дробления и расщепления [80]. Борта верхних горизонтов, являясь зонами изменённого напряжённо-деформационного состояния (табл. 4.2), находятся в состоянии временного равновесия, нарушаемого фильтрационными процессами, выветриванием и сейсмическим воздействием массовых взрывов.

Интенсивное выветривание пород, составляющих борта карьеров, провоцирует проявление гравитационных процессов, главным образом, осыпей, что приводит к сдвиганию ступеней и изменению конфигурации бортов карьера [84].

Таблица 4.2 – Характеристика деформаций, развивающаяся в прибортовых массивах горных пород [32].

Вид деформации	Величина деформации	Признаки деформации	Характер деформации	Смещение поверхности прибортового массива, м
Упругая	$<1 \cdot 10^{-3}$		Затухающий	$>1,30$
Упруго-пластичная	$(2-10) \cdot 10^{-3}$	Микро- и макротрещины	Затухающий	0,20-0,30
Пластичная	$(10-30) \cdot 10^{-3}$	Видимые заколы и трещины	Преимущественно затухающий	1,5-2,0
Ползучесть	$>30 \cdot 10^{-3}$	Разрушение прибортового массива	Прогрессирующий	$> 2,0$

Инженерно-геологические процессы, развивающиеся в ходе функционирования элементарной ПТС «Карьер» железорудных месторождений Стойленского и Лебединского:

1. Осыпание;
2. Обрушение;
3. Оползание;
4. Поверхностная эрозия;
5. Суффозия: механическая, химическая;
6. Фильтрационные деформации.

Причины и условия развития инженерно-геологических процессов в ходе функционирования элементарной ПТС «Карьер» железорудных месторождений Стойленского и Лебединского представлены в таблице 4.3. Возникновение

градиентов фильтрации привело к развитию суффозионного процесса с образованием каналов, крупных пещер, провальных воронок и затем к смещению крупных блоков пород в откосе [27].

Таблица 4.3. – Причины и условия развития инженерно-геологических процессов в ходе функционирования элементарной ПТС «Карьер» железорудных месторождений Стойленского и Лебединского [27].

Процесс	Условия	Причины	Последствия
Осыпания	Трещиноватые грунты: – связные и несвязные; – скальные и полускальные	Выветривание пород; взрывные работы в карьере	Выполаживание откосов, перекрытие нижних площадок уступов. Перманентное развитие процессов
Обрушения	Наличие поверхностей ослабления, зоны 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	Песчано-глинистые породы: – низкие прочностные свойства пластичных глинистых грунтов; – углы падения слоев больше угла внутреннего трения. Скальные породы: наличие глинки трения, заполняющей дизъюнктивные нарушения, падающие в сторону карьера	Изменения напряжённого 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: механиче- ская, химическая	Приоткосный массив сложен песками; содержит растворимые породы	Гидростатическое и гидродинамическое давление; выщелачивание фильтрационным потоком	Создание условий для развития других процес- сов: оползней, оплывин, обвалов и др.
---	---	--	---

4.2. Алгоритм оптимизации углов заложения откосов бортов карьера

Актуальность проблемы обеспечения устойчивости массива пород в динамике развития горных работ очевидна.

Особенности инженерно-геологических условий, в том числе литолого-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. Это становится возможным лишь на основе корректных данных инженерно-геологических исследований.

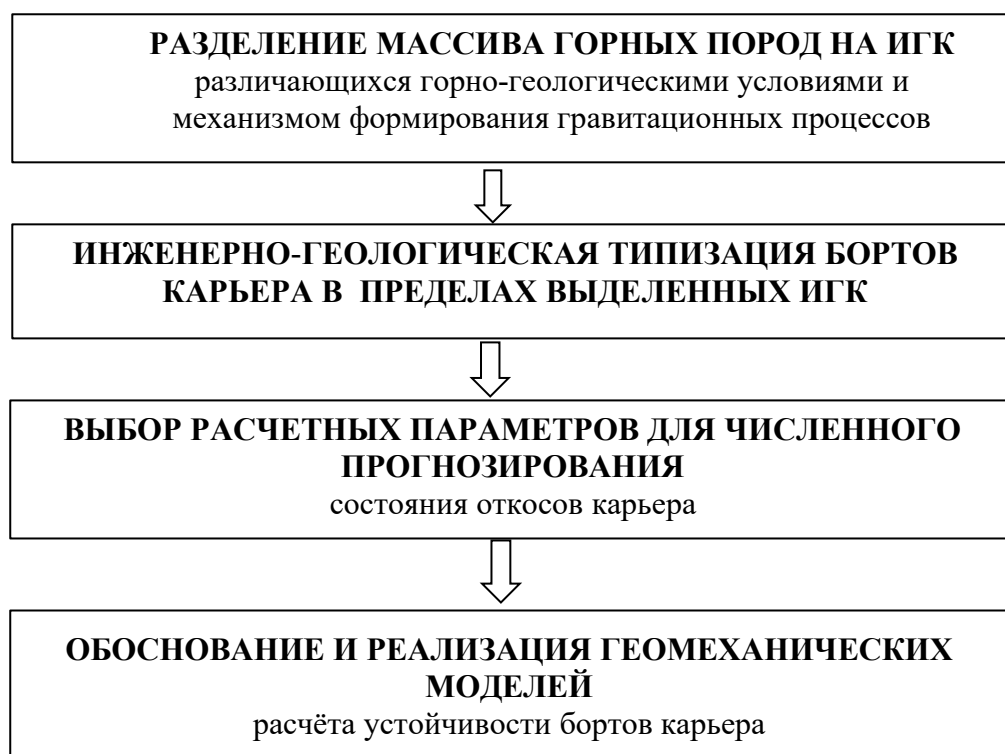


Рис. 4.2. Алгоритм оптимизации углов заложения откосов карьера

Автором предлагается алгоритм оптимизации углов заложения откосов (рис. 4.2), включающий: разделение бортовой части массива на два инженерно-геологических комплекса (ИГК), различающиеся горно-геологическими условиями и механизмом формирования гравитационных процессов (верхний, сложенный рыхлыми и полускальными грунтами, мощностью до 90 м, нижний – представленный скальными породами, мощностью до 600 м), каждый из которых характеризуется собственным набором процессов, проявляющихся в бортах карьера; типизацию бортов карьера в пределах выделенных ИГК; выбор расчётных параметров для численного прогнозирования состояния откосов карьера с учётом основных причин и условий, определяющих возникновения инженерно-геологических процессов; обоснование и реализация геомеханических моделей расчёта устойчивости бортов карьера.

4.3. Инженерно-геологическая типизация бортов карьера

Элементарная ПТС «Карьер Стойленский» делится на два инженерно-геологических комплекса:

1. Верхний ИГК-1, сложенный рыхлыми и полускальными грунтами, мощностью до 90 м. Параметры расчёта: плотность, ρ ; сцепление, C ; угол внутреннего трения, φ° ; модуль упругости, E ; коэффициент Пуассона, μ ; коэффициент фильтрации, K_ϕ ; пригрузка от отвалов, $P_{\text{доп}}$, с учётом гидростатического давления, выветривания и микросейсмики.
2. Нижний ИГК-2, представленный скальными грунтами, мощностью до 600 м. Параметры расчёта: ρ , C , φ° , E , μ , трещиноватость и ориентировка систем трещин по отношению к бортам карьера, блочность массива, угол наклона.

Для оптимизации углов заложения откосов выполнено районирование с учётом компонентов инженерно-геологических условий.

Типизация осадочного чехла (ИГК-1) выполнена с учётом геологического строения, гидрогеологических условий (величины водопритоков по контуру карьера, и соответственно с учётом водопроницаемости и K_ϕ), физико-механических

свойств грунтов. В соответствии с этими факторами по условиям отработки бортов карьера было выделено три типа участков: относительно сложные, сложные и очень сложные. Типовая модель бортов Стойленского карьера в пределах ИГК -1 приведена на рисунке 4.3. Параметры бортов карьера в пределах ИГК-2 представлены в таблице 4.4.

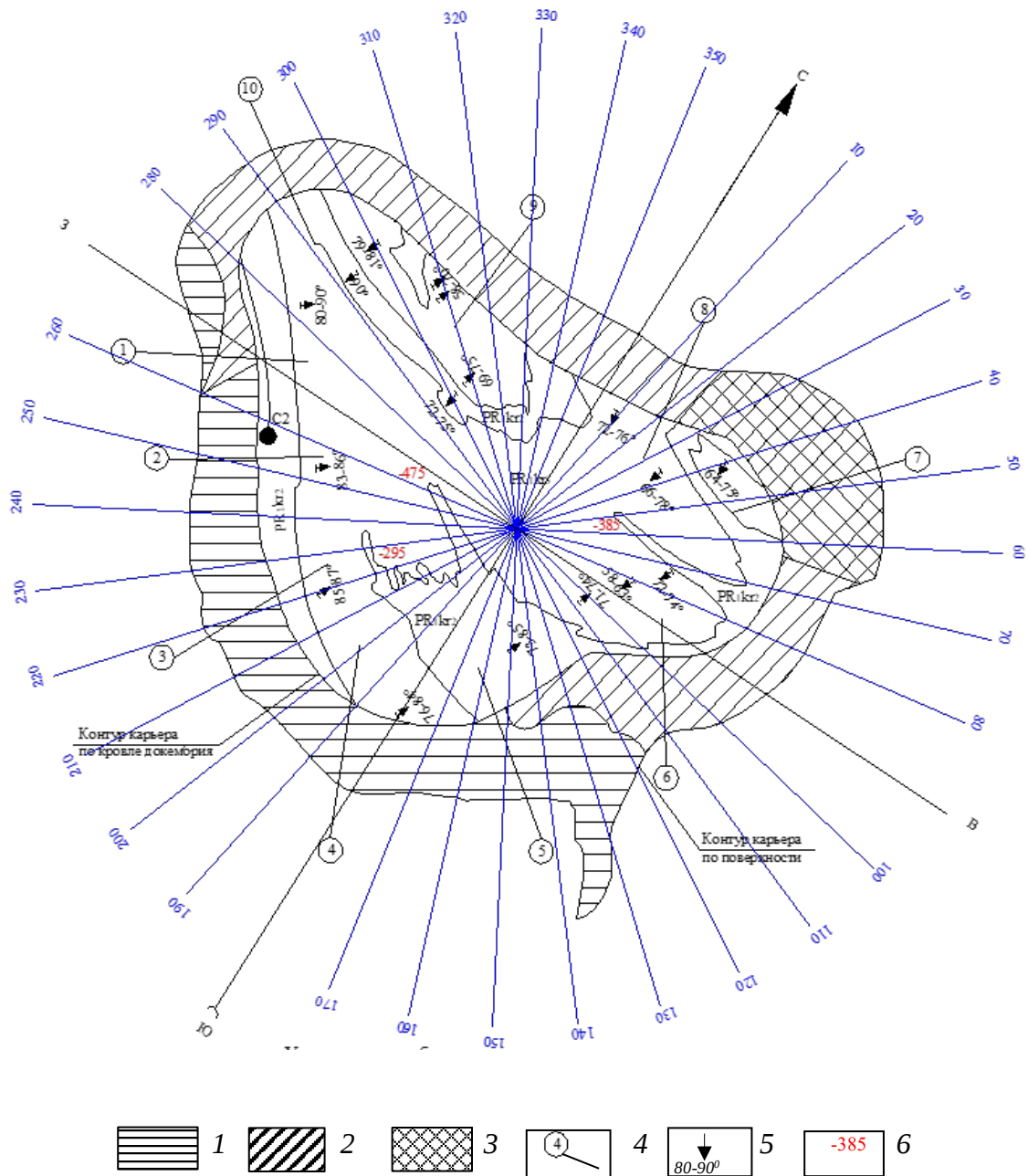


Рис. 4.3. Схематическая типизация бортов карьера в пределах ИГК -1: 1 – относительно сложные; 2 – сложные; 3 – очень сложные; 4 – расчётный профиль; 5 – элементы залегания трещин; 6 – отметка дна карьера

Таблица 4.4. – Углы наклона бортов карьера в рудно-кристаллическом массиве [52]

Борт карьера	Разведочный профиль	Отметки		Параметры борта	
		Верх	Низ	Высота, м	Угол наклона
Западный	I +350	215	90	125	25°
		215	-415	630	35°
		90	-415	505	39°
Западный	II	226	80	146	24°
		226	475	701	33°
		80	475	555	38°
Юго-западный	VI	215	80	135	18°
		215	-355	570	30°
		80	-355	435	39°
Юго-западный	VII	151	75	76	17°
		151	-295	446	23°
		75	-295	280	39°
Южный	X	215	65	150	21°
		215	-385	660	31°
		90	-385	450	37°
Юго-восток	IX	250	60	190	19°
		250	-385	635	28°
		190	60	250	23°
		60	-385	445	33°
Северо-восточный	V	190	60	130	21°
		190	-385	575	35°
		60	-385	445	37°
		-35	-385	350	41°
Северный	II	215	80	135	22°
		215	-475	690	31°
		80	-475	555	34°
		-85	-475	390	37°
		-265	-475	210	38°
Северо-западный	I	195	80	115	24°
		195	-235	430	32°
		80	-235	315	38°

4.4. Расчётные модели устойчивости бортов Стойленского-Лебединского карьеров и прогноз дальнейшего состояния откосов

Экономическая эффективность разработки месторождений полезных ископаемых (МПИ) напрямую связана с возникающими рисками при его освоении (рис. 4.4). Одним из основных факторов при оптимизации системы «риск–экономическая эффективность» является согласование параметров разработки

МПИ с его инженерно-геологическими условиями. Главным образом, это связано с оценкой устойчивости бортов карьеров.

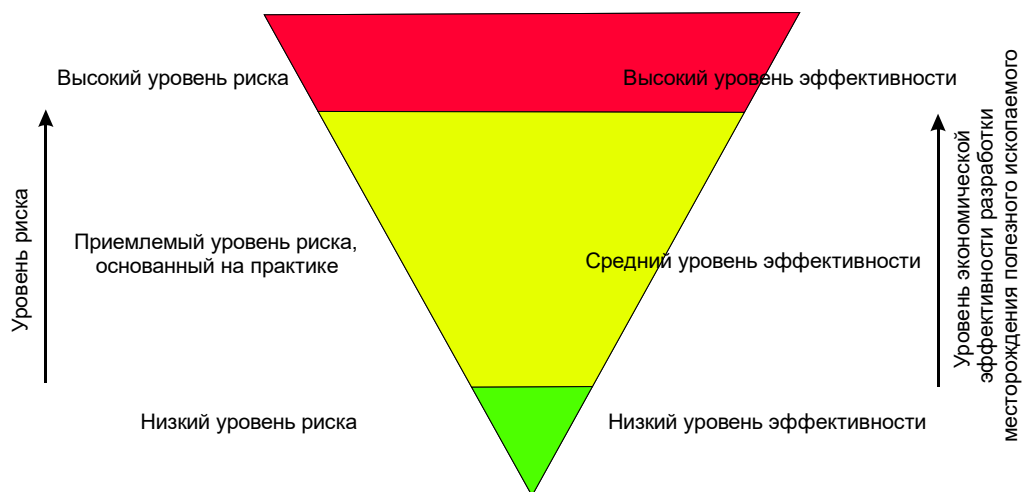


Рис. 4.4. Связь между рисками и экономической эффективностью освоения МПИ

4.4.1. Оценка устойчивости бортов карьера на конечных контурах, формирующихся в толще осадочного чехла (ИГК-1)

Структура геомеханической модели борта карьера в толще пород осадочного чехла (рис. 4.4) включает 8 инженерно-геологических элементов.

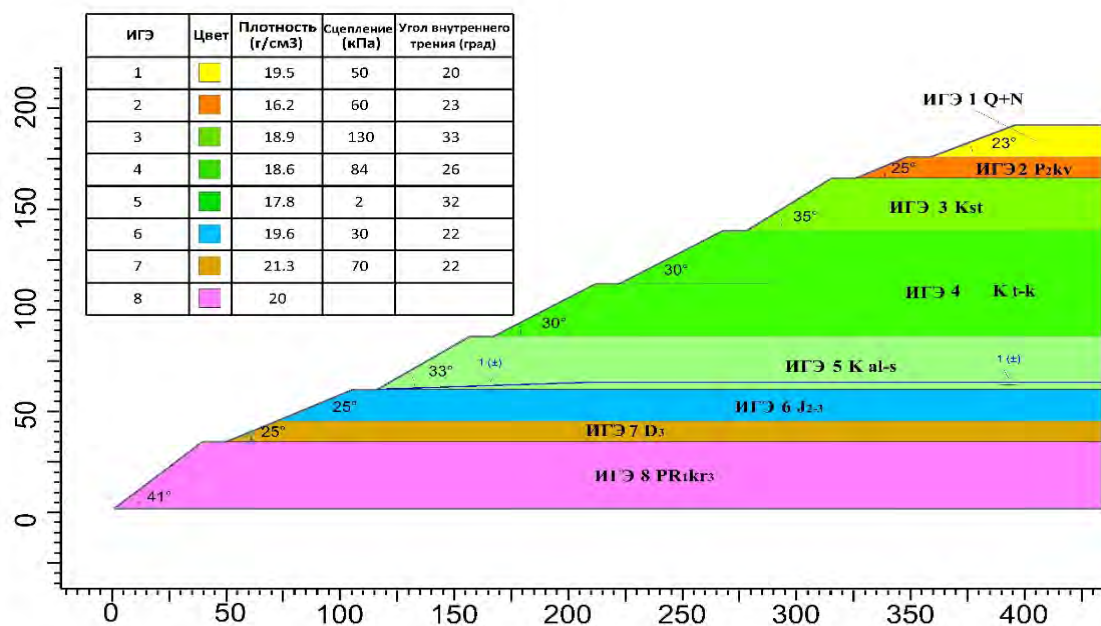


Рис. 4.5. Геомеханическая модель борта карьера

Оптимизация функционирования ПТС «Железородное месторождение» базируется на современной методологии расчёта устойчивости бортов карьера [18, 31, 57, 87, 99, 110].

В работе использованы следующие методы расчёта:

– предельного равновесия: метод Моргенштерна-Прайса и упрощённые методы Бишопа и Янбу (в программном комплексе Rocscience Slide 7, Slide 3D); Методы Бишопа и Моргенштерна-Прайса рассматриваются нормативными документами [2] в качестве общепринятых методов расчёта устойчивости склонов; метод Янбу по своей сути близок к методу горизонтальных сил Маслова-Берера, который также рекомендован нормативными документами.

– конечных элементов, представляющий класс численных методов (в программном комплексе Rocscience RS2).

Класс методов предельного равновесия в зависимости от числа уравнений равновесия [57, 97] можно разделить на 3 группы: удовлетворяющих общему равновесию моментов; удовлетворяющих общему равновесию сил; удовлетворяющих общему равновесию моментов и сил.

В упрощённом *методе Бишопа* [89] удовлетворяются условия равновесия общих моментов и вертикальных сил (равновесие сдвигающих сил не соблюдается). Несмотря на то, что условия равновесия удовлетворяются не полностью, тем не менее метод обеспечивает хорошие результаты и рекомендуется для проведения большинства практических расчётов. Вследствие того, что коэффициент устойчивости (K_u) входит в обе части уравнения, для решения задачи необходимо задаться начальным значением коэффициента устойчивости. Далее решение данного уравнения сводится к итерационному процессу до тех пор, пока вычисляемый K_u не окажется меньше заданной допустимой погрешности.

Упрощённый *метод Янбу* [96] подобен упрощённому методу Бишопа за исключением того, что он удовлетворяет полному равновесию горизонтальных сил, но не удовлетворяет полному равновесию моментов. Сравнительный анализ

результатов расчётов [57] показывает, что метод Янбу даёт заниженные результаты коэффициента устойчивости.

Моргенштерн и Прайс [98] разработали метод расчёта устойчивости откосов на основе решения двух уравнений, одно – удовлетворяет общему равновесию моментов, другое – общему равновесию горизонтальных сил. Равновесие в отсеке обеспечивается: 1. Приравниванием к нулю моментов сил относительно подошвы отсека. 2. Приравниванием к нулю суммы проекций сил на направления нормали и касательной к подошве отсека. В результате получается система из двух дифференциальных уравнений, для решения которой в методе Моргенштерна и Прайса вводится упрощающее допущение, касающееся зависимости между касательными E и нормальными N составляющими силами взаимодействия:

$$X = E\lambda f(x),$$

где E – касательные составляющие сил взаимодействия; $f(x)$ – вид функциональной зависимости между E и N ; N – нормальные составляющие сил взаимодействия; λ – доля используемой функции. В методе Моргенштерна и Прайса функциональная зависимость между E и N может быть различной. Применение уравнения делает задачу расчёта устойчивости по методу Моргенштерна и Прайса статически определенной.

При расчёте методами предельного равновесия была выполнена процедура оптимизации поверхности скольжения [95,100].

Метод конечных элементов (МКЭ, FEM) наряду с методами конечных разностей является одним из основных численных методов решения задач механики сплошной среды [74]. Определение устойчивости склона выполняется методом редукции (ступенчатого уменьшения) прочностных параметров материалов модели, доводя её до искусственного разрушения. Состояние математической модели, при котором не может быть получено устойчивое решение краевой задачи вследствие безграничного нарастания деформаций расчетной области, трактуется как предельное. Коэффициент запаса устойчивости откосов определяется как отношение исходных прочностных параметров пород,

слагающих откос, к их минимальным значениям, при которых решение краевой задачи ещё возможно [57,92].

Расчётные схемы. 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 моделирования локальной устойчивости борта карьера с определением минимального коэффициента устойчивости (K_u), выполненные методами предельного равновесия (рис. 4.6), позволяют сделать вывод, что наиболее вероятным сценарием является локальная потеря устойчивости откоса, сложенного альб-сеноманскими песками.

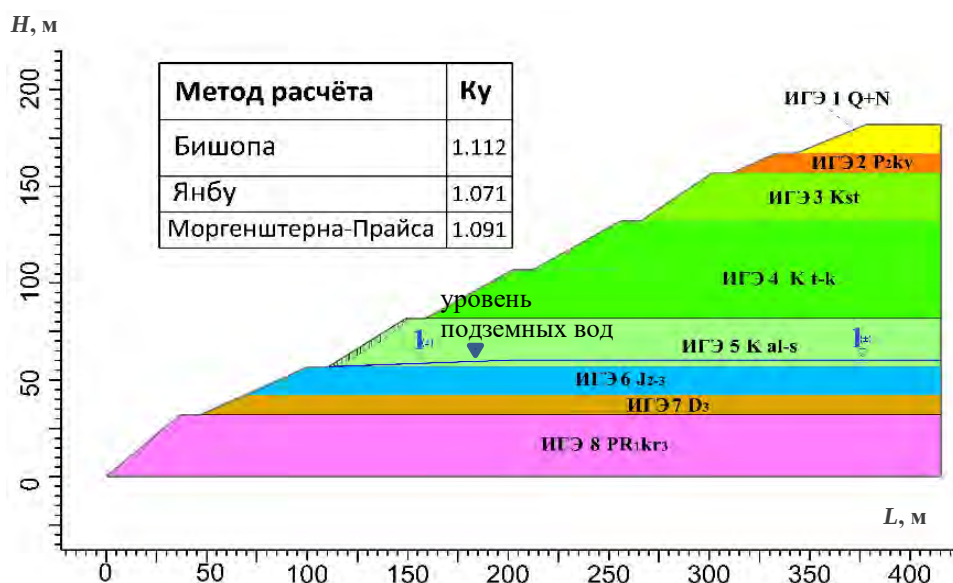


Рис. 4.6. Модель расчёта локальной устойчивости борта карьера методом предельного равновесия

Определение глобальной устойчивости борта карьера (ИГК-1) было выполнено как методами предельного равновесия (в плоской и объёмной постановке задачи), так и МКЭ. Результаты моделирования методами предельного равновесия в плоской постановке задачи приведены на рисунке 4.7, в объёмной – на рисунке 4.8, методом конечных элементов на рисунке 4.9.

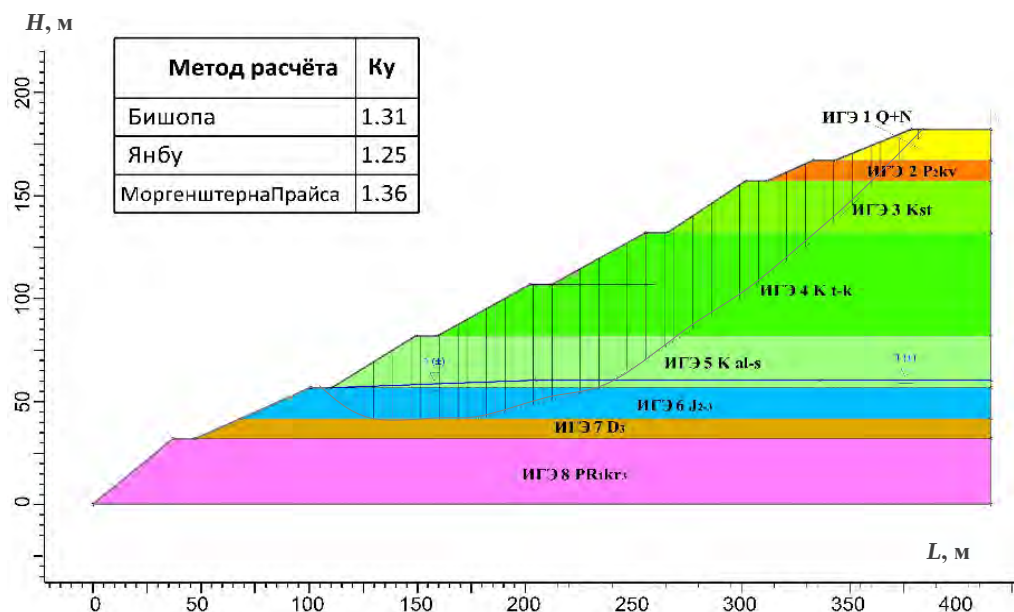


Рис. 4.7. Модель расчёта глобальной устойчивости борта карьера методом предельного равновесия в плоской постановке задачи

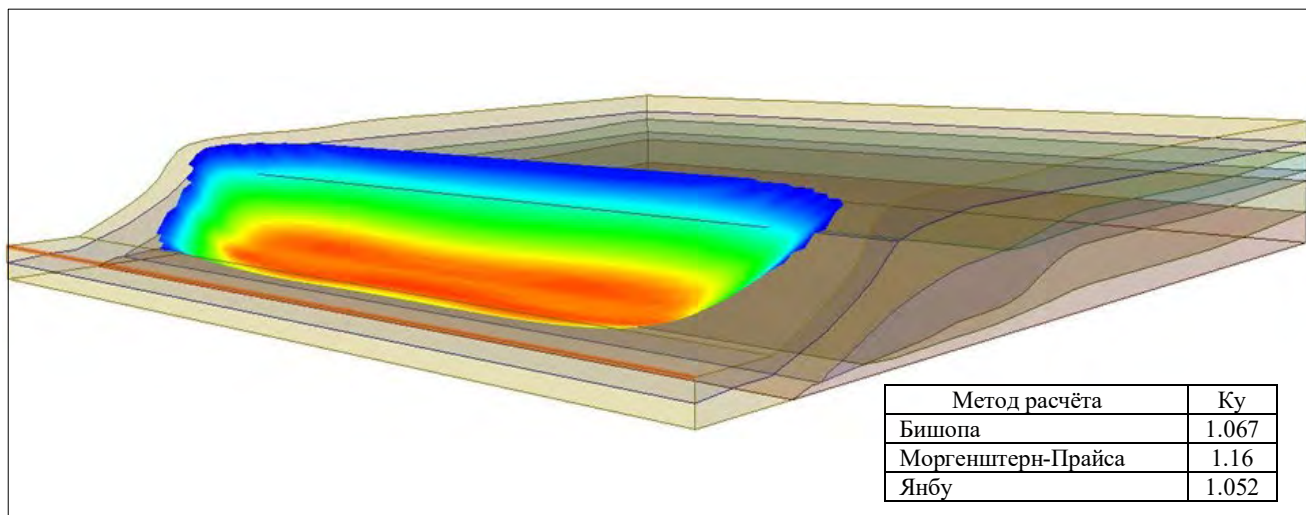


Рис. 4.8. Модель расчёта глобальной устойчивости борта карьера методом предельного равновесия в объёмной постановке задачи

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при потере глобальной устойчивости борта ИГК-1, основной деформируемый горизонт будет приурочен к кровле ИГЭ 7, сложенного глинами девонского возраста.

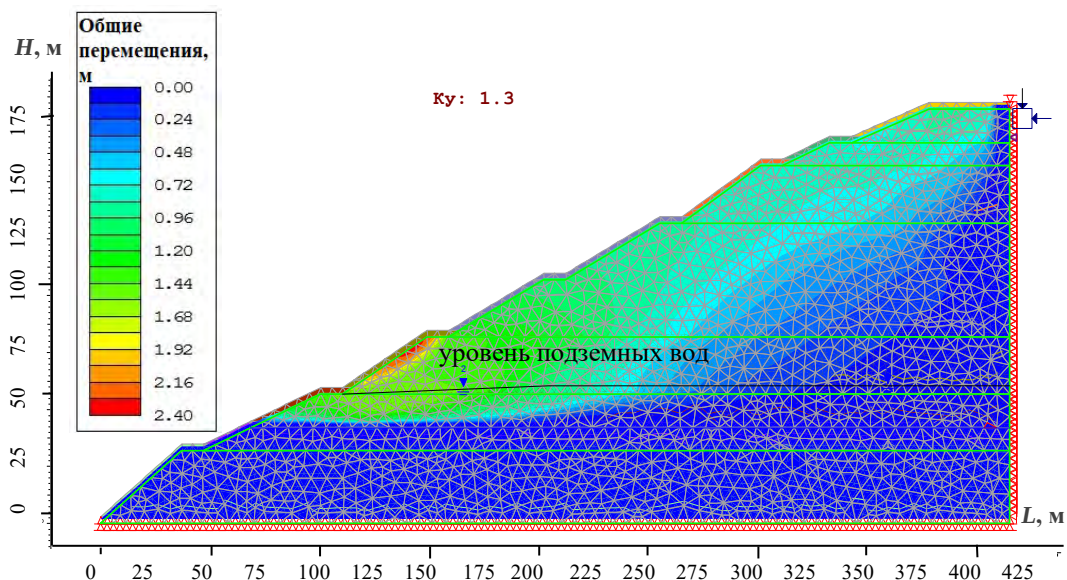


Рис. 4.9. Модель расчёта глобальной устойчивости борта карьера методом конечных элементов:
 K_u – коэффициент устойчивости

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.

Оценка факторов, определяющих устойчивость грунтов ИГК-1

Влияние подъёма уровня подземных вод на коэффициент устойчивости (K_u).

Одним из основных факторов, определяющим как локальную, так и глобальную устойчивость бортов карьера, является динамика техногенного водоносного горизонта, в частности, формирование депрессионной воронки. На рисунке 4.10 приведены графики зависимости локальной (рис. 4.10, а) и глобальной (рис. 4.10, б) устойчивости борта карьера (K_u) от положения уровня подземных вод. Как видно из графиков, при повышении уровня подземных вод глобальная устойчивость резко снижается, локальная устойчивость борта нарушается при повышении уровня подземных вод альб-сеноманского горизонта на 2.7 метра.

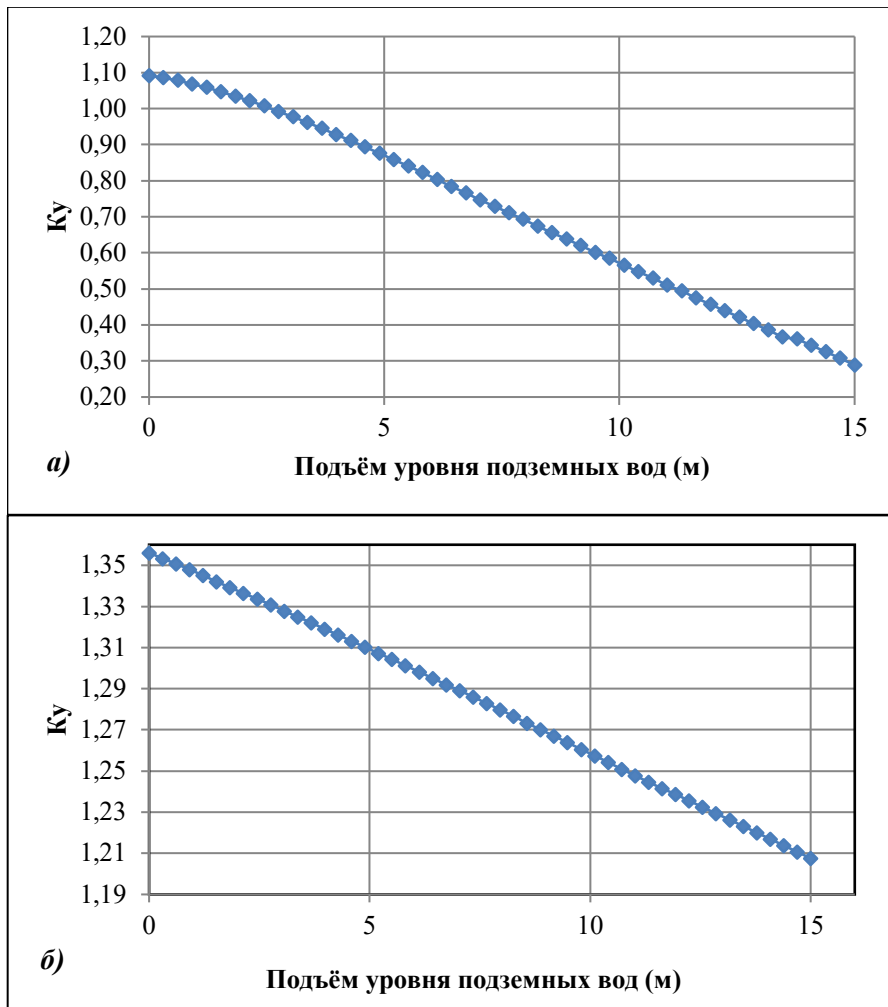


Рис. 4.10. Влияние подъёма уровня надюрского водоносно горизонта на локальную (а) и глобальную (б) устойчивость борта карьера (K_u), метод Morgenstern-Price

Влияние прочности песков на глобальную устойчивость. Изменение уровня и возникновение градиентов напора в песках альб-сеноманского водоносного горизонта, вследствие работы дренажной системы, приводит к развитию суффозионного процесса, изменению влажности и снижению прочностных свойств песков (угол внутреннего трения). На рисунке 4.11 приведён график, свидетельствующий о весьма значительном влиянии угла внутреннего трения песков на глобальную устойчивость борта.

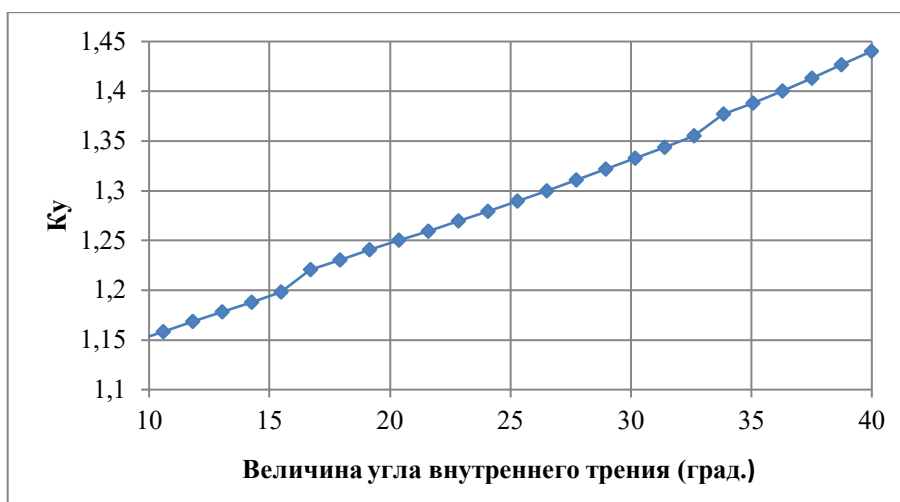


Рис. 4.11. Влияние на глобальную устойчивость борта карьера (K_u) углов внутреннего трения альб-сеноманских песков, метод Morgenstern-Price

Влияние величины порового давления в девонских глинах на глобальную устойчивость. При нестационарном гидрогеологическом режиме, в зарубежной практике при оценке устойчивости откосов, сложенных глинистыми грунтами, рекомендуется использовать в расчётах недренируемую прочность [86, 91].

Влияние порового давления на сопротивление сдвигу описывается следующим уравнением:

$$\tau = (\sigma - u) \times \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где τ – сопротивление сдвигу, u – поровое давление; σ – эффективные напряжения; φ – угол внутреннего трения; c – сцепление.

Изменение величины порового давления, может быть учтено за счёт изменения величины угла внутреннего трения, например, если $u = 1/2 \sigma$, $\operatorname{tg} \varphi$ будет равен половине расчётного коэффициента трения грунтов основного деформируемого горизонта (ОДГ), определённого по данным инженерно-геологических изысканий [75]. Использование такого подхода в практике расчётов устойчивости склонов, позволяет с одной стороны упростить расчёты, а с другой – получить достаточно объективную картину поведения расчётного склона при изменении гидрогеологических условий [75].

На рисунке 4.12 приведён график зависимости глобальной устойчивости (K_u) от величины угла внутреннего трения глин девонского возраста. При

использовании в расчётах показателя недренируемой прочности верхнедевонских глин (угол внутреннего трения равен 0), борт теряет устойчивость. По механизму нарушения глобальной устойчивости борт вскрышных грунтов может быть отнесён к смешанному типу – скольжения-выдавливания.



Рис. 4.12. Влияние на глобальную устойчивость борта карьера (K_u) углов внутреннего трения девонских глин, метод Бишопа

Влияние техногенной нагрузки от отвала грунтов. Как видно из графика (рис. 4.13), нагрузка от отвала незначительно влияет на глобальную устойчивость борта. Однако, учитывая тот факт, что глобальное нарушение устойчивости может развиваться по механизму выдавливания верхнедевонских глин, с учётом их длительной прочности, влияние данного фактора в среднесрочном прогнозе может стать более значимым.

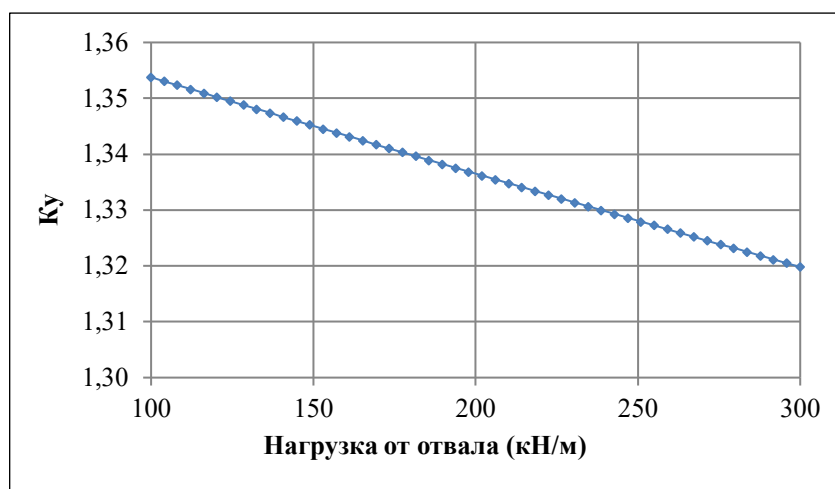


Рис. 4.13. Влияние на глобальную устойчивость борта карьера (K_u) техногенной нагрузки от отвала грунтов

4.4.2. Оценка устойчивости бортов карьера, сложенных скальными грунтами рудно-кристаллической толщи (ИГК-2)

Обоснование геомеханических моделей расчёта устойчивости бортов карьера. Для толщи рудно-кристаллических пород, сложенной, скальными породами, мощностью до 600 м, параметрами расчёта являлись: ρ – плотность; прочность пород: сцепление C , МПа и угол внутреннего трения φ° ; трещиноватость и ориентировка по отношению к бортам карьера; блочность массива; при расчётах методом конечных элементов – деформационные характеристики – модуль упругости E (МПа) и коэффициент Пуассона μ .

Разрывные нарушения, являющиеся продольными относительно складчатости, расчленяют рудно-кристаллическую толщу на блоки пластинчатой и клиновидной формы, шириной 200–460 м. Падение разрывных нарушений крутое до субвертикального ($70\text{--}90^\circ$). Разрывные нарушения представляют собой зоны дробления и рассланцевания с глиной трения, их мощность от 0,5 до 5–7 м.

В массиве докембрия прослеживаются следующие системы трещин [52]:

- система трещин напластования по слоистости (полосчатости) северо-восточного и юго-западного падения, азимут падения $310\text{--}320^\circ$, угол падения $60\text{--}85^\circ$, среднее расстояние между трещинами (L) – 0,7 м;
- система продольной трещиноватости относительно складчатости, субпараллельная простиранию пород, угол падения $10\text{--}30^\circ$, среднее расстояние между трещинами (L) – 0,85 м;
- система поперечной трещиноватости относительно складчатости, субортогональная простиранию трещин напластования, крутопадающая $60\text{--}85^\circ$, среднее расстояние между трещинами (L) – 1,0 м.

По степени структурной нарушенности массив скальных пород характеризуется как средне-, крупноблочный, в зоне коры выветривания – мелкоблочный. Крутопадающие разрывные нарушения не являются потенциальными поверхностями скольжения, а деформации уступов могут происходить по неблагоприятно ориентированным системам трещин [6].

Анизотропия прочностных свойств пород массива обусловлена наличием «зон ослабления»: зоны дробления и рассланцевания, брекчирования, дизъюнктивных нарушений с глиной трения [56]. Поэтому точечные испытания не моделируют поведение массива горных пород в целом, то есть результаты лабораторных испытаний образцов керна пород не характеризуют прочность и упругость горного массива. Влияние трещиноватости, слоистости и других структурных особенностей приводит к тому, что прочность и модуль упругости могут на порядок быть меньше соответствующих величин [103]. Для перехода от свойств образца к свойству пород в массиве используют коэффициенты структурного ослабления. При количественной оценке трещиноватости используют ряд параметров: модуль трещиноватости (M_t), модуль кусковатости (M_k), показатель нарушенности пород (RQD), коэффициент зон дробления ($K_{з.д}$) [3]. В зарубежной практике при расчётах устойчивости скальных склонов и уступов для уточнения расчётных прочностных параметров широко применяются критерии прочности Хоека-Брауна и Бартона-Бандиса [88, 93].

В данном исследовании для скальных грунтов была использована анизотропная модель прочности, включающая три направления с различными прочностными свойствами:

- прочность скальных грунтов массива в продольном направлении относительно складчатости, субпараллельно простиранию трещинам с углами падения 10–30°;
- прочность скальных грунтов в поперечном направлении относительно складчатости, субортогонально простиранию трещин напластования, система трещин крутопадающая 60–85°;
- прочность скальных грунтов в массиве (приняты для сильнотрещиноватых пород).

В горной геомеханике широкое применение нашли варианты расчётов по методам предельного равновесия, конечных элементов и объёмных скальных

блоков, позволяющие оценить устойчивость скального массива с учётом существующих плоскостей раздела (трещиноватости) [30, 91].

Выбор местоположения и направления расчётных профилей производился, исходя из принципа наибольшей опасности (вероятности обрушения борта карьера). «Чаша» карьера может быть условно разделена на зоны условной стабильности и потенциальной нестабильности бортов [76, 94].

Для потенциально нестабильных бортов карьера задача устойчивости может быть решена в плоской постановке при условии, что азимут падения трещин совпадает с азимутом падения борта карьера. В данном исследовании использовался именно описанный выше подход. Расчёты были выполнены в плоской постановке задачи методами предельного равновесия и конечных элементов.

Оценка устойчивости откосов методами предельного равновесия. Для учёта существующих плоскостей раздела (трещиноватости) при оценке устойчивости бортов карьера методами предельного равновесия может быть применен подход с учётом следующих дополнительных положений:

1. Расчёт производится по оптимизированной блоковой поверхности скольжения, которая моделирует направление имеющихся в массиве поверхностей раздела.
2. Задание прочностных характеристик скальных грунтов производится на основе модели анизотропной прочности [29].

Моделирование устойчивости борта карьера, сформированном в толще рудно-кристаллического комплекса пород выполнено по следующей схеме: в расчёте принят диапазон субгоризонтальных трещин от 10 до 30°, субвертикальных от 60 до 85°. Диаграмма прочностных свойств массива скальных грунтов с учётом их анизотропии, использованная при расчёте методами предельного равновесия, приведена на рисунке 4.14. Результаты расчёта устойчивости борта карьера, приведены на рисунке 4.15.

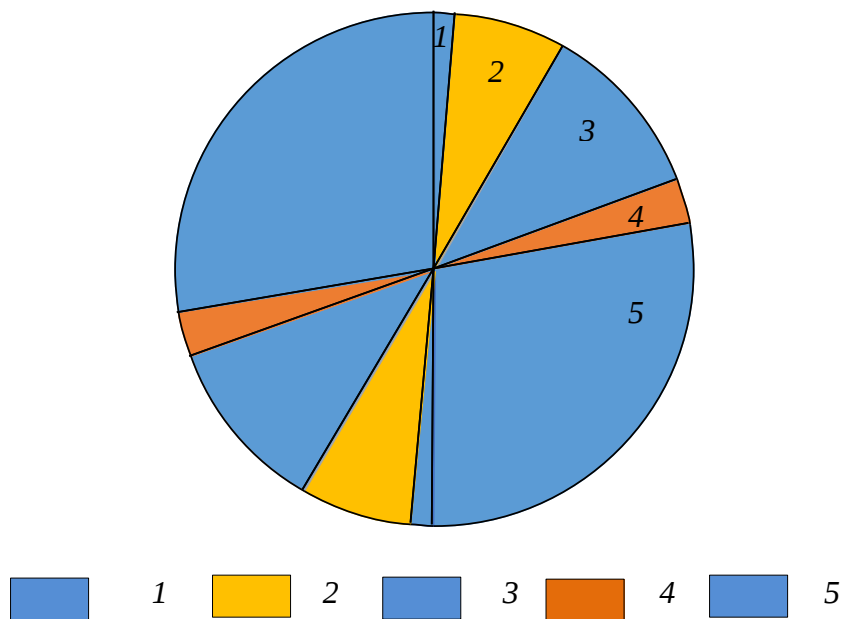


Рис. 4.14. Диаграмма анизотропии прочностных свойств массива скальных грунтов:
 1 – от 90 до 85°: $C=690$ кПа, $\varphi=32^\circ$; 2 – от 85 до 60°: $C=730$ кПа, $\varphi=28^\circ$; 3 – от 60 до 20°:
 $C=690$ кПа, $\varphi=32^\circ$; 4 – от 20 до 10°: $C=510$ кПа, $\varphi=29^\circ$; 5 – от 10 до -90° : $C=690$ кПа, $\varphi=32^\circ$

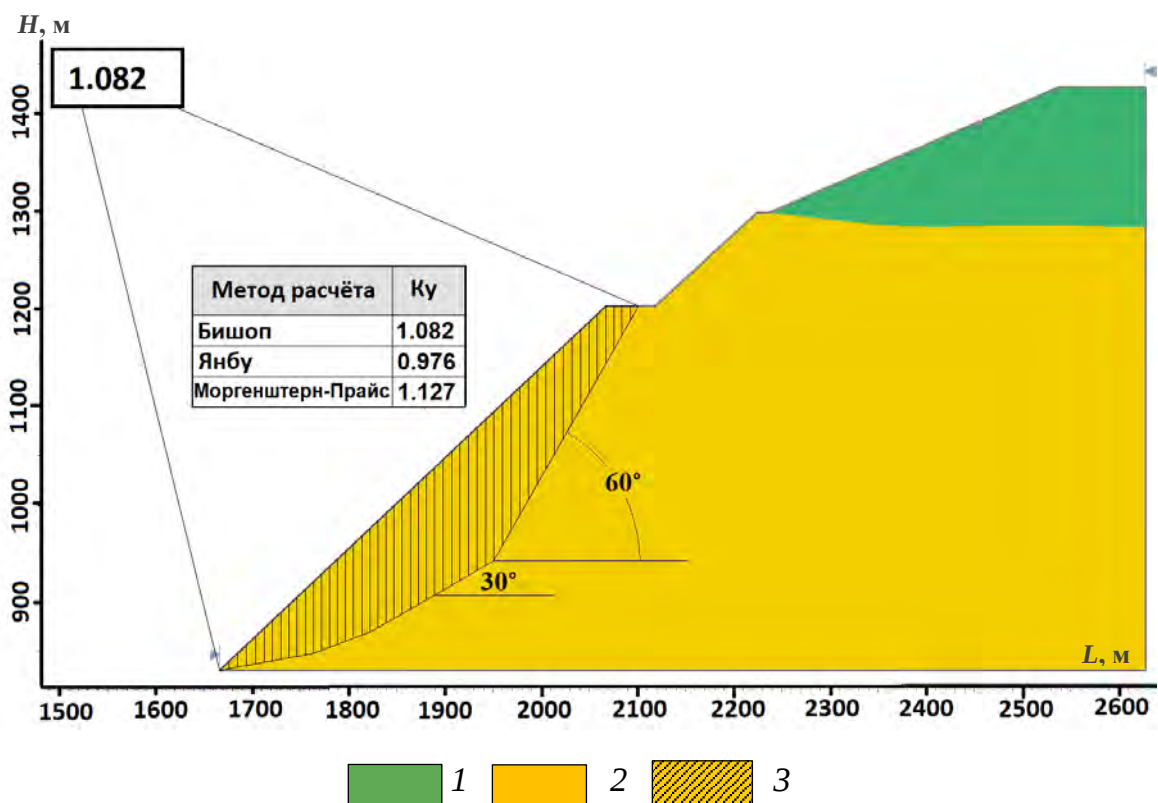


Рис. 4.15. Модель расчёта устойчивости борта карьера (вариант I) методом предельного равновесия: 1 – породы ИГК-1; 2 – породы ИГК-2; 3 – блок смещения пород

Результаты расчёта показывают, что коэффициент устойчивости (K_u) борта будет уменьшаться при увеличении угла падения субгоризонтальных трещин (в замеренном диапазоне падений от 10 до 30°) и с уменьшением – субвертикальных (в замеренном диапазоне падений от 85 до 60°). Наиболее неблагоприятное сочетание трещин: субгоризонтальные трещины падают в карьер под углом 30°, субвертикальные – под углом 60°. При этих значениях углов падения систем трещин борт карьера находится в состоянии близком к предельному равновесию (по методам расчёта Моргенштерн-Прайса и Бишопа [89, 98]), по методу Янбу [96] – неустойчив.

Оценка устойчивости откосов методом конечных элементов с учётом трещиноватости массива. Метод конечных элементов (МКЭ, FEM) наряду с методами конечных разностей является одним из основных численных методов решения задач по оценке устойчивости склонов и откосов в рамках механики сплошной среды [74, 92].

В методе конечных элементов структурные неоднородности в массиве горных пород, такие как, например, имитация структуры первичной или вторичной трещиноватости, могут быть смоделированы с использованием особого механизма совместных границ [90]. Совместные границы могут быть заданы для различных статистических или детерминистических моделей и моделируются как зоны, где происходит скачок смещений частей конечно-элементной сетки. Рассматриваемые зоны могут быть представлены как пружины, обладающие нормальной и сдвиговой жёсткостью. Такая формулировка совместных границ позволяет общим узлам конечно-элементной сетки перемещаться относительно друг друга, создавая нормальные и касательные деформации. Эта идея берёт свое начало в концепции, заложенной в методе граничных элементов [37].

С использованием механизма совмещенных границ методом конечных элементов было оценено влияние на устойчивость борта карьера таких факторов, как прочность пород и блочность скального массива.

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 [1, 63].

С целью оценки значимости данного фактора, методом конечных элементов были выполнены расчёты по следующим вариантам:

I вариант – массив сложен сильнотрещиноватыми породами со следующими прочностными свойствами: сцепление $C=690$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi=32^\circ$;

II вариант– массив сложен среднетрещиноватыми породами со следующими прочностными свойствами: сцепление $C=1130$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi=36^\circ$;

III вариант – массив сложен слаботрещиноватыми породами со следующими прочностными свойствами: сцепление $C=3140$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi=39^\circ$.

Расстояние между трещинами условно принято постоянным и равным 10 м. Результаты моделирования устойчивости борта карьера по описанным вариантам, приведены на рисунке 4.16.

На рисунке 4.17. приведён график зависимости коэффициента устойчивости (K_u) от прочностных свойств скальных грунтов. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что с увеличением прочности грунтов в массиве K_u закономерно возрастает по зависимости близкой к линейной. Однако, как показывают выполненные расчёты, влияние данного фактора на устойчивость борта карьера незначительна. Увеличение сцепления более чем в 4,5 раза привело к увеличению K_u на 0,05. Это доказывает, что устойчивость борта карьера, в данном случае, определяется в первую очередь прочностью по поверхностям ослабления.

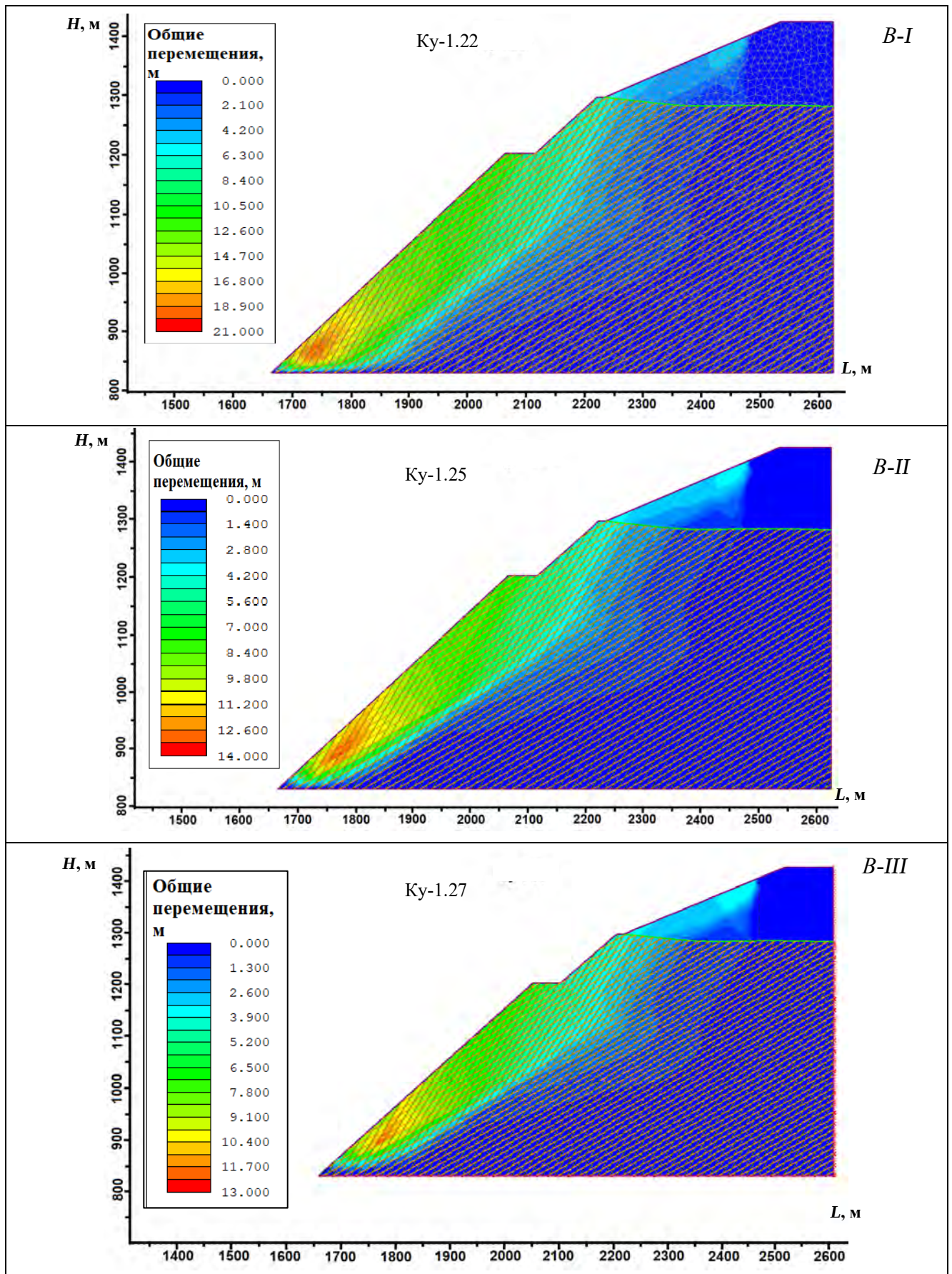


Рис. 4.16. Результаты моделирования устойчивости борта карьера методом конечных элементов с целью оценки влияния прочности скальных грунтов на коэффициент устойчивости (Ky):
B-I, B-II, B-III – варианты расчёта

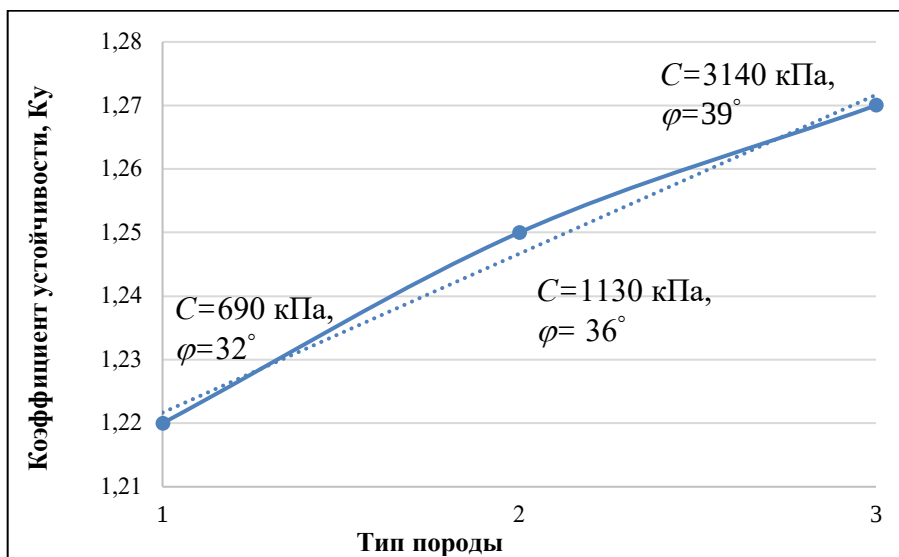


Рис. 4.17. Зависимость коэффициента устойчивости (K_u) борта карьера от прочности скального массива: 1 – сильнотрещиноватые породы; 2 – среднетрещиноватые породы; 3 – слаботрещиноватые породы

Влияние блочности на K_u борта карьера. Существенным инженерно-геологическим фактором, определяющим устойчивость бортов карьеров в скальных грунтах также принято считать блочность массива скальных грунтов.

С целью оценки значимости блочности массива на устойчивость бортов карьера, методом конечных элементов были выполнены расчёты по следующим вариантам:

I вариант – расстояние между трещинами 10 м (данный вариант расчета соответствует первому варианту, описанному выше, см. стр. 98);

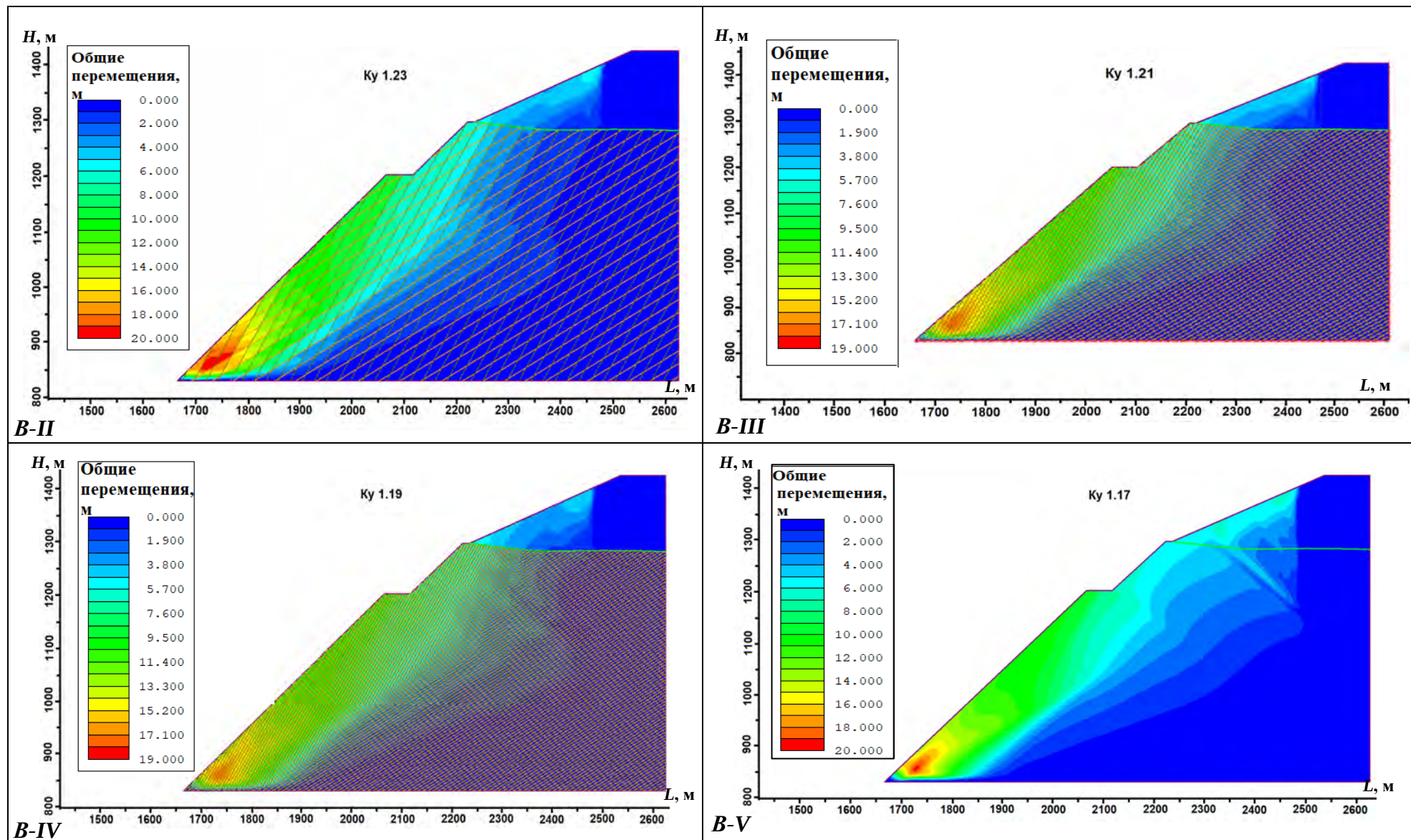
II вариант – расстояние между трещинами 20 м;

III вариант – расстояние между трещинами 7,5 м;

IV вариант – расстояние между трещинами 5 м;

V вариант – расстояние между трещинами 2,5 м.

Результаты моделирования устойчивости борта карьера по вариантам II – V, приведены на рисунке 4.18.



На рисунке 4.19. приведён график зависимости коэффициента устойчивости (K_y) от блочности массива скальных грунтов.

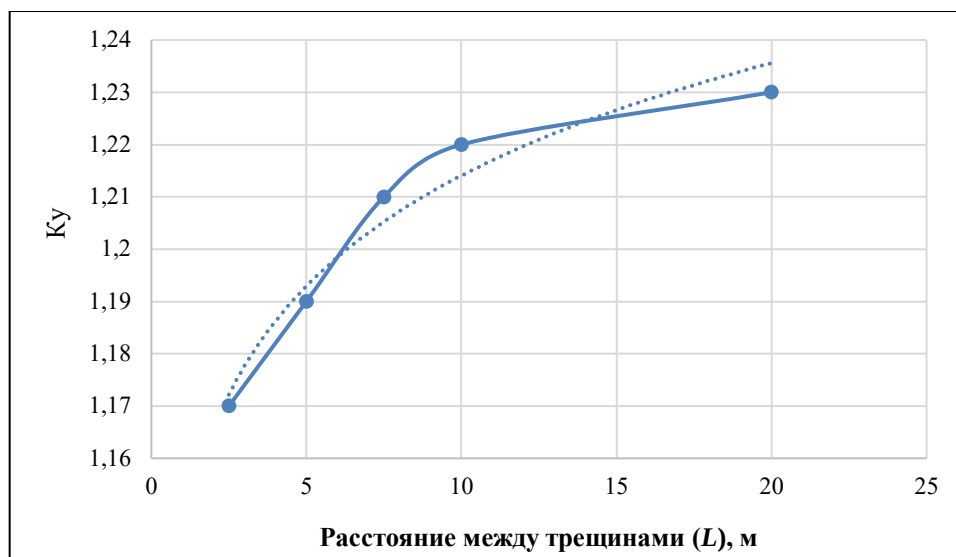


Рис. 4.19. Зависимость коэффициента устойчивости (K_y) борта карьера от блочности скального массива

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что с увеличением расстояния между трещинами в массиве K_y закономерно растёт по зависимости близкой к логарифмической. Однако, как показывают выполненные расчёты, влияние данного фактора на устойчивость борта карьера также незначительно. Уменьшение расстояния между трещинами в 8 раз приводит к увеличению K_y на 0,06. Это также доказывает, что устойчивость борта карьера, в данном случае, определяется в первую очередь прочностью по поверхностям ослабления.

Выводы

1. Развитие процессов, инициируемое технологическими работами, носит прогрессирующий характер в пространственно-временном отношении: буровзрывные работы, перманентное углубление карьера и работа дренажных установок приводят к изменению напряжённого состояния, разуплотнению пород, увеличению размеров депрессионной воронки, активизации инженерно-геологических процессов. Поэтому актуальность проблемы обеспечения устойчивости массива пород в динамике развития горных работ очевидна.

2. Инженерно-геологическая типизация бортов карьера выполнена с учётом литолого-петрографического состава, условий залегания пород, их трещиноватости, блочности и физико-механических свойств, гидрогеологических условий. Выделены три типа участков с простыми, сложными и очень сложными инженерно-геологическими условиями разработки.
3. Оценка устойчивости бортов карьера на конечных контурах выполнена с использованием современных технологий (компьютерных программ) методами предельного равновесия: Morgenstern-Price, Bishop, Janbu и методом конечных элементов. Расчёты устойчивости выполнены в программном комплексе Rocscience: методами предельного равновесия – в Rocscience Slide 7, методом конечных элементов – в Rocscience RS 2.
4. В соответствии с существующими рекомендациями [1] значения коэффициентов запасов устойчивости уступов в пределах осадочной толщи и скального массива определяются (для стадии освоения месторождения – эксплуатация) (по данным изучения массива пород в обнажениях и анализу деформаций): для рабочих уступов $K_u = 1,2$; для временно-нерабочих уступов (время стояния до 5 лет) $K_u = 1,5$; для нерабочих уступов (время стояния более 5 лет) $K_u = 2,0$; для нерабочих бортов (время стояния более 10 лет) $K_u = 1,3$.
5. 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. Принятые в настоящее время углы заложения откосов в осадочной толще (ИГК-1), являются недостаточными для обеспечения длительной устойчивости борта карьера при неблагоприятном сочетании факторов, определяющими прочность, слагающих его грунтов. Устойчивость борта карьера, в пределах рудно-кристаллической толщи (ИГК-2), определяется в первую очередь прочностью по поверхностям ослабления. В настоящее время борт карьера с неблагоприятной ориентацией систем трещин

(субгоризонтальные трещины падают в карьер под углом 30° , субвертикальные – под углом 60°), находится в состоянии близком к предельному равновесию, что, в соответствии с рисунком 4.4., при дальнейшей разработке карьера на нынешних уровнях эффективности, приведёт к возрастанию рисков его эксплуатации.

6. Основным фактором, влияющим на устойчивость бортов карьера, является нестационарный гидрогеологический режим и связанные с ним суффозионные процессы в альб-сеноманских песках и колебания порового давления в девонских глинах, а также анизотропия прочности пород скального массива.
7. Дальнейшая разработка карьера «Стойленский» (проектная мощность -450 м) требует контроля и прогноза состояния приоткосных массивов.

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

5.1. Показатели изменения геологической среды

Функционирование природно-технических систем (ПТС) «Железорудные месторождения» определяется набором сложных процессов природного, техногенного и природно-техногенного характера. Пространственное распространение, режим и время проявления процессов различны в ходе функционирования ПТС [10, 44].

Оптимальное функционирование достигается в результате анализа информации, характеризующей динамику ПТС. Это предопределяет отношение к *пространственной системе пунктов получения информации, набору наблюдаемых параметров и режима их наблюдений*. Достижение оптимального функционирования системы требует учёта свойств информации, таких как замкнутость сферы взаимодействия, оптимум – минимально необходимый и достаточный объём для решения инженерной задачи, полнота по списку свойств, точность и доверительная вероятность, получаемой в рамках мониторинга.

Рассматриваемая природно-техническая система «Железорудные месторождения КМА» является сложной системой *локального уровня*. «ПТС – упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность взаимодействующих компонентов, включающая орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно изменённые тела, а также естественные и искусственные поля» [10].

Локальная природно-техническая система (ЛПТС) «Месторождение» включает *элементарные* ПТС: карьер, хвостохранилище, гидроотвал, отвал вскрышной породы, дренажные сооружения. Каждая из них характеризуется своими особенностями функционирования: набором процессов, их режимом и численными характеристиками. Развитие процессов, инициируемое технологическими работами, носит прогрессирующий характер в

пространственно-временном отношении [85]. Так перманентное углубление карьера и работа дренажных установок приводят к изменению напряженного состояния, разуплотнению пород, увеличению размеров депрессионной воронки и др.

Сказанное свидетельствует о необходимости чёткого представления о сферах взаимодействия элементарных ПТС и протекающих в них процессах.

Длительная эксплуатация месторождений приводит к изменению границ, режима и набора процессов (таблица 5.1) Это требует постоянной оптимизации (корректировки) системы размещения пунктов получения информации, режима и параметров мониторинга.

Сокращение негативных последствий возможно только при чётком понимании процессов развивающихся в сфере взаимодействия природно-технических систем (ПТС) «Железородные месторождения». Оптимальное функционирование ПТС обеспечивается методами управления, опирающимися на информацию об этих процессах в системе.

Сфера взаимодействия – область литосферы, в которой под влиянием сооружений (карьера, хвостохранилища, отвалов, водозаборов и др.) изменяется течение природного геологического процесса и развивается процесс искусственного происхождения, инженерно-геологический [10,44].

Таблица 5.1. – Изменение геологической среды под влиянием горнодобывающей промышленности [43]

Компоненты геологической среды	Показатели изменения геологической среды
Рельеф поверхности земли	– Площади, занятые карьерами, шахтами и другими горными выработками; – Глубина карьеров; – Площади, занятые отвалами; – Высота отвалов; – Площади, занятые шламохранилищами и другими накопителями; – Площади, занятые другими сооружениями горнодобывающего предприятия; – Относительные превышения поверхности земли нового (техногенного) рельефа.

Геологическое строение	– Площади распространения техногенных отложений; – Мощность техногенных отложений; – Площади территорий, нарушенных техногенной «тектоникой» в зоне ближнего действия горных выработок и на подработанных участках.
Горные породы	– Площади повышения трещиноватости горных пород под влиянием изменения их напряжённого состояния, горного давления, взрывных работ; – Площади измененной степени выветрелости горных пород в зоне влияния горных выработок; – Площади изменения напряжённого состояния горных пород (необратимых деформаций, опорного давления и др.) в зоне влияния горных выработок; – Площади измененных по прочности, крепости и устойчивости горных пород; – Площади изменённой водопроницаемости горных пород в зоне влияния горных выработок; – Площадь изменённых физического состояния и свойств горных пород относительно площади земельного отвода.
Подземные воды	– Суммарные притоки подземных вод в горные выработки; – Объём откачиваемых подземных вод из карьеров, шахт и дренажных систем; – Понижение уровней и напоров подземных вод; – Площадь депрессионной поверхности подземных вод; – Радиус депрессионной поверхности; – Площади изменённых расходов и направлений подземных потоков, областей их питания и разгрузки.
Подземные воды	– Площади изменённых по минерализации, химическому составу и качеству подземных вод; – Площадь изменённых гидрогеологических условий относительно площади земельного отвода.
Геологические процессы и явления	– Число участков проявления естественных геологических процессов и вызванных строительными и горными работами; – Площади, подвергшиеся влиянию геологических процессов в пределах земельного отвода; – Площадь проявления геологических процессов относительно площади земельного отвода.
Другие явления	– Изменение расходов поверхностных водотоков; – Площадь загрязнения поверхностных вод шахтными и рудничными водами и отходами производства; – Число сооружений, испытывающих деформации и разрушения в зоне влияния горных выработок; – Число сооружений, нормальная эксплуатация которых, нарушена влиянием горнодобывающих предприятий; – Площади сельскохозяйственных угодий, отчуждаемые для размещения горных предприятий или попадающие в зону их негативного влияния.

Изменения состояния природно-технической системы «Железорудное месторождение» в ходе техногенных воздействий иллюстрирует функциональная блок-схема (рис. 5.1).

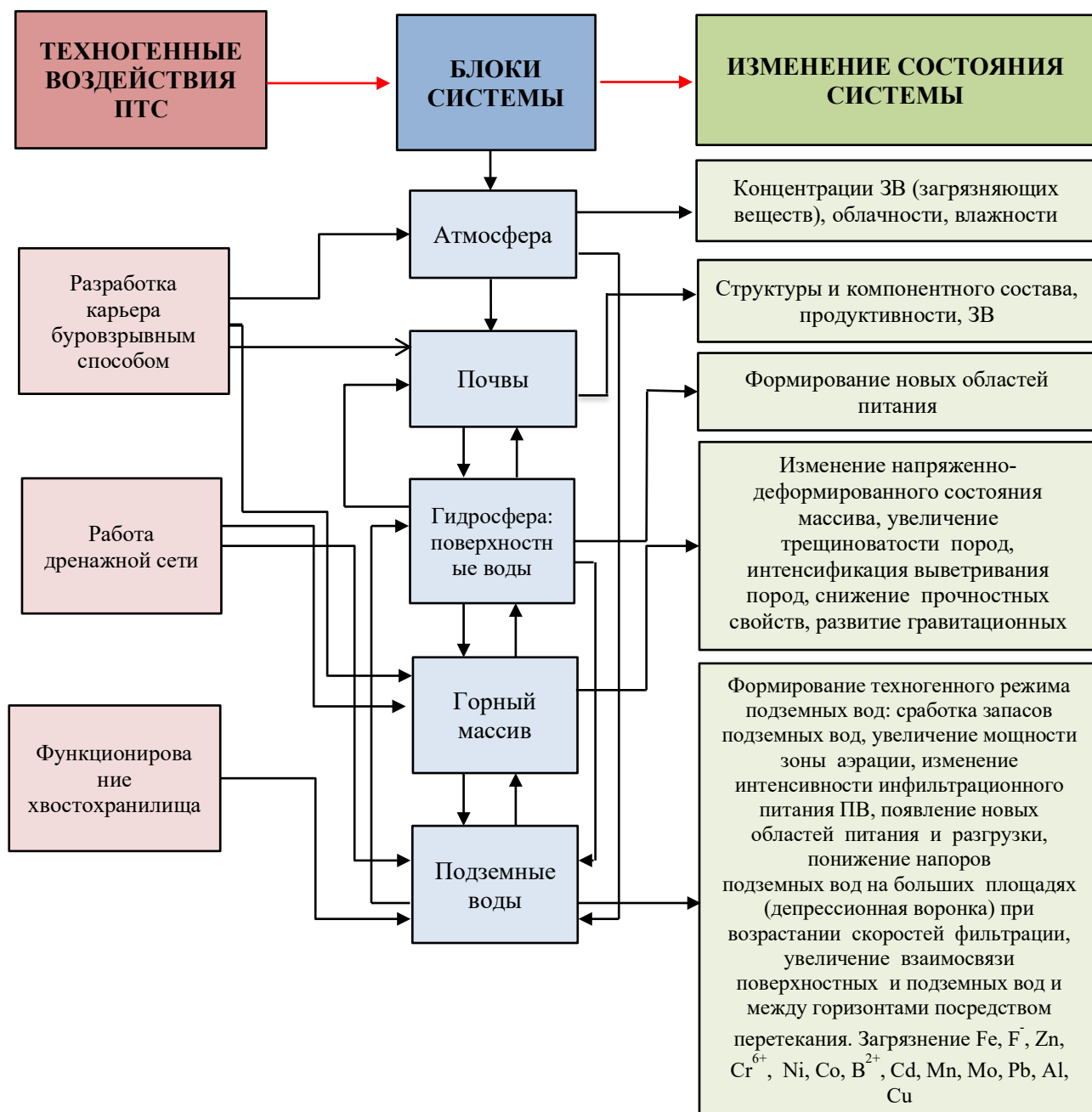


Рис. 5.1. Функциональная блок-схема природно-технической системы активно-разрабатываемого железорудного месторождения

Элементарная ПТС «Хвостохранилище» КМА

Объект элементарной ПТС «Хвостохранилище» оказывает огромное влияние на окружающую среду, в том числе на альб-сеноманский, турон-коньякский и четвертичный водоносные горизонты (см. рис.5.3).

ПТС «Хвостохранилище Лебединского ГОКа», действует с 1972 г., «Хвостохранилище Стойленского ГОКа» – с 1984 г. Хвостохранилища намывного типа, представляют собой естественные ёмкости, образованные плотиной в русле р. Чуфички; длина ограждающих дамб, имеющих сложную структуру, составляет более 6 км. На Лебединском хвостохранилище складировано 780 млн. м³ хвостов; на Стойленском – 386 млн. м³ [25, 108].

В пределах элементарной ПТС «Хвостохранилище» по процессам, развивающимся в пределах сферы взаимодействия, выделяются зоны [25]:

I – аэродинамического воздействия;

II – дифференциации пульпы (осаждения илов);

III – гидродинамического воздействия (фильтрации техногенных вод, купол растекания);

IV – гидрохимического воздействия (миграции химических компонентов);

V – геомеханического воздействия (уплотнения, суффозии и гравитационных процессов).

Набор процессов, развивающихся в каждой зоне, определяет параметры наблюдений и принятие управляющих решений.

I – зона аэродинамического воздействия. В воздухе над Лебединским и Стойленским карьерами висит овальное пылевое облако радиусом 40 км; основная масса осаждается в радиусе 3–4 км от места взрыва, что за год составляет до 1000 кг/га [105]. При взрывных работах ареол впадения пыли составляет около 5 км. Пылеватые частицы содержат оксиды кремния, супермагнитные кристаллы железа, нано частицы благородных металлов, углеродистые – фуллерены (рис. 5.2) [106].

Наблюдаемые параметры: содержание и состава пылеватых частиц в пробах воздуха.

Управляющие решения: закрепление пляжей и откосов дамб вяжущим веществом и посевом трав.

II – зона дифференциации пульпы (расслоения пульпы и осаждения илов). Вещественный состав лежалых хвостов обогащения ГОКов КМА (химический,

гранулометрический, минеральный) различен за счёт расслоения хвостовой пульпы и концентрации тяжёлых минералов железа вблизи ее выпусков. Минеральный состав субстрата хвостохранилища представлен кварцем 49%; гематитом 23%, магнетитом 5%, слюдой и амфиболами. В глинистой фракции присутствует тонкодисперсный кварц и слюды. Субстрат хвостохранилища характеризуется слабощелочной реакцией среды (pH 7,2–7,6), невысокой гидролитической кислотностью, высоким содержанием калия – 32 мг/100г, железа – до 37%. Содержание железа в донном иле до 9850 мг/кг [105].

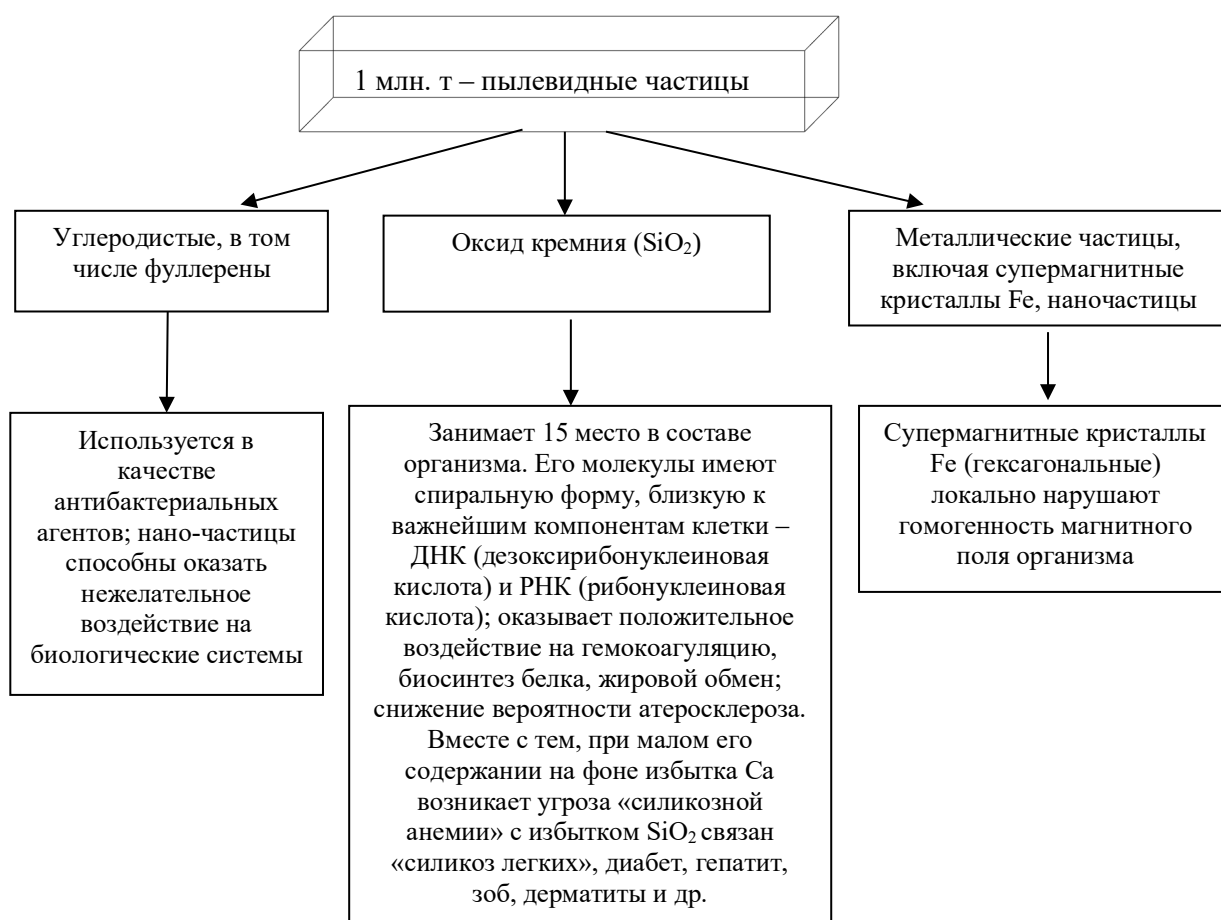


Рис. 5.2. Основные параметры влияния пылеватых частиц лежалых хвостов на биосистемы [106]

Наблюдаемые параметры состояния отстойного пруда и водосборных сооружений водохранилища: уровень воды, промер глубин, с целью определения объёмов воды и мощности ила.

Управляющие решения: ограничение минимальных отметок гребня дамбы над уровнем воды, высоты слоя заиливания, пропускной способностью водоотводных каналов.

III – зона гидродинамического воздействия. Строительство хвостохранилищ вызвало существенное нарушение гидродинамического режима подземных вод. Интенсивные утечки из хвостохранилищ привели к подъёму уровня подземных вод на прилегающей территории более чем на 25 м по сравнению с естественным режимом [82] и к образованию обширных куполов растекания техногенных вод. При подаче хвостов с постоянной интенсивностью в формировании купола растекания чётко прослеживаются три фазы: 1) образования и роста купола, охватывающая время с момента начала эксплуатации хвостохранилищ до момента достижения максимального подъёма купола; 2) стабилизационного состояния купола, с момента максимального подъёма до начала его растекания; 3) растекание купола. По мере роста мощности хвостов возрастает их экранизирующее влияние. В результате происходит непосредственно растекание купола подземных вод под хвостохранилищами, уменьшение уклонов и скорости потока подземных вод [109].

Параметры наблюдения: расходы и химический состав технологических вод, места выхода фильтрационных вод на откосах дамб.

Управляющие решения: укладка суглинистых прослоев, снижающих фильтрационные потери из хвостохранилищ.

IV – зона гидрохимического воздействия: миграции химических компонентов. Основными загрязняющими компонентами в водах хвостохранилищ являются соединения железа, азота и нефтепродуктов [82,108].

Анализ закономерности изменчивости загрязнения ландшафта в зоне функционирования хвостохранилища свидетельствует о ежегодном возрастании валового содержания железа на всем интервале удаленности (1–10 км) от источника загрязнения. Содержание тяжёлых металлов в талой воде отмечено в зоне до 4 км, их превышение ПДК составляет: для меди – в 50, кадмия – 40, хром – 11, цинка – в 8 раз [105].

Определение в почвах валового содержания компонентов (железо, медь, кадмий, марганец, кобальт, хром, свинец и цинк) в 12 пунктах расположенных на расстоянии: 50; 500; далее через 1000 м до 10000 м, на глубину до 1,7 м, выявило повышенное содержание железа, марганца, никеля, меди и олова [105]. Главную роль в накоплении металлов в почве (5–10 см) играют органическое вещество, глинистые минералы, гидроксиды железа и марганца.

Грунтовые воды четвертичного водоносного горизонта практически повсеместно характеризуются повышенной жесткостью 12, 8 мг-экв/л (ПДК 7). На некоторых участках отмечено превышение в воде сухого остатка до 2283 мг/л (ПДК 1000), ионов хлоридов до 1073 мг/л (ПДК 350), кремния до 22 мг/л (ПДК 10), нефтепродуктов до 0,32 мг/л (ПДК 0,1); из микрокомпонентов повышенные содержания марганца до 0,13 мг/л (ПДК 0,1) и алюминия до 0,92 мг/л (ПДК 0,5). В подземных водах турон-коньякского водоносного горизонта увеличено количество ионов сульфатов до 70 мг/л, железа общего до 3,46 мг/л (ПДК 0,3). В альб-сеноманском водоносном горизонте локально вода имеет повышенную жесткость до 17,9 мг/л (ПДК 7), превышение сухого остатка до 1909 мг/л (ПДК 1000), содержания натрия до 509,7 мг/л (ПДК 200), кремния до 19,8 мг/л (ПДК 10), марганца 0,32 мг/л (ПДК 0,1) и окисляемости перманганатной до 311,5 мгО₂/л (ПДК 5) [12].

Наблюдаемые параметры: химический состав фильтрационных и осветленных вод хвостохранилища; уровень и химический состав подземных и поверхностных вод, объёмы и химический состав оборотных вод.

Управляющие решения: создание противофильтрационного экрана, играющего роль барьера для загрязняющих веществ.

V – зона геомеханического воздействия: уплотнения, суффозии и гравитационных процессов.

Устойчивость дамб зависит от физико-механических свойств грунтов тела и основания дамбы, от её геометрических параметров: высоты, заложения низового откоса, ширины гребня. Физико-механические свойства хвостов: удельный вес 2,85

т/м³, средневзвешенный диаметр 0,14 мм, плотность сухих хвостов на призме 1,4 т/м³, Геометрические параметры заложения низового откоса (генеральный уклон) – 1:4, на спрямляющей дамбе – 1:5, длина надводного пляжа – 150 м [101]. Процессы, протекающие в теле дамб: суффозионный вынос, поверхностная эрозия (появлением промоин), выпор грунта на откосах и у подошвы дамбы фильтрующей водой, деформации откосов, берм, гребня. Суффозионный вынос, определяющий прочность дамбы, зависит от поперечного сечения дабы, градиента напора и уровня воды.

Наблюдаемые параметры за состоянием ограждающих дамб: деформация откосов, берм, гребня (по смещению реперов, установленных в теле дамбы), уровни в пьезометрах (с целью определения положения кривой депрессии), генеральный угол откоса дамбы, выходы фильтрационных вод и суффозионного выноса. Техническими средствами контроля являются водомерные посты, пьезометры, гидрогеологические скважины, репера.

Таким образом, по набору негативных процессов сфера взаимодействия элементарной ПТС «Хвостохранилище» может быть разделена на зоны, что позволяет обосновать наиболее информативные параметры, подлежащие наблюдению. Система мониторинга позволяет устанавливать основные тенденции распространения негативных последствий и выработать эффективные управляющие решения по ограничению их воздействий на окружающую среду.

Учитывая изменение характера и интенсивности процессов при длительной разработке месторождений, систему мониторинга следует корректировать в пространственно-временном отношении.

5.2. Оптимизация системы наблюдения за уровнем подземных вод по результатам анализа временных рядов

Оценка влияния функционирования дренажной сети на геологическую среду ведётся на основании информации, получаемой в рамках мониторинга. Дренажная сеть СГОКа на начало 2015 г. включала 63 наблюдательные скважины: 20 скважин

оборудованы на четвертичный водоносный горизонт, 19 – на турон-коньякский, 21 – на альб-сеноманский и 3 – на рудно-кристаллический водоносные горизонты. Из ранее сооруженных (1988-1989 гг.) в настоящее время действуют 10 наблюдательных скважин (2^г, 3^г, 5^г, 9^г, 10^г, 12^г, 15^г, 16^г, 19^г, 20^г) (см. рис. 3.3). Периодичность наблюдений за уровнем подземных вод, составляла соответственно 1 раз/месяц. Продолжительность наблюдательных рядов, анализируемых автором, составляет соответственно для Стойленского месторождения 12 лет (2004–2015 гг.), для Лебединского – 7 лет (2007–2013 гг.)

Существующий массив данных о гидрогеологических условиях Стойленского месторождения позволяет оптимизировать используемые в настоящее время методы оценки необходимой информации.

Обоснован алгоритм оптимизации информации, включающий:

- разделение гидрогеологических полей на области, отличающиеся гидрогеологическим режимом;
- установление тренда в изменении измеряемых параметров;
- оптимизацию числа наблюдений и их размещение.

В пределах ПТС месторождений «Лебединское»-«Стойленское» возможно выделить две области, различающиеся гидродинамическим режимом: область депрессионной воронки и область купола растекания (рис. 5.3). Область влияния купола растекания установлен на основе анализа карт гидроизогипс и данных режимных наблюдений в рамках мониторинга.

Графики изменения уровней подземных вод во времени содержат флуктуации, относящиеся к периодам снеготаяния и обильных осадков и снижение уровней в остальное время года (рис. 5.4).

Для обоснования перевода системы мониторинга за подземными водами с ежемесячных замеров на ежеквартальные, были использованы две выборки значений. В качестве инструмента исследования был использован анализ временных рядов.

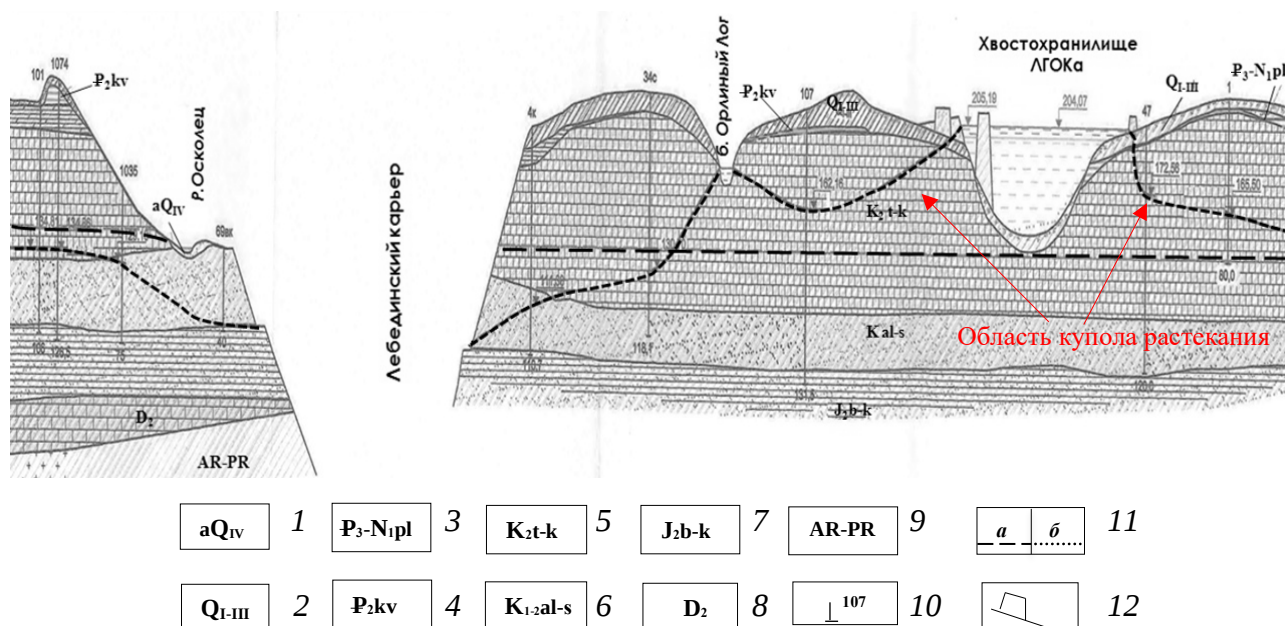


Рис.5.3. Схематический гидрогеологический разрез [27]: 1 – современные аллювиальные отложения: пески, супеси, суглинки; 2 – нижне-верхне-четвертичные отложения, делювий: пески, супеси; 3 – неоген-палеогеновые отложения полтавской свиты: пески; 4 – палеогеновые отложения киевской свиты: глины; 5 – турон-коньякский 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

В теории временных рядов разработаны различные методы исследования: корреляционный и спектральный анализ, методы сглаживания и фильтрации, модели авторегрессии и скользящего среднего [4,9,34]. Для решения поставленной задачи предлагается алгоритм, включающий корреляционный анализ и метод скользящего среднего.

Временные ряды результатов наблюдений за изменением уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта представлены на рисунке 5.5. В ходе анализа были использованы две выборки данных: первая выборка включала ежемесячные данные по замерам уровня подземных вод, вторая – ежеквартальные.

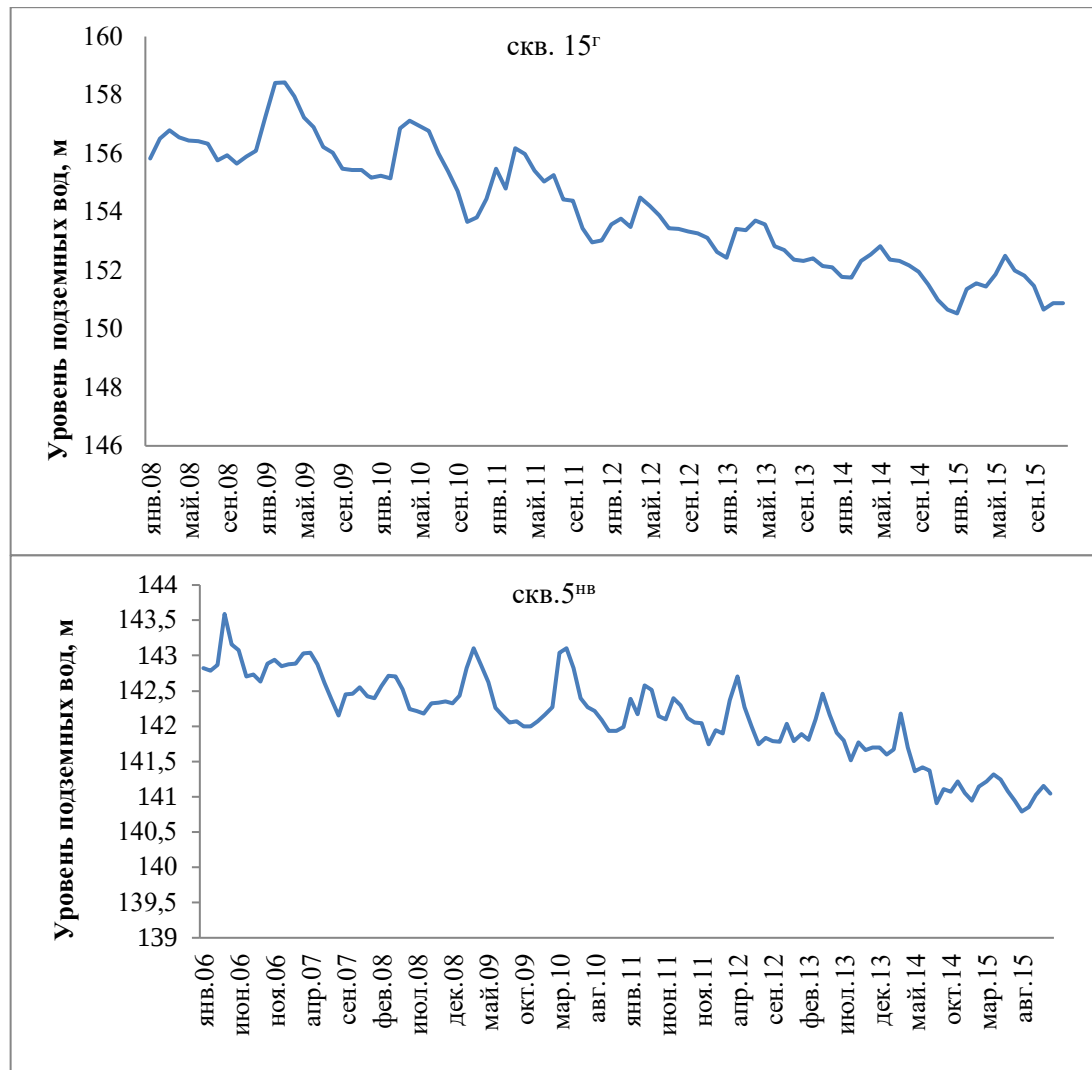


Рис. 5.4. Графики изменения уровней подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта (2006–2015 гг.): цифры 5^{нв} – номера скважин

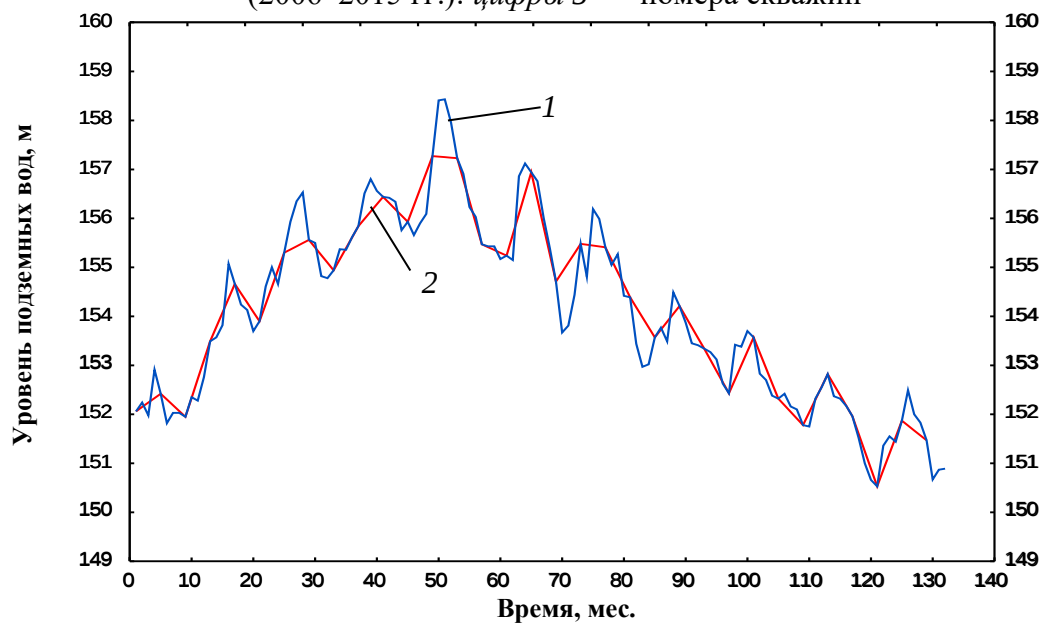


Рис. 5.5. Временные ряды уровней подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта (2004 – 2015 гг.): 1–график ежемесячных замеров; 2– график ежеквартальных замеров

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 (рис. 5.6).

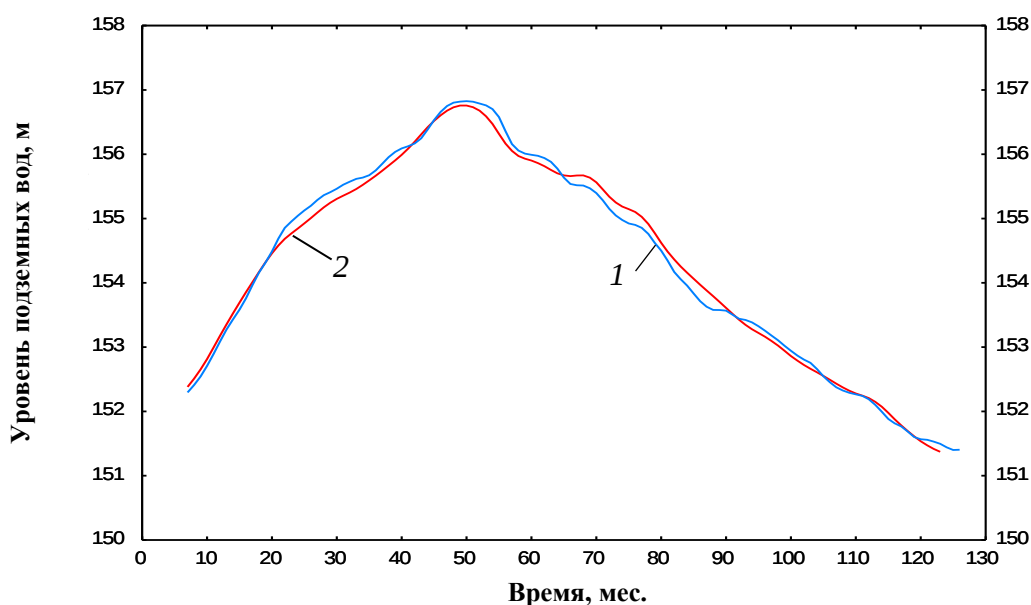


Рис. 5.6. Графики скользящего среднего: 1 – ежемесячные замеры уровня подземных вод; 2 – ежеквартальные замеры уровня подземных вод

Для прямолинейного участка выполнен прогноз изменения уровня подземных вод во времени (рис. 5.7). В процессе аппроксимации временных рядов установлено, что уравнение линейного тренда по ежемесячным и ежеквартальным замерам совпадает, при достоверности аппроксимации 0,99.

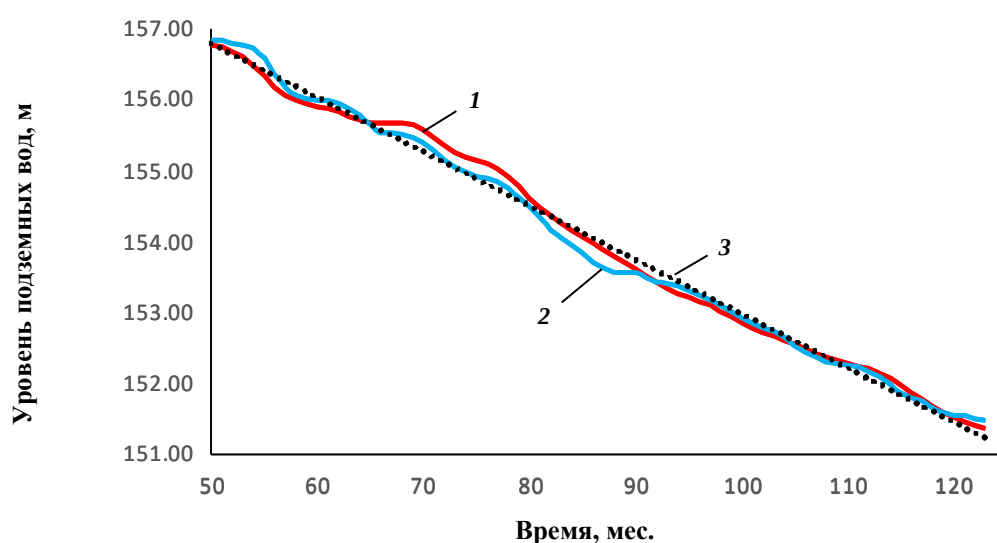


Рис. 5.7. Тренд изменения уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта во времени по данным наблюдений 2004 – 2015 гг.: 1 – кривые аппроксимации ежемесячных замеров; 2 – кривые аппроксимации ежеквартальных замеров; 3 – линия тренда

Для оценки тесноты связи между фактическими временными рядами ежемесячных и ежеквартальных замеров, был выполнен корреляционный анализ (рис.5.8), доказавший наличие тесной связи между анализируемыми рядами наблюдений (коэффициент корреляции 0,97).

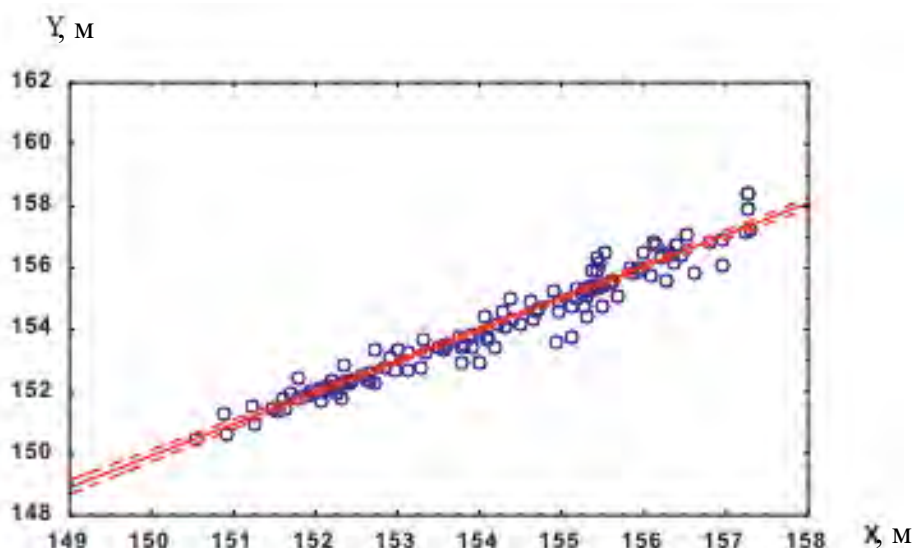


Рис. 5.8. Корреляционный график между временными рядами ежемесячных и аппроксимированных ежеквартальных замеров: 1 – точки экспериментальной основы корреляционной зависимости ежемесячных и аппроксимированных ежеквартальных замеров уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта; 2 – линия аппроксимации

Таким образом, можно сделать вывод о том, что система наблюдений за уровнями подземных вод может быть существенно оптимизирована за счёт перехода от ежемесячных наблюдений к ежеквартальным. При этом качество получаемых результатов сохраняется.

5.3. Мониторинг за состоянием бортов карьера

Обеспечение безопасности ведения работ требует мониторинга за состоянием приоткосных массивов.

Система мониторинга должна включать следующие виды работ:

1. Инженерно-геологическое обследование состояния откосов и мест проявления инженерно-геологических процессов.

2. Инженерно-геологическая типизации бортов карьера с учётом литолого-петрографического состава, условий залегания пород, их трещиноватости, блочности и свойств, гидрогеологических условий.
3. Обоснование местоположения наблюдательных профилей и количество реперов с учётом выделенных инженерно-геологических элементов.
4. Маркшейдерские инструментальные измерения по реперам, позволяющие определить показатели, характеризующие процессы деформирования прибортовых (приоткосных) массивов.
5. Опробование горных пород для лабораторных исследований с целью оценки снижения прочности горных пород под влиянием процесса выветривания, повсеместно развивающегося при вскрытии массива.
6. Сравнительный анализ расчётных и натурных данных, характеризующих устойчивость бортов карьера и обоснование оптимальных их углов заложения.
7. Прогнозные оценки устойчивости бортов карьера при дальнейшей разработке месторождений.

Таким образом, система инженерно-геологического обеспечения на территориях карьеров включает комплекс работ и исследований, направленных на получение информации об инженерно-геологических условиях в течение всего срока существования карьера, оценку и прогноз устойчивости откосов на различных этапах их сооружения, с целью достижения технико-экономической и экологической безопасности горных работ.

5.4. Пути управления ПТС «Железорудные месторождения» на базе моделей устойчивости бортов карьеров

Актуальность проблемы обеспечения устойчивости массива пород в динамике развития горных работ очевидна. Эффективное управление природно-технической системой «Железорудное месторождение» должно выполняться с учётом факторов, определяющих устойчивость грунтов в бортах карьеров. К 2030 г. возможно слияние депрессионных воронок Лебединского и Стойленского

месторождений (см. рис. 3.9). Изменение динамики техногенного водоносного комплекса оказывает существенное влияние на состояние песчано-глинистых пород вскрыши.

Основными факторами, определяющим как локальную, так и глобальную устойчивость бортов карьера является динамика техногенного водоносного горизонта, в частности формирование депрессионной воронки, прочностные свойства пород вскрыши альб-сеноманских песков и девонских глин; для рудно-кристаллических пород решающее значение оказывает блочность и трещиноватость массива.

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 [41,78].

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 надбюрского 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.

На рисунках 5.9–5.13 приведены графики зависимости коэффициента устойчивости (K_u) от выше перечисленных факторов, которые свидетельствуют о снижении устойчивости бортов карьера:

- при повышении уровня подземных вод (см. рис. 5.9),
- при снижении угла внутреннего трения при водонасыщении альб-сеноманских песков (см. рис. 5.10),

- при снижении прочностных свойств глин девонского возраста при повышении их влажности (см. рис. 5.11),
- при увеличении трещиноватости и блочности пород скального массива (см. рис. 5.12, 5.13).

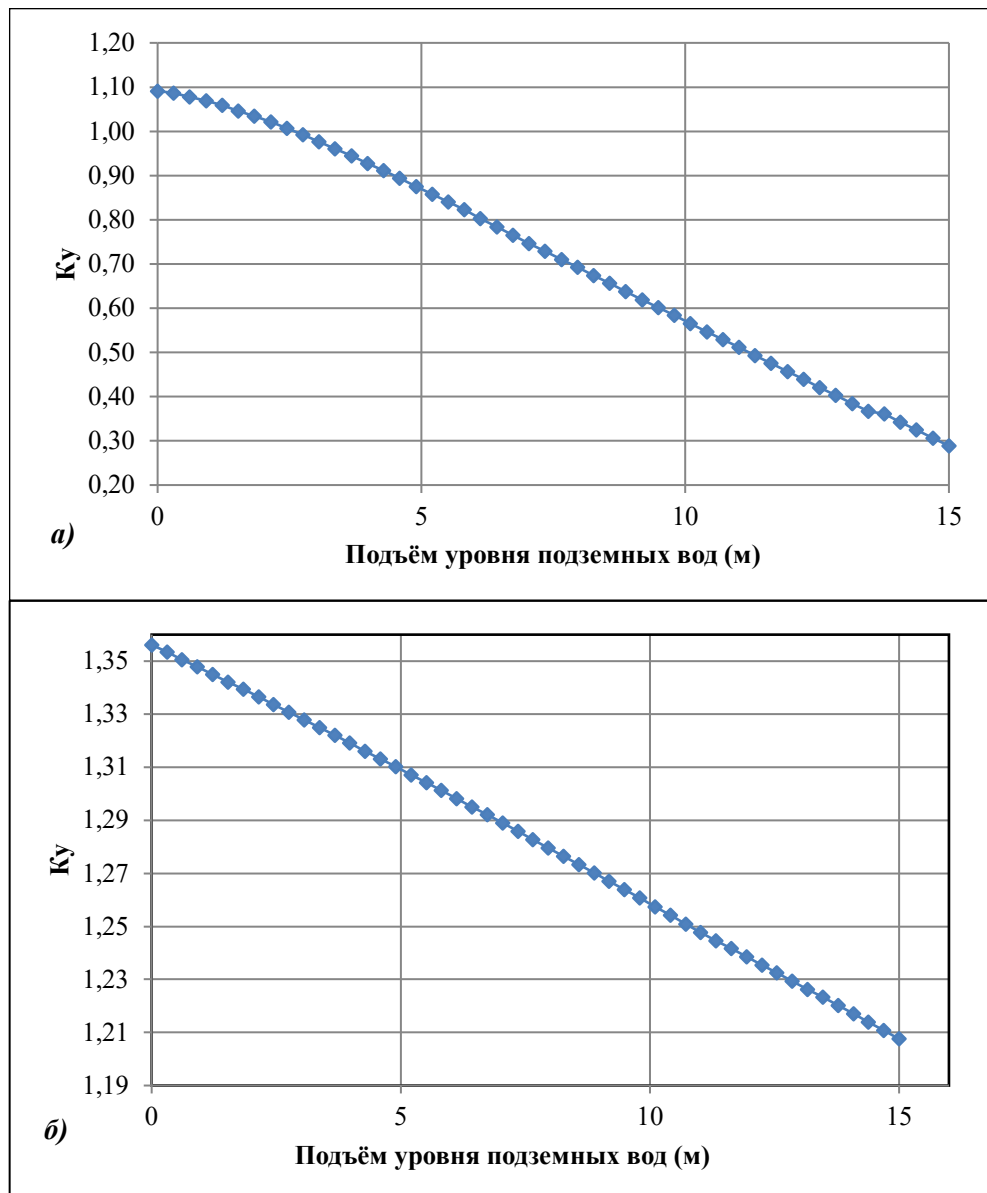


Рис. 5.9. Влияние подъёма уровня надъяюрского водоносного горизонта на локальную (а) и глобальную (б) устойчивость борта карьера (K_u), метод Morgenstern-Price

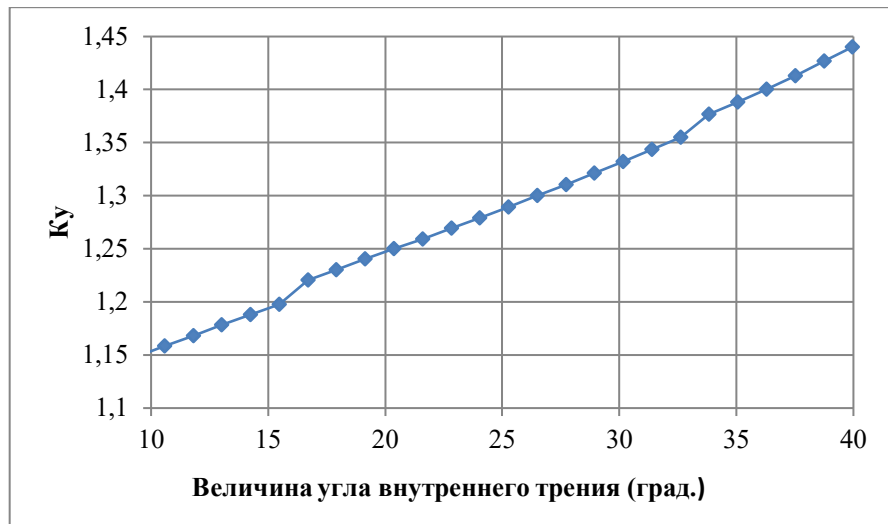


Рис. 5.10. Влияние на глобальную устойчивость борта карьера (K_u) углов внутреннего трения альб-сеноманских песков, метод Моргенштерн-Прайса



Рис. 5.11. Влияние на глобальную устойчивость борта карьера (K_u) углов внутреннего трения девонских глин, метод Бишопа

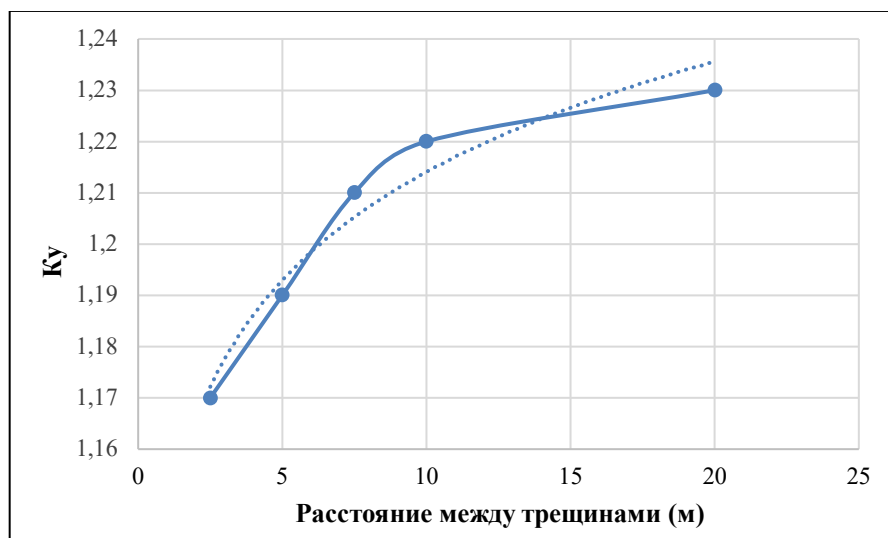


Рис. 5.12. Зависимость коэффициента устойчивости (K_u) борта карьера от блочности скального массива

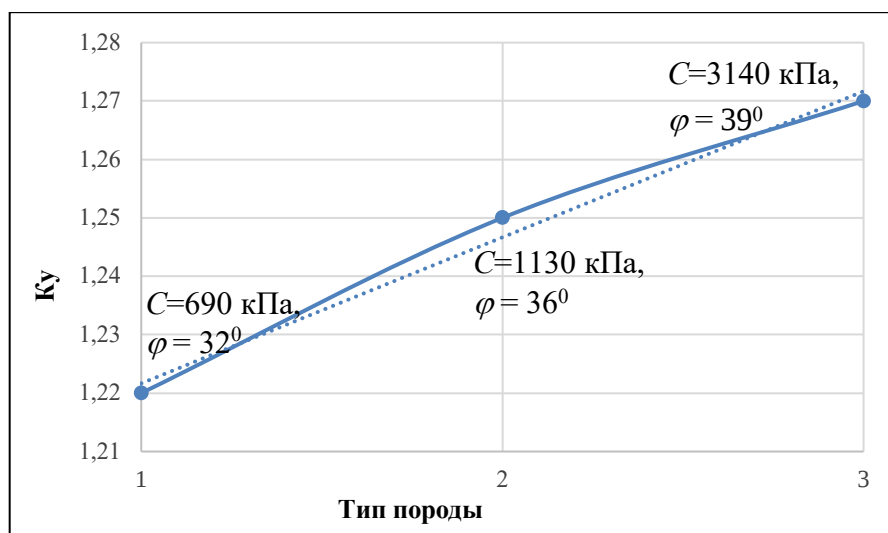


Рис. 5.13. Зависимость коэффициента устойчивости (K_y) борта карьера от прочности (C) скального массива: 1 – сильнотрещиноватые породы; 2 – среднетрещиноватые породы; 3 – слаботрещиноватые породы

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

Экологические мероприятия, ограничивающие негативное воздействие на окружающую среду включают:

- обратную систему технологического водоснабжения;
- перехват и организованное отведение поверхностных и фильтрационных вод в обратную систему;
- поддержание уровня воды в хвостохранилище, исключающее подтопление территории;
- увлажнение пылящих материалов при производстве работ;
- рекультивацию внешних откосов дамб с посевом трав и посадкой саженцев облепихи;
- покрытие пляжей и намывных отсеков реагентом Налко DUSTBIND;

- обработка дорог закрепляющим реагентом Бишофит;
- мониторинг УГВ в режимной сети;
- увеличение частоты замеров атмосферного воздуха;
- посадка лесозащитных насаждений в пределах санитарной зоны, являющаяся основным способом снижения эрозионных процессов, распространения пыли, абсорбентами тяжелых металлов корнями растений. Растительный покров является своеобразным механическим и биохимическим барьером на пути техногенного потока тяжелых металлов.

Выводы

1. Оптимальное функционирование достигается в результате анализа информации, характеризующей динамику ПТС. Это предопределяет отношение к пространственной системе пунктов получения информации, набору наблюдаемых параметров и режиму их наблюдений. Длительная эксплуатация месторождений приводит к изменению границ, режима и набора процессов. Сокращение негативных последствий возможно только при чётком понимании процессов развивающихся в сфере взаимодействия природно-технических систем (ПТС) «Железорудные месторождения».
2. Система мониторинга позволяет устанавливать основные тенденции распространения негативных последствий и выработать эффективные управляющие решения по ограничению их воздействий на окружающую среду.
3. Элементарная ПТС «Хвостохранилище» оказывает огромное влияние на окружающую среду. По набору негативных процессов сфера взаимодействия элементарной ПТС «Хвостохранилище» может быть разделена на зоны, что позволяет выявить наиболее информативные параметры, подлежащие наблюдению.
4. Развитие процессов, инициируемое технологическими работами, носит прогрессирующий характер в пространственно-временном отношении. Это

требует постоянной оптимизации (корректировки) системы размещения пунктов получения информации, режима и параметров мониторинга.

5. Существующий массив данных о гидрогеологических условиях Стойленского месторождения позволяет оптимизировать используемые в настоящее время методы оценки необходимой информации. Анализ временных рядов наблюдений за уровнями подземных вод показал, что система наблюдений может быть оптимизирована за счёт перехода от ежемесячных наблюдений к ежеквартальным, при сохранении качества получаемых результатов.
6. На базе моделей устойчивости бортов карьеров получены графики зависимости K_u от динамики техногенного водоносного горизонта, прочностные свойства пород, блочность и трещиноватость массива, что позволяет устанавливать предельные значения изменения факторов, при которых система не выйдет из области допустимых состояний.
7. Оптимальное функционирование ПТС обеспечивается методами управления, опирающимися на информацию о процессах, развивающихся в системе.

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 гравитационных процессов; инженерно-геологическую типизацию бортов карьера с учётом состава и свойств горных пород, 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°, субвертикальные – 60°), находится в состоянии близком к предельному

равновесию: дальнейшая 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 горизонта 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 двух-уровневых системах с перекрёстными связями. В качестве минимизированных критериев функционирования рассматриваются отклонения текущего состояния от предельно допустимого K_u . В качестве оптимизированных параметров (факторов) – уровень надъяурского 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 ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативные и методические документы

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах [Текст]. – Введ. 1999-01-01. СПб.: ВНИМИ, 1998. – 208 с.
2. СП. 11-105-97. Свод правил. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов [Текст]. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2000. – 118 с.

Опубликованная литература

3. Абатурова, И.В. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твёрдых полезных ископаемых горно-складчатых областей [Текст]: научное издание / И.В. Абатурова. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 2011. – 226 с.
4. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов [Текст] / Т. Андерсон; пер. с англ. И.Г. Журбенко, В.П. Носко; под ред. Ю.К. Беяева. – М.: Мир, 1976. – 756 с.
5. Арсентьев, А.И. Устойчивость бортов и осушение карьеров [Текст] / Арсентьев А.И., И.Ю. Букин, В.А. МIRONENKO. М.: Недра, 1982. – 165 с.
6. Артемьева, А.В. К методике оценки инженерно-геологического изучения и оценке трещиноватости массивов месторождений КМА [Текст] /А.В. Артемьева // Исследования по геологии, горному делу и обогащению руд КМА: сб. ст. / отв. ред. В. И. Терентьев. – М.: Ростехиздат, 1962. – 471 с., 2 л. черт.: ил., карт.; 22 см.
7. Багдасарьян, Г.С. Осушение Лебединского карьера Курской магнитной аномалии [Текст] / Г.С. Багдасарьян // Монтажные и специализированные работы в строительстве. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – № 3.

8. Бабец, А. М. Стратегия экологической безопасности Лебединского ГОКа [Текст] / А. М. Бабец; Моск. гос. горн. ун-т // Горн. инф.-анал. бюл. – 2002. – № 1. – С. 113-117. – ISSN 0236-1493
9. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление [Текст] / Дж. Бокс, Г. Дженкинс; пер. с англ. А.Л. Левшина; под ред. В.Ф. Писаренко. – М.: Мир, 1974. Кн.2. – 197 с.
10. Бондарик, Г.К. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии [Текст]: учебное пособие / Г.К. Бондарик, Л.А. Ярг. – М.: ИД КДУ, 2015. – 296 с.
11. Бочеввер, Ф. М. Прогноз притока и снижения уровней подземных вод при осушении месторождений полезных ископаемых [Текст]/ Ф. М. Бочеввер, П.В. Цюрупа // Разведка и охрана недр. – 1958. – № 5. – С. 45-52
12. Ведение геоэкологического мониторинга подземных и поверхностных вод в зоне влияния объектов Стойленского ГОКа [Текст]: отчёт о НИР/НТЦ НОВОТЭК/ рук. Еланцева Л.А.; исп. Акинъшин Л.П. Евстигнеева Э. В., Фоменко С.В., Киянец Т. А. [и др.]. – Белгород, 2015. – 154 с.
13. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии: в 3-х т. [Текст] / Ред. коллегия.: ... И. Н. Леоненко (отв. ред.) [и др.]; М-во геологии РСФСР. Геол. упр. центр. районов. – М.: Недра, 1969-1972.
14. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии: в 3 т. Т. 2. Гидрогеология и инженерная геология [Текст] / Б. Н. Смирнов, Л. П. Викторова, В. В. Котлов [и др.]; Ред. А. Т. Бобрышев. – М.: Недра, 1972. – 479 с.
15. Гидрогеология СССР. Том IV. Воронежская и смежные области. Геологическое управление центральных районов [Текст] / Гл. ред. А.В. Сидоренко. – М.: Недра, 1971. – 499 с.
16. Глушко, В.Т. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений [Текст] / В.Т. Глушко, В.Г. Борисенко. – М.: Недра, 1978. – 253 с.

17. Гольдберг, В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения [Текст] / В.М. Гольдберг, С. Газда. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
18. Годовников, Н.А. Вероятностный метод прогнозирования потенциальных деформаций уступов карьера в массивах скальных пород [Текст] / Н.А. Годовников, В.А. Дунаев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 5. – С.81-83.
19. Горькова, И.М. О природе плавунности песчано-коллоидных пород [Текст] / И.М. Горькова, В.Ф. Чепик, К.Н. Рябичева // Труды Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР. – М.: Изд. АН СССР, 1957. – Т. 15. – С. 62-152.
20. Гун, В.Я. Некоторые сведения об инженерно-геологических условиях разработки Лебединского месторождения КМА [Текст] / В.Я. Гун, Ю.М. Перцовский // Вопросы геологии, инженерной геологии и гидрогеологии месторождений КМА: сб. ст. – М.: Изд. АН СССР, 1961. – 94 с.
21. Железные руды КМА: монография [Текст] / под ред. В.П. Орлова, И.А. Шевырева, Н.А. Соколова. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. – 616 с.
22. Железородная база России [Текст] / под ред. В.П. Орлова, М.И. Веригина, Н.И. Голивкина. – М.: ЗАО Геоинформмарк, 1998. – 842 с. ISBN 5-900357-07-4
23. Железородные формации докембрия КМА и их перспективная оценка на железные руды: монография [Текст] / под ред. Н.И. Голивкина, Е.И. Дунай, Б.П. Епифанова [и др.]. – М.: Недра, 1982. – 228 с.
24. Житинская, О.М. Влияние хвостохранилища Лебединского ГОКа на состояние природной среды [Текст] / О.М. Житинская // Дело это надо вести сугубо энергично: матер. Межрегион. Терентьевских чтений «Наука на КМА: История и современность», посвящённых Дню российской науки и 100-летию со дня рождения В.И. Терентьева, первого директора Научно-исследовательского института по проблемам КМА/ МБУК «Музей истории КМА»; [сост.: Г.Н. Мызина, Г.И. Александровская, Т.В. Золкина и др.]. – Старый Оскол: ООО «Ассистент плюс», 2016. – С. 138-145.

25. 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. // Новые идеи в науках о Земле: доклады XII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 08-10 апреля 2015 г.) / Российский государственный геологоразведочный университет; [ред. кол.: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий]. – Т. 2. – Москва: МГРИ-РГГРУ, 2015. – С. 292-293.
26. Житинская, О.М. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) [Текст] / Житинская О.М., Ярг Л.А // Новые идеи в науках о Земле: доклады XIII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 5-7 апреля 2017 г.) / Российский государственный геологоразведочный университет; [ред. кол.: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий]. – Москва: МГРИ-РГГРУ, 2017. – С. 181-182.
27. Житинская, О.М. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) [Текст] / О.М. Житинская, Л.А. Ярг // Известия высших учебных заведений. Научно-методический журнал. Геология и разведка. – 2018. – № 1. – С.49-61
28. Житинская, О. М. Оптимизация системы мониторинга природно-технической системы «Железорудные месторождения» на базе анализа временных рядов [Текст] / Житинская О.М., Ярг Л.А., Фоменко И.К. // Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ): матер. Междунар. науч.- практ. конф. (Москва, 4-6 апреля 2018 г.) / Российский государственный геологоразведочный университет; [ред. кол.: В. А. Косьянов и др.]. – Т. 2. – Москва: Филътроткани, 2018. – С. 220-221.
29. Зеркаль, О. В. Оценка влияния анизотропии свойств грунтов на устойчивость склонов [Текст] / О. В. Зеркаль, И. К. Фоменко // Инженерные изыскания. – 2013. – № 9. – С. 44-50.

- 30.Зеркаль, О. В. Оползни в скальных грунтах и оценка их устойчивости [Текст] /О. В. Зеркаль, И. К. Фоменко // Инженерная геология. – 2016. – № 4. – С. 4-21.
- 31.Зеркаль, О. В. Современные тенденции в изучении оползневых процессов [Текст] /О.В. Зеркаль // Материалы научно-практической конференции «Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения». М.: Геомаркетинг, 2017. – С. 102–110.
- 32.Исследование состояния устойчивости бортов карьера, откосов ярусов отвалов с целью прогноза ожидаемых, допустимых и предельных значений деформаций [Текст]: отчёт о НИР/ФГУП ВИОГЕМ /рук. Будков В.П., исп. Григорьева С.Н., Кабанов Н.Н., Литвинов А.А. [и др.]. – Белгород, 2003. – 122 с. № ГР 01200306717.
- 33.Инженерно-геологические и гидрогеологические условия района Курской магнитной аномалии [Текст]: (Применительно к разработке месторождений открытым способом) / И. Г. Киссин, Ф. В. Кулибаба, Н. К. Паффенгольц [и др.]. – Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. – 168 с.: ил.; 26 см. – (Труды Лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф. П. Саваренского/ Акад. наук СССР. Отд-ние геол.-геогр. наук; Т. 28).
- 34.Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды [Текст] / М. Кендалл, А. Стьюарт; пер. с англ. Э.Л. Пресмана, В.И. Ротаря; под ред. А.Н. Колмогорова, Ю.В. Прохорова. – М.: Наука, 1976. – 756 с.
- 35.Крайнов, С.Р. Основы геохимии подземных вод [Текст] /С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М.: Недра, 1980. – 286 с.
- 36.Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод [Текст] = Geochemistry of ground waters: Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, В. М. Швец; отв. ред. Н. П. Лаверов. – Изд. 2-е, доп. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 670, с.: ил., табл. – ISBN 978-5-902665-48-9 (в пер.)
- 37.Крауч, С. Методы граничных элементов в механике твердого тела / С. Крауч, А. Старфилд; перевод с англ. М. А. Тлеужанова; под ред. А. М. Линькова. – М.: Мир, 1987. – 328 с.

- 38.Кравчук, С.В. Определение коэффициента фильтрации водовмещающих пород по результатам водопонижения [Текст] / С.В. Кравчук // Гидрогеология и осушение месторождений КМА: сб. ст. / отв. ред. С. Ф. Борисов. – Москва: Наука, 1964. – 83 с.: ил.; 21 см.
- 39.Кудинова, В.И. Сравнительная характеристика инженерно-геологических свойств мергельно-меловых пород Лебединского и Погромецкого месторождений КМА [Текст] / В.И. Кудинова // Исследования по геологии, горному делу и обогащению руд КМА: сб. ст. / отв. ред. В. И. Терентьев. – М.: Ростехиздат, 1962. – 471 с., 2 л. черт.: ил., карт.; 22 см.
- 40.Лившиц, Г.М. Гидрохимические фации и микроэлементы некоторых поверхностных и подземных вод Воронежской области [Текст] / Г.М. Лившиц // Химическая география и гидрогеохимия: сб. ст. – Пермь: Пермский государственный университет, 1962. – вып. 2(3).
- 41.Литвинчев, И.С. Задачи управления большой размерности с перекрёстными связями [Текст]: научное издание I. Примеры постановок / И. С. Литвинчев, В. И. Цурков // Мат. моделир. – 1990. – Т. 2, № 12. – С. 3-16
- 42.Лобанова, Н.Ф. Схема гидрогеологических условий КМА до и после крупного водопонижения [Текст] / Н.Ф. Лобанова // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. Т. 40. – М.: Из-во МГУ, 1965. – №4.
- 43.Ломтадзе, В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых [Текст] / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1986. – 272 с.
- 44.Методическое руководство по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при их разведке [Текст] / сост.: В. И. Кузькин, Л. А. Ярг, М. В. Кочетков. – М.: РИЦ ВИМСа, 2001. – 153 с.
- 45.Методические рекомендации по оценке эксплуатационных запасов подземных дренажных вод месторождений твердых полезных ископаемых [Текст] / сост.: Л. С. Язвин [и др.]. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1992. – 73 с.

46. Методические рекомендации по прогнозу влияния осушения на режим подземных вод (На примере месторождений Белгород. обл.) [Текст] / сост.: И. П. Твердохлебов, М. И. Забейда; М-во черной металлургии СССР «Союзруда». Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. ин-т по осушению месторождений полезных ископаемых, спец. горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу «ВИОГЕМ». - Белгород: [б. и.], 1976. – 88 с.
47. Мироненко, В.А. Гидрогеологические исследования в горном деле [Текст]/ В.А. Мироненко, Ю.А. Норватов, Л.И. Сердюков и др. – М.: Недра, 1976. – 352 с.
48. Мироненко, В.А. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах [Текст]/ В.А. Мироненко, В.Г. Румынин, В.К. Учаев. – Ленинград: Недра, 1980. – 297 с.
49. Мироненко, В.А. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах [Текст] / В.А. Мироненко, В.М. Мольских. – Ленинград: Недра, 1988. – 297 с.
50. Мироненко, В.А. Проблемы гидрогеоэкологии [Текст]: Монография в 3-х т. / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин. – М.: МГУ, 1998-1999 гг.
51. Могилин, А.В. Инженерно-геологическое обоснование технологии формирования отвальных насыпей на гидроотвалах: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.16, 25.00.22 / Могилин Александр Валентинович; Моск. гос. гор. ун-т. – М., 2002. – 17 с.
52. Определение оптимальных параметров бортов карьера и отвалов ОАО «Стойленский ГОК» при развитии горных работ с увеличением добычи сырой руды до 42 млн. тонн в год [Текст]: отчёт о НИР/ФГУП ВИОГЕМ / рук. Киянец А.В., исп. Будков В.П, Григорьева С.Н., Кабанов Н.Н., [и др.]. – Белгород, 2007. – 55 с.
53. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод водозабора «Котельная СГОКа» [Текст]: отчет о НИР/ НТЦ «НОВОТЭК» / рук. Гензель Г.Н.; исп.

- Еланцева Л.А., Акиншин Л.П. Евстигнеева Э. В., Васильченко А. В. [и др.]. – Белгород, 2008. – 208 с.
- 54.Павлов, И.Н. Наблюдения за режимом подземных вод на Лебединском месторождении КМА [Текст] /И.Н. Павлов. – М.: Изд. АН СССР, 1955.
- 55.Павлов, И.Н. Гидрогеологические и инженерно-геологических условиях железорудных месторождений КМА [Текст] / И.Н. Павлов. – М.: Изд-во: Госгеолтехиздат, 1959.
- 56.Пашкин, Е. М. Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей [Текст] / Е. М. Пашкин. - 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Георекострукция, 2013. – 239 с. – ISBN 978-5-9902005-9-3.
- 57.Пендин, В.В. Методология оценки и прогноза оползневой опасности [Текст] / В.В. Пендин, И.К. Фоменко. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 320 с.
- 58.Перцовский, Ю.М. Инженерно-геологические явления на Лебединском карьере КМА [Текст] /Ю.М. Перцовский // Исследования по геологии, горному делу и обогащению руд КМА: сб. ст. / отв. ред. В. И. Терентьев. – М.: Ростехиздат, 1962. – 471 с., 2 л. черт.: ил., карт.; 22 см.
- 59.Перцовский, Ю.М. Анализ и оценка инженерно-геологической структуры Лебединского месторождения железных руд КМА в связи с его открытой разработкой [Текст] // Геология и полезные ископаемые Центрально-Черноземных областей. – Воронеж: Изд-во Воронежск. ун-та, 1964. – С.251-253.
- 60.Попов, И. В. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии КМА [Текст] / И.В. Попов // Железистые кварциты и богатые железные руды Курской магнитной аномалии: сб. ст. / отв. ред. акад. И. П. Бардин. –М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1955. – 690 с.
- 61.Подсчёт запасов подземных вод Лебединского месторождения [Текст]: отчёт НИР/ФГУП ВИОГЕМ/ рук. Серый С.С., исп. Забусов Н.И., Ряжских М.В., Еrimiца В.Г. [и др.]. – Белгород, 2005. – 342 с. – № ГР 01200408769.

62. Прохоров, С.П. Инженерно-геологические свойства рыхлых богатых руд КМА и вопросы их дальнейшего изучения [Текст] / С.П. Прохоров, Г.Г. Суворцев // Разведка и охрана недр. – 1958. – №6. – С. 49-53
63. Пустовойтова, Т.К. Инженерно-геологическое обеспечение прогноза устойчивости бортов карьеров [Текст] / Т. К. Пустовойтова, С.В. Кагермазова // Маркшейдерское дело в социалистических странах. – Л.: ВНИМИ, 1988. – Т.2. – С. 250-256.
64. Создание гидрогеологической информационно-компьютерной системы для управления недрами на территории КМА Белгородской области [Текст]: отчёт о НИР/ АОЗТ СП «Геолинк» / рук. Рошаль А.А., исп. Штенгелов А.Р. [и др.]. – Москва, 2001. – 173 с.
65. Славянов, В.Н. К методике прогноза инженерно-геологических условий вскрытия и разработки месторождений КМА [Текст] / В.Н. Славянов, В.И. Фандеев // Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов Европейской части СССР: сб. ст. – Калуга: Калужское книж. изд-во, 1959. – Выпуск 2. – 244 с.
66. Славянов, В.Н. Цирки оплывания песчано-глинистых пород на откосах карьеров КМА и некоторые закономерности их развития [Текст] / В.Н. Славянов // Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства: сб. ст.; отв. ред. Ф. В. Котлов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 155 с.: ил., карт.; 26 см.
67. Славянов, В.Н. Новый комплексный метод инженерно-геологического определения формы устойчивости откоса глубоких карьеров и выемок [Текст] / В.Н. Славянов // Природные физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления: сб. ст. / отв. ред. Ф. В. Котлов. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. – 167 с.
68. Славянов, В.Н. Районирование территории КМА по гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям [Текст] / В.Н. Славянов // Научные труды по проблемам КМА: сб. ст. – М.: Ростехиздат, 1962. – 194с.

- 69.Славянов, В. Н. Инженерно-геологические прогнозы устойчивости откосов [Текст] / В. Н. Славянов. – М.: Стройиздат, 1964. – 155 с.
- 70.Смирнов, Б.Н. Сравнительная оценка гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений богатых железных руд и карта районирования территории КМА [Текст] /Б.Н. Смирнов // Решение Научно-технического совещания по гидрогеологии и инженерной геологии. г. Ереван 13-22 мая 1963 г. – М.: [б. и.], 1964. – 25 с.
- 71.Смирнов, Б.Н. Гидрогеологическое и инженерно-геологическое районирование Воронежской антеклизы [Текст] / Б.Н. Смирнов // Труды Третьего совещания по проблемам изучения Воронежской антеклизы. 7-11 апреля 1944 г. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1966. - 379 с., 4 л. табл.: ил.; 26 см.
- 72.Терновская, В.Т. Некоторые выводы о результатах проверки геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических прогнозов на Лебединском месторождении КМА [Текст] / В.Т. Терновская // Природные физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления: сб. ст. / отв. ред. Ф. В. Котлов. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. – 167 с., 3 л. черт., карт.: ил., карт.; 26 см.
- 73.Фисенко, Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов [Текст]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1965. – 378 с.: ил.; 22 см.
- 74.Фоменко, И.К. Математическое моделирование напряжённого состояния инженерно-геологического массива, сложенного анизотропными горными породами [Текст]: дис... канд.геол. минер. наук: 04.00.07/ Игорь Константинович Фоменко.– М., 2001. –138 с.
- 75.Фоменко, И.К. Расчёт устойчивости склонов вдоль трассы Центральной кольцевой автомобильной дороги (ЦКАД) [Текст]/ И.К. Фоменко, А.И. Иванов, С.Н. Волков // Тр. Межд. конференции по геотехнике «Геотехнические проблемы мегаполисов». – М.: 2010, – С. 1761-1765.

76. Фоменко, И. К. Оценка устойчивости бортов карьеров в скальных грунтах [Текст] / И. К. Фоменко, В.В. Пендин, Д. Н. Горобцов // Горные науки и технологии. – 2016. – № 3. – С. 10-21.
77. Хрисанов, В.А. Геологическое строение и полезные ископаемые Белгородской области: учебное пособие / В.А. Хрисанов, А.Н. Петин, М.М. Яковчук. – Белгород: БелГУ, 2000. – 245 с.
78. Цурков, В. И. Декомпозиция в динамических задачах с перекрёстными связями [Текст]: научное издание / В. И. Цурков, И. С. Литвинчев. – М.: Наука, 1994. – 176 с.
79. Чернышев, С.Н. Трещины горных пород [Текст] / С.Н. Чернышев. – М.: Наука, 1983. – 240 с.
80. Чурсанов, А.М. Влияние процессов выветривания на устойчивость откосов Лебединского карьера КМА [Текст] / Н.М. Чурсанов, В. К. Панфилов // Труды Науч.-исслед. и проектно-конструкт. ин-т по осушению месторождений полезных ископаемых – Белгород: ЦНИИГоросушение, 1966. – 22 с.
81. Шевяков, Л. Д. Курская магнитная аномалия [Текст] / Л. Д. Шевяков, Г. И. Маньковский. – М.: Изд. АН СССР, 1962. – 100 с.: ил., карт.; 20 см. – (Научно-популярная серия / Акад. наук СССР).
82. Экспертная оценка влияния хвостохранилища Лебединского ГОКа с учётом его развития на подземные воды, рекомендации по защите прилегающих территорий от подтопления и водных ресурсов от загрязнения: отчёт о НИР/ НТЦ «НОВОТЭК» / рук. Г.Н. Гензель; исп. Н.Ф. Карачевцев, М.В. Якушенко, П.М. Беспалов. – Белгород, 2000. – 66 с.
83. Ярг Л.А. Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания [Текст] / Л.А. Ярг. – М.: Недра, 1987. – 237 с.
84. Ярг, Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании [Текст] / Л.А. Ярг. – М.: Недра, 1974. – 142 с.
85. Ярг, Л.А. Информационные основы обеспечения оптимальной эксплуатации природно-технических систем «Рудные месторождения» [Текст] / Л.А. Ярг,

- О.М. Житинская // Известия высших учебных заведений. Научно-методический журнал. Геология и разведка. – 2017. – № 5. С.78-81
- 86.Хуан, Я.Х. Устойчивость земляных откосов [Текст] / Я.Х. Хуан; пер. с англ. В.С. Забавин; под ред. В.Г. Мельник. – М.: Стройиздат, 1988. – 240 с. – ISBN 5-274-00224-2.
- 87.Bar, N. Considerations for Effectively Using Probability of Failure as a Means of Slope Design Appraisal for Homogeneous and Heterogeneous Rock Masses [Text] / N. Bar, A. Heweston // 20th International Conference on Geological, Geotechnical and Environmental Engineering «ICGGEE 2018». – At: Melbourne, Australia, 2018. – Vol. 12(2). – P.66-72.
- 88.Barton, N.R. The shear strength of rock joints in theory and practice [Text] / N.R. Barton, V. Choubey // Rock Mech. – 1977. – Vol.10, N 1-2. – P. 1-54.
- 89.Bishop, A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes [Text] / A.W. Bishop // Geotechnique. –1955. – N.5. – P. 7-17.
- 90.Esterhuizen, J. Constitutive Behaviour of Geosynthetic Interfaces [Text] / J. Esterhuizen, G.M. Filz, J.M. Duncan // Journal of GeoTechnical and Geoenvironmental Engineering. – October 2001. – P.834-840.
- 91.Duncan, J. M. Soil Strength and Slope Stability [Text] / J. Michael Duncan, Stephen G. Wright, Thomas L. Brandon. – 2nd ed. – John Wiley & Sons, Inc., 2014. – 336 p. – ISBN: 978-1-118-65165-0
- 92.Duncan, J. M. Finite element analyses of slopes and excavations. State-of-the-Art Report [Text] / J. Michael Duncan // Proceedings of the First Brazilian Seminar on the Application of the Finite Element Method in Soil Mechanics. – COPPE, Rio de Janeiro, Brazil, 1974.– P. 195-208.
- 93.Hoek, E. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition [Text]/ E. Hoek, Caranza- C.T. Torres, B. Corcum // Proc. of the North American Rock Mechanics Society «NARMS-TAC'2002». – Toronto: Mining Innovation and Technology, 2002. – N.1. – P. 267-273

94. Hoek, E. Rock Slope Engineering [Text] / E. Hoek, J.W. Bray. – 3rd ed. – London: Institution of Mining and Metallurgy, 1981. – 358 p.
95. Husein Malkawi, A.I. Global Search Method for Locating General Slip Surface using Monte Carlo Techniques [Text] / A.I. Husein Malkawi, W.F. Hassan, S.K. Sarma // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2001. – Vol.127, N.8. – P.688-698.
96. Janbu, N. Application of composite slip surface for stability analysis [Text] / N. Janbu // Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes. – Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam, 1954. – P. 43-49.
97. Krahn, J. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology [Text] / J. Krahn. – First Edition, Revision I. – Calgary, Alberta: GEO-SLOPE International Ltd., 2004. – 396 p.
98. Morgenstern, N.R. The analysis of the stability of general slip surface [Text] / N.R. Morgenstern, V.E. Price // Geotechnique. – 1965. – N. 15. – P. 79-93.
99. Wang, R. Landslide Stability Analysis Based on GeoStudio [Text] / Rui Wang, Xi Wang, Kun Yin, Yang Zhao // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 634-638. – P. 3701-3704.
100. Wu, Aleck. Locating General Failure Surfaces in Slope Analysis via Cuckoo Search [Text] / Aleck Wu. – ROCSCIENCE INC, 2012. – 52 pp.

Электронные ресурсы

101. Аргимбаев, К.Р. Обоснование технологии открытой разработки железосодержащих техногенных месторождений на примере хвостохранилищ ГОКов КМА / К.Р. Аргимбаев // Библиотека диссертаций, 2013 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dslib.net/geotechnology/>. (Дата обращения – 12.01.17)
102. Гальперин, А. М. Инженерно-геологическое обеспечение экологически безопасного освоения горнопромышленных природно-техногенных систем [Электронный ресурс] / А. М. Гальперин, Ю. В. Кириченко, В. А. Ермолов, Ю. И. Кутепов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология.

- 2012. – № 6. – С. 520-526. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_18152404_14763619.pdf. (Дата обращения – 12.10.19)
103. Лысков, И.А. Прогноз напряжённно-деформированного состояния бортов карьера методом конечных элементов при разработке Чусовского месторождения флюсовых известняков [Электронный ресурс] / И.А. Лысков, Д.В. Шустов // Вестник Пермского государственного технического университета. Геология, геоинформационные системы, горно-нефтяное дело. – 2009. – № 4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognoz-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-borta-kariera-metodom-konechnyh-elementovpri-razrabotke-chusovskogo> (Дата обращения – 28.02.18 г)
104. Петин, А. Н. Рациональное недропользование в железорудной провинции Курской Магнитной Аномалии: проблемы и пути их решения [Электронный ресурс] // автореф. дис. ... доктора географических наук: 25.00.36/ Петин Александр Николаевич. Режим доступа: [dspace.bsu.edu.ru/bitstream/123456789/15495/1/Petin_ Ratsionalnoe. pdf](https://dspace.bsu.edu.ru/bitstream/123456789/15495/1/Petin_Ratsionalnoe.pdf) (Дата обращения - 14.03.17).
105. Фильчаков, Ю.В. Экологическое состояние природных ресурсов в зоне функционирования хвостохранилища Михайловского ГОКа КМА [Электронный ресурс] // автореф. дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 25.00.36/ Фильчаков Юрий Владимирович. Режим доступа: <http://earthpapers.net/ekologicheskoe-prirodnih-resursov-v-zone-funkysionirovaniya-hvostohranilischa-mihaylovskogo-goka-kma>. (Дата обращения - 18.05.17)
106. Чернышов, Н.М. Техногенный золото-платиноидный тип месторождений КМА (Центральная Россия) [Электронный ресурс] / Н.М. Чернышов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: геология. – 2010. – № 1. – Режим доступа: www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2010/01/2010-01-17.pdf (Дата обращения - 13.07.17)

107. Семячков, А.И. Методика ведения комплексного экологического мониторинга окружающей среды в железорудных горно-металлургических комплексах [Электронный ресурс] / А.И. Семячков, В.А. Почечун // Известия Уральского государственного горного университета. Охрана окружающей среды. – 2008. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru> (Дата обращения - 25.11.18)
108. Семёнова, К. М. Совершенствование технологии гидро-отвалообразования на основе подачи высоконасыщенных гидросмесей с учётом геоморфологических факторов [Электронный ресурс] // Дис. ... кандидата технических наук: 25.00.22/ Семёнова Ксения Михайловна. Режим доступа: http://mgri-rggru.ru/science/protection/pdf/Semenova_KM.pdf. (Дата обращения - 19.06.17г).
109. Кравчук, Т.Н. Прогноз загрязнения подземных вод при разработке железорудных месторождений КМА методами численного моделирования [Электронный ресурс] /Т.Н. Кравчук, С.В. Сергеев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки. – 2012. – № 15. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_20359889_91297128.pdf (Дата обращения – 19.03.17)
110. Bar, N. Benefits and limitations of applying directional shear strengths in 2D and 3D limit equilibrium models to predict slope stability in highly anisotropic rock masses [Электронный ресурс] / Neil Bar, Geoffrey Weekes, Senaka Welideniya. Режим доступа: https://www.researchgate.net/profile/Neil_Bar/research. (Дата обращения – 06.08.19)