

61:06-5/2862

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи



ГЛЕБОВ Сергей Валерьевич

**Обоснование рациональных комплексов геофизических исследований водозащитной толщи на месторождениях водорастворимых руд  
(на примере Верхнекамского месторождения калийных солей)**

Специальность 25.00.16

Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология,  
геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук  
И.А. Санфиров

Пермь - 2006

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ .....	9
1.1 Основы комплексирования геофизических методов .....	9
1.2 Комплексирование геофизических методов на месторождениях водорастворимых руд .....	12
1.3 Особенности формирования рациональных комплексов .....	21
2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ .....	23
2.1 Физико-геологические особенности месторождения и горно- технические условия его освоения .....	23
2.2 Построение информационной модели месторождения .....	34
3. АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	76
3.1 Оценка точности определения глубины залегания геологических объектов по результатам геофизических исследований .....	78
3.2 Оценка объективности интерпретационных заключений .....	83
4. ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЭТАПЕ РАЗВЕДКИ И ОСВОЕНИЯ .....	90
4.1 Цели и задачи геофизических работ .....	90
4.1.1. Разработка иерархии задач геофизических исследований (на примере Верхнекамского калийного месторождения) .....	90
4.1.2. Ранжирование задач по степени важности .....	98
4.2 Методика геолого-экономического обоснования состава рациональных комплексов геофизических исследований .....	108
4.2.1 Разработка количественной оценки геологической информативности геофизических методов и их комплексов .....	108

4.2.2 Анализ геолого-экономической эффективности геофизических методов и их комплексов .....	111
4.2.3 Обоснование рационального комплекса геофизических исследований ВЗТ в районе Дуринского прогиба .....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	125
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	127
ЛИТЕРАТУРА .....	128
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	142

## ВВЕДЕНИЕ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** Главным условием обеспечения безопасной подземной разработки месторождений водорастворимых руд является сохранение полной водонепроницаемости пород водозащитной толщи (ВЗТ). Нарушение сохранности ВЗТ привело к затоплению десятков калийных и каменно-соляных рудников в разных странах мира.

В 1986 году в результате разрыва водозащитной толщи и проникновения надсолевых вод в горные выработки затоплен крупнейший в мире рудник третьего Березниковского калийного рудоуправления (БКПРУ-3), отработывающий запасы Дурьманского участка Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Возрастающие в его пределах объемы выработанного пространства приводят к перераспределению техногенной нагрузки на недра. Наблюдается активизация негативных процессов: техногенные землетрясения; трещинообразование, вызывающее появление провалов на земной поверхности, разрушение зданий и сооружений, а при развитии в водозащитной толще создающее угрозу самого существования рудников. Столь разнообразные формы проявления последствий разработки и особые условия геологического строения обуславливают необходимость комплексного подхода в решении как геологических, так и горно-технических задач, возникающих при освоении месторождения.

Необходимость комплексирования геофизических методов общепризнанна при решении практически любых геологоразведочных задач. Наиболее широкое развитие комплексирование получило в рудной геофизике, причем в основном на стадиях поисков и разведки. Известны многочисленные примеры успешного применения комплексов при картировании месторождений угля, железных руд, хромитов и др.. Но, тем не менее, в добывающих предприятиях продолжается систематическое игнорирование принципа комплексности, что, безусловно, снижает

информативность и достоверность горно-геологической интерпретации геофизических данных. При освоении месторождений большей актуальностью характеризуется задача разработки рациональных комплексов. Рациональный комплекс направлен на решение горно-геологических задач с минимальными затратами. Проблема его формирования является сложнейшей в теории и практике комплексирования геофизических исследований недр.

**Целью работы является – разработка системы проектирования рациональных комплексов геофизических исследований при освоении месторождений водорастворимых руд.**

**Для достижения цели поставлены основные задачи.**

1. Изучение опыта геофизических исследований на территории месторождения с учётом физико-геологических особенностей его строения. Анализ качественного состава проектируемого комплекса.

2. Количественная оценка достоверности результатов отдельных составляющих комплекса.

3. Разработка иерархии задач геофизических исследований на современном этапе освоения месторождения.

4. Геолого-экономическое обоснование состава рациональных комплексов геофизических исследований.

**Основные защищаемые положения.**

1. Информационная модель месторождения полезного ископаемого, построенная на основе современных систем сбора и анализа горно-геологических данных и позволяющая оценить качество и детальность геофизического обеспечения горного производства.

2. Научно-обоснованная классификация горно-геологических задач геофизических исследований по степени значимости для различных стадий освоения месторождения водорастворимых руд, определяющая выбор геофизических методов их решения.

3. Методика формирования рациональных геофизических комплексов, направленных на параметрическое обеспечение горного производства, основанная на минимизации экономических затрат на единицу геологической информации.

#### **Научная новизна работы.**

1. Обосновано, что первоочередные участки изучения ВЗТ и состав исследований в их пределах целесообразно определять на основе многомерных геоинформационных моделей, построенных с учётом масштабности комплексных геофизических исследований.

2. Установлено, что для определения приоритетных путей формирования разнородных массивов геолого-геофизических данных может успешно применяться метод анализа иерархий.

3. Доказано, что суммарная оценка видов физико-геологической информации, получаемой отдельными геофизическими методами при решении горно-геологических задач с учётом их значимости и достоверности, достаточна для определения геологической информативности комплексных геофизических исследований.

#### **Практическая значимость и реализация результатов исследований.**

Предлагаемая методика обоснования геофизических комплексов и геоинформационный проект «Геофизическая изученность ВКМКС» внедрены в практику проектирования геологоразведочных и геофизических работ на рудниках ОАО «Уралкалий». Так, при геологическом доизучении готовящегося к отработке Усть-Яйвинского участка в составе геофизического комплекса реализуется выполнение комплексной переинтерпретации материалов крупномасштабных грави-электроразведочных работ и последующая детализация выделенных аномальных зон профильной малоглубинной сейсморазведкой высокого разрешения с опорой на скважины структурного и геологоразведочного бурения с выполнением в них стандартного комплекса ГИС и акустического каротажа. В рамках работ по организации и ведению мониторинга северо-

восточной части шахтного поля Первого Березниковского калийного рудоуправления (БКПРУ-1) спроектирован и реализуется геофизический комплекс, включающий площадную наземно-подземную гравиразведку, двухуровневые сейсмогеомеханические работы по отдельным взаимоувязанным профилям, малоглубинные наземные площадные электроразведочные работы, шахтные электроразведочные и сейморазведочные наблюдения.

Геоинформационный проект «Геофизическая изученность ВКМКС» использован в научно-исследовательских работах Горного Института УрО РАН «Геофизические исследования Соликамской впадины» и «Тектоническое строение шахтных полей ОАО «Уралкалий».

Разработанная автором иерархия задач геофизических исследований на современном этапе освоения месторождения и выполненное ранжирование задач по степени значимости позволяют уточнить приоритетные направления развития горной геофизики.

#### **Публикация и апробация работы.**

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ. Основные результаты исследований и положения диссертационной работы докладывались с 1999го года на различных конференциях и семинарах. В их числе: «Первое Всероссийское совещание по мониторингу геологической среды на объектах горнодобывающей промышленности» (Березники, Пермской обл., 1999); Международные научные симпозиумы «Неделя горняка - 2004», «Неделя горняка - 2005» (Москва, 2004-2005); научные сессии Горного института УрО РАН с 2002 по 2006 год (Пермь, 2002-2006).

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения. Изложена на 156 страницах, включая 20 рисунков, 12 таблиц, 1 приложение и список использованной литературы из 168 наименований.

#### **Исходные материалы и личный вклад автора.**

Диссертация отражает результаты, полученные в ходе исследований, проводящихся с 1998 года в рамках «Генерального проекта мониторинга

геологической среды Верхнекамского солеродного бассейна», а также в процессе совместной научно-производственной деятельности с лабораториями Горного института Уральского отделения Российской академии наук.

Постановка и выполнение теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертации, проведены автором лично, либо под руководством автора совместно с сотрудниками Центра мониторинга геологической среды Управления по подземным и буровым геологоразведочным работам ОАО «Уралкалий».

Автор признателен заслуженному геологу РФ, начальнику управления по развитию ресурсной базы ОАО «Уралкалий» Квиткину С.Ю., заслуженному геологу РФ, гл. геологу ОАО «Уралкалий» Кузнецову Н.В., канд. геол.-мин. наук, гл. геологу УПБГРР ОАО «Уралкалий» Белкину В.В., докт. геол.-мин. наук Кудряшову А.И., проф., докт. техн. наук Баряху А.А., заслуженному деятелю науки, проф., докт. геол.-мин. наук Новоселицкому В.М. за поддержку и консультации в процессе работы над диссертацией.

Работе над диссертацией способствовала творческая и доброжелательная атмосфера в коллективах Управления по подземным и буровым геологоразведочным работам и ГИ УрО РАН и поддержка коллег по производственной и научной деятельности, особенно сотрудников ЦМГС – Белкиной Т.Ф., Хоменко Ю.Ю., Перминовой М.В., Собянина М.А. и лаборатории активной сейсмоакустики ГИ УрО РАН – Приимы Г.Ю., Ярославцева А.Г., Бабкина А.И., Семериковой И.И., Ахматова А.Е., Фаткина К.Б., Пригары А.М.



# 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ

## *1.1 Основы комплексирования геофизических методов*

Необходимость комплексирования геофизических методов вызвана свойственными им ограничениями. К ним относятся [15, 73]:

- возможность изучения объектов и явлений в основном по косвенным признакам;
- недоопределённость и неустойчивость решения обратных задач по определению природы, формы и геометрии изучаемых объектов;
- наличие множества помех, влияющих на информативность отдельных методов;
- избирательная способность каждого метода по отношению к отдельным физическим и геометрическим параметрам исследуемых объектов.

Хмелевской В.К. [105] подчёркивал необходимость комплексирования геофизических методов: «...только рациональный выбор их комплексов (наряду с совершенствованием каждого метода) может дать высокий эффект при изучении земной коры с различными целями».

Развитию комплексирования в СССР и России способствовали исследования О.Ю. Шмидта, Г.А. Гамбурцева, А.И. Заборовского, В.В. Федынского, А.Г. Тархова, А.А. Логачёва, Л.Я. Нестерова, И.Г. Клушина, О.Л. Кузнецова, Н.Я. Кунина, Г.С. Вахромеева, В.Н. Страхова, В.М. Новоселицкого, В.А. Гершанок, В.Е. Никитского, В.М. Бондаренко, В.В. Бродового, А.А. Никитина, В.К. Хмелевского, М.Д. Молева и др.

Общие методологические и прикладные вопросы комплексирования раскрыты в работах А.Г. Тархова, В.М. Бондаренко, А.А. Никитина, В.В. Бродового, В.К. Хмелевского, Г.С. Вахромеева [14, 15, 16, 18, 51, 52, 73, 93].

Согласно этим публикациям процесс формирования геофизического комплекса содержит ряд последовательных этапов:

1. Основой для разработки геофизических комплексов является физико-геологическая модель (ФГМ) объекта исследований. По определению В.В. Бродового [15]: «ФГМ – обобщённое и формализованное представление об основных геологических и физических характеристиках изучаемого геологического тела и его вмещающей среды, максимально приближенное к реальным условиям и соответствующее фундаментальным знаниям об объекте. Основными составляющими её частными моделями являются геологическая и петрофизическая модели и модели физических полей». ФГМ объекта исследований находится в постоянном развитии. Формирование априорной ФГМ основано на принципе аналогии. Далее, согласно принципу последовательных приближений, происходит её непрерывное уточнение.

2. Изучение условий применимости геофизических методов для решения поставленной задачи, к которым относятся: заметная дифференциация физических свойств пород и руд; благоприятные геометрические параметры объекта исследований; достаточно низкий уровень помех.

3. Выяснение недоопределённости и неустойчивости решения задачи отдельными геофизическими методами.

4. Расчёт сетей наблюдений и необходимой точности измерений.

5. Комплексный анализ и комплексная интерпретация геофизических данных.

6. Оценка геологической информативности геофизических методов и их сочетаний на базе различных количественных приёмов.

7. Оценка экономической эффективности методов и их комплексов.

При этом следует придерживаться общих принципов, лежащих в основе выбора любого геофизического комплекса:

1. Обязательным является включение в состав комплекса геофизических методов, которые обеспечивают получение разнородной,

взаимодополняющей информации. Совместное использование методов, изучающих одинаковые физические величины не приводит к увеличению информативности комплекса.

2. Соблюдение определённой последовательности геофизических работ, характеризующейся возрастающей детальностью изучения объекта исследования.

3. Подразделение методов на основные и детализационные.

4. Многократное чередование геологических, геофизических, геохимических и горно-буровых средств геологической разведки.

Разными учёными выделяются несколько отличные классификации уровней комплексирования геофизических работ. Так В.В. Бродовым [15] сформулированы уровни: 1 – подсистемы геофизических работ; 2 – типовые комплексы; 3 – рациональные комплексы. Наиболее современной является классификация А.А. Никитина и В.К. Хмелевского [73], в которой они выделяют следующие виды геофизических комплексов: *типовой, рациональный и оптимальный*.

Типовой комплекс формируется для типичных условий проведения работ. Типовой комплекс обычно состоит из всех методов, способствующих решению задачи, без учёта стоимости работ. Изучение различных физических свойств объекта исследования повышает эффективность и достоверность геофизического комплекса, но одновременно ведёт к его удорожанию. Фактически типовой комплекс может быть определён без каких-либо опытных работ, а на основе априорной физико-геологической модели.

Рациональный комплекс обосновывается на основе компромисса между двумя критериями – обеспечением решения поставленных задач, и минимизацией затрат. Согласно А.А. Никитину и В.К. Хмелевскому [73], при его разработке «необходима хотя бы приблизительная оценка информативности и экономических затрат для включаемых в комплекс геофизических методов. Рациональный комплекс создаётся на основе

типового комплекса при наличии достаточного объёма априорной информации, позволяющей оценить информативность отдельных методов и их различных сочетаний». Обычно для этого требуется проведение опытных работ. Первым этапом обоснования рационального комплекса является выбор *геологически эффективного комплекса*, состоящего из всех методов, позволяющих наиболее полно решить поставленные геологические задачи. Далее из геологически эффективного комплекса выбирают методы, которые решали бы задачи с минимальными затратами средств и времени.

Оптимальный комплекс является высшим уровнем комплексирования, позволяющим наиболее эффективно и с минимальными затратами решать поставленные задачи. Но для его разработки требуются определённые условия – наличие *весьма существенной* априорной информации об объекте исследования, геологической информативности и экономических показателях методов и их комплексов. Задача выбора оптимального комплекса решается на основе минимизации функции потерь, определяемой через экономические и информационные показатели методов с учётом задания априорных вероятностей наличия или отсутствия исследуемых объектов [73].

## **1.2 Комплексирование геофизических методов на месторождениях водорастворимых руд**

В работах по вопросам комплексирования геофизических исследований недостаточно освещены геофизические комплексы на месторождениях водорастворимых руд. Краткие сведения о типовых комплексах, нацеленных на поиски и оценку месторождений солей представлены Тарховым А.Г. и др. [93], Никитиным А.А. и Хмелевским В.К. [73]. Подробнее охарактеризованы геофизические комплексы на стадиях поисков и оценки калийных месторождений на примере Белорусского и

Предкарпатского калиеносных бассейнов в работах Никитского В.Е. и Бродового В.В. [50], Раевского В.И. и др. [82].

Наиболее полный обзор и анализ геофизических исследований на калийных рудниках в мире и в СССР выполнен В.М. Новоселицким и др. в 1988 году [151]. В этой работе сделан вывод об отсутствии рационального комплекса геофизических исследований на стадии освоения калийных месторождений.

Между тем, с начала ведения подземных горных работ на месторождении водорастворимых руд присутствует угроза затопления рудников [3, 53-56, 111, 114, 116, 117, 119]. Известно много случаев, когда проникновение в горные выработки даже небольшого количества воды из водоносных горизонтов заканчивалось гибелью рудников. Подавляющее большинство затоплений произошло в Германии. Некоторые из рудников затоплены за несколько часов, на других с водопритоками боролись на протяжении десятков лет. Несколько рудников затоплено в Канаде, один - в Конго и один в России. Из общего числа внезапных (аварийных) прорывов вод и рассолов в горные выработки рудников до 10-15% приходится на прорывы вод из поверхностных водоемов, ливневых и паводковых вод, из старых затопленных горных выработок; 85-90% - на прорывы из вышележащих подземных водоносных горизонтов. Таким образом, проблема предотвращения затопления рудников, иными словами, обеспечения безопасности горных работ, остаётся актуальной весь период освоения месторождения [7, 61, 65].

Согласно «Положению ..., 1999» [80], действующему в настоящее время, геологоразведочные работы на месторождениях твёрдых полезных ископаемых подразделяются на 3 этапа и 5 стадий:

Этап I. Работы общегеологического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр

Этап II. Поиски и оценка месторождения

Стадия 2. Поисковые работы

## Стадия 3. Оценка месторождения

## Этап III. Разведка и освоение месторождения

## Стадия 4. Разведка месторождения

## Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

Каждой стадии геологоразведочного процесса в зависимости от целей работ соответствуют свои геофизические комплексы. На сегодняшний день геологоразведочные работы на разных участках Верхнекамского месторождения относятся к стадиям разведки месторождения и эксплуатационной разведки.

Геофизические работы проводятся на территории ВКМКС с двадцатых годов прошлого века. С самого начала проводился ряд опытно-методических исследований по комплексированию (Г.М. Маламуд, 1953; Н.К. Кедрова, 1954; Ф.И. Гескин, 1955). Их результаты показали принципиальную возможность, но экономическую нецелесообразность применения сейморазведки. Необходимыми свойствами комплекса в те годы являлись максимальная технологичность, малозатратность, возможность скорейшего покрытия геофизической разведкой площади месторождения. К середине 50-х годов двадцатого века обоснован и успешно использовался рациональный геофизический комплекс *на стадии поисков калийных солей* (с целью оконтуривания соляного массива, картирования кровли солей), состоящий из гравиразведки и электроразведки методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

В последующие годы *на стадиях оценки и разведки* месторождения расширяется круг ставящихся перед калийной геофизикой задач. Комплекс гравиразведки и электроразведки используется для решения структурно-тектонических, инженерно-геологических и гидрогеологических вопросов [102]. При электроразведочных работах применяется внутриметодное комплексирование – ВЭЗ и СЭП. Для решения тектонических задач привлекаются данные магниторазведки. В практику геологоразведочных работ входят геофизические исследования скважин с целью литологического

расчленения продуктивной толщи и параметрического обеспечения наземных геофизических работ. Выполняются незначительные по объёму опытные работы по использованию методов магнитотеллурического и частотного зондирования, становления поля, начинается опробование шахтных методов. В этот период основные геофизические работы на территории Верхнекамского месторождения выполнялись не в целях изучения калийной залежи, а для решения гидрогеологических и нефтепоисковых задач и других задач (см. раздел 2.2).

До 1986 года считалось, что выполненных в пределах детально-разведанных участков Верхнекамского калийного месторождения геологоразведочных, и в том числе геофизических работ, достаточно для обеспечения безопасного ведения горных работ. В утверждённых в 1972 [97] и 1984 [98] годах «Указаниях по охранезданий, сооружений и природных объектов от вредного воздействия подземных горных разработок и по охране рудников от затопления в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей» единственным критерием сохранности ВЗТ указывалась достаточность её мощности, без учёта возможной латеральной неоднородности её строения. Геофизические работы (наземная гравиразведка или комплекс её с электроразведкой методами зондирования и профилирования на постоянном токе) в эти годы применялись в основном при изучении наиболее сложных по строению краевых частей месторождения – Камско-Вишерского вала, Дуринского и Боровицкого прогибов. В начале восьмидесятых годов в небольших объёмах начали проводиться опытные шахтные геофизические исследования. Методологическое обеспечение комплексирования на месторождении практически отсутствовало.

Такое положение дел существовало до середины восьмидесятых годов.

В 1986 году в результате прорыва надсолевых вод через водозащитную толщу затоплен крупнейший в мире рудник Третьего Березниковского калийного рудоуправления [66]. Выполнение требований действующих

«Указаний ...» [98] не предотвратило аварии. Затопление рудника привело к тяжелым технико-экономическим, и геоэкологическим последствиям. На месте прорыва вод образовался провал земной поверхности диаметром в десятки метров. Если бы на поверхности находились жилые или промышленные постройки – последствия были бы ещё более катастрофичны.

Эта авария заставила пересмотреть взгляды на степень изученности месторождения, в частности водозащитной толщи. Выявилась необходимость локализации неоднородностей строения ВЗТ и прослеживания изменений её состояния. В утвержденных в 1990 году «Указаниях по защите рудников от затопления ...» [99] впервые введено понятие аномальных зон в ВЗТ первой и второй групп опасности и определены слагающие их природные неоднородности. Соответственно изменились цели геофизических работ. На первый план выдвинулась задача обеспечения безопасности горных работ. Применявшийся на этапе поисков и оценки месторождения геофизический комплекс (наземные гравиразведка и электроразведка методами постоянного тока) не мог обеспечить изучения внутреннего строения ВЗТ. Методы геофизических исследований скважин отвечали предъявляемым требованиям, но, как и геологоразведочные скважины давали лишь точечную информацию.

В связи с этим возникла необходимость:

- в постановке крупномасштабных геофизических работ;
- разработке и внедрению шахтных технологических геофизических комплексов;
- пересмотре состава геофизического комплекса в свете постановки новых задач.

С решением этих вопросов связаны исследования Цыганкова В.А., Новоселицкого В.М., Санфирова И.А., Титлинова В.С., Вишнякова Э.Х., Колесникова В.П.

В рамках методических исследований по разработке геофизических комплексов Цыганковым В.А. выработаны рекомендации по



комплексированию и методике геофизических работ при крупномасштабном геологическом, гидрогеологическом и инженерно-геологическом изучении месторождения [168]. В предложенном комплексе для крупномасштабного геологического изучения основным методом заявлялась электроразведка методом ВЭЗ. Задачу определения аномальности строения ВЗТ также предлагалось решать методом ВЭЗ, неинформативным для соляной толщи, лишь по косвенным данным - на основании предполагаемых разломов в надсоляной толще. В предложенных технологических схемах комплексной интерпретации не предусматривались какие-либо работы по построению комплексных физико-геологических моделей объектов изучения.

Разработкой и внедрением шахтного геофизического комплекса первыми начали заниматься сотрудники Всесоюзного научно-исследовательского института галургии (ВНИИГ) под руководством Вишнякова Э.Х. В новых объёмах продолжены начатые ими ещё до 1986 года исследования [17, 132]. Шахтный геофизический комплекс включал в себя лишь модификации электроразведки, что и отражалось в соответствующих Указаниях и Инструкциях ВНИИГа [99, 42, 134]. К учитываемым при обеспечении безопасной отработки геофизическим аномалиям в ВЗТ относили только зоны пониженных электросопротивлений. Первоначально работы выполнялись методом дипольного осевого зондирования (ДОЗ), позднее использовались другие методы электроразведки - метод срединных градиентов (СГ), метод естественных потенциалов (ЕП), метод съёмкой установкой (АНВ)fixM), которые впоследствии вытеснили ДОЗ, как более дешёвые и не уступающие в информативности.

В 1987 году Улитин Р.В. и др. выполняли разработку комплексной геофизической методики с целью выявления и изучения динамики проницаемых зон в ВЗТ [165].

Разработкой и опробованием отдельных геофизических методик занимались Задорожная В.Ю. [140], Меньшиков Ю.П. [146], Титлинов В.С.

[94, 164], Усманов Р.И. [95, 166].

Особое значение для развития геофизического комплексирования на этапе освоения Верхнекамского месторождения имеет ряд научно-исследовательских работ ГИ УрО РАН, выполняемых в 1987-1994 годах. Исследования по разработке эффективного геофизического комплекса начаты в 1987 году сотрудниками Отдела рудничной аэрологии и геофизики Пермского политехнического института [152], и продолженные ими же в составе образовавшегося ГИ УрО РАН [76, 109, 150, 151, 154, 155, 156], в корне отличались как от предыдущих, так от и параллельно ведущихся работ этого направления. Эти работы можно обозначить, как начало нового этапа в развитии геофизического комплексирования на месторождении. Исследования основывались на изучении опыта геофизических работ на калийных рудниках в СССР и за рубежом; создании физико-геологических моделей, корректировавшихся и детализировавшихся по мере появления новых данных; проведении ряда математических, физических, натурных экспериментов.

На первом этапе [151, 152]:

- Проведено теоретическое обоснование применения наземно-подземной гравиметрической съёмки (НПГС), впервые выполнены подземные гравиразведочные наблюдения;

- На основе сейсмомоделирования выполнен анализ возможности использования материалов сейсморазведки МОГТ для детального изучения строения соляной и надсоляной толщ;

- Проанализировано и, на основе теоретических и экспериментальных исследований подвергнуто критике развиваемое сотрудниками ВНИИГа направление применения контактных шахтных электроразведочных методик (ДОЗ, ЕП, СГ).

- Сконструирован оптимальный граф цифровой обработки для выделения отражающих границ в толщах соляных пород и проанализированы возможности различных программ интерпретации

сейсморазведочных данных. Для выбора оптимальных параметров систем наблюдений сейсмопартией объединения «Пермнефтегеофизика» по методике и под руководством сотрудников Горного института выполнены опытные экспериментальные наземные сейсморазведочные работы на территории шахтного поля БКПРУ-4 с применением уплотнённых систем наблюдений (нестандартных для нефтяной сейсморазведки).

- По результатам выполненных наземно-подземных гравиметрических работ подтверждена возможность локализации источников поля между поверхностями наблюдений. По профилям, совпадающим с наземными гравиметрическими, выполнены также работы методом ВЭЗ и магниторазведочные работы.

- Проведены опытно-методические работы по гелиево-аргоновой съёмке с целью изучения возможностей выявления разрывных нарушений в соляной толще. Выявлена корреляция газовых аномалий с зонами тектонических нарушений по данным других методов. Дальнейшего развития работы не получили из-за высокой трудоёмкости и стоимости работ.

- Построена детальная ФГМ соляной и надсоляной толщ по линии скважин 1033 и 1037 на шахтном поле БКПРУ-4.

В районе скважин №1033 и № 1037 сформировался район локализации опытных геофизических работ, который в последующие годы стал полигоном для разработки комплекса и адаптации наземных и подземных геофизических методов изучения ВЗТ.

Результатом исследований Горного института в 1988-1995 годах явилось создание методических указаний по геофизическому обеспечению разработки ВКМКС [76, 150, 156], в которых обоснованы «рациональные» комплексы на разных стадиях освоения ВКМКС. Следует отметить, что представленные комплексы нельзя назвать рациональными, так как не выполнялась оценка их экономической эффективности. Выполнен первый этап разработки рационального комплекса – на основе физико-геологического моделирования определены *геологически эффективные*

комплексы, состоящие из методов, позволяющих наиболее полно решить задачи обеспечения безопасности горных работ. В качестве обязательных методов разведочной геофизики, включаемых в состав комплексов при изучении соляной и надсоляной толщ, обоснованы наземная и шахтная сейсмоакустика, наземная и наземно-подземная гравиразведка, наземная электроразведка методами сопротивлений. Шахтная электроразведка, с учётом уровня её развития на тот период, не включалась в обязательный состав комплексов. В результате доработки методик полевых работ и интерпретационного обеспечения [48, 143, 144] методы электрметрии усовершенствованы и на сегодняшний день являются составной частью эксплуатационной разведки [133].

Разработанные сотрудниками Горного Института УрО РАН методики геофизических исследований успешно применяются при решении различных задач калийного горного производства [5, 6, 8, 9, 39, 49, 68, 74, 81, 84-89, 112, 123, 127, 141, 145, 147, 148, 163]. Примером эффективного использования представленного состава геофизического комплекса является выполнение работ по ведению мониторинга северо-восточной части шахтного поля рудника БКПРУ-1 (2бис ВП). При проведении первого этапа исследований в 2002 году ГИ УрО РАН в комплексе методов использовались двухуровневые сейсморазведочные исследования, НПГС, малоглубинные ВЭЗ [121, 122]. Комплексная интерпретация позволила выделить участки относительно пониженных механических свойств, как в верхней части разреза, так и в соляной толще.

Таким образом, в результате работ Горного института внедрены в практику геофизических исследований на Верхнекамском месторождении новые методы: наземно-подземная гравиметрическая съёмка (НПГС) и малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения (МСВР), сейсмологический контроль; обоснованы геологически эффективные комплексы на разных стадиях разведки и освоения месторождения.

Десятилетний опыт успешного применения этих комплексов, а также

появление данных заверки результатов геофизических исследований прямыми методами изучения горного массива, позволяют нам выполнить переход к следующему этапу комплексирования – обоснованию рациональных комплексов геофизических исследований при освоении Верхнекамского калийного месторождения.

### **1.3 Особенности формирования рациональных комплексов**

Известны три подхода к обоснованию рациональных комплексов [73].

Первый – *качественный подход*, когда геологическая информативность работ и затраты на их выполнение оцениваются отдельно.

Второй базируется на оценке *прямого экономического эффекта*, обычно по аналогии с внедрением новой техники. На этапе освоения месторождения этот подход не применим. Основной целью геофизических работ в этом случае является обеспечение безопасной эксплуатации, и оценить прямой экономический эффект работ при этом практически не возможно.

Третий подход основан на оценке *общей геолого-экономической эффективности* методов. При этом более универсальной является оценка, предложенная Журбицким Б.И. и представляющая собой отношение геологической информативности метода к суммарным затратам на проведение геофизических работ. Именно такой подход, на наш взгляд, соответствует современному этапу освоения Верхнекамского калийного месторождения, но для его реализации необходимо количественное выражение геологической информативности.

Из-за множественности индивидуальных факторов не существует общих аналитических методов получения количественной оценки геологической информативности геофизических методов.

На современном этапе освоения Верхнекамского калийного месторождения решение этой проблемы усложняют следующие факторы:

- наличие значительного количества и разнородность аномалиеобразующих объектов обуславливает широкий спектр ставящихся задач, к тому же явно не равнозначных по своей важности;

- относительно небольшой (15-20 лет) опыт применения методик, информативных для обеспечения безопасности горных работ, и, соответственно, незначительный объём заверочных работ.

Наиболее распространённые из известных способов количественной оценки геологической информативности (Клушин И.Г., Берман И.И., Вахромеев Г.С.) имеют ограничения к применению в подобных условиях. Эти способы либо направлены на оценку информативности при решении одной частной задачи, либо требуют наличия большого числа реализаций совмещённых по площади исследований разными методами и результатов массовой проверки аномалий [13, 70-73, 79, 93].

Таким образом, возникает необходимость разработки методики количественной оценки геологической информативности методов разведочной геофизики и их комплексов при освоении Верхнекамского калийного месторождения. Геофизический комплекс представляет собой открытую динамично развивающуюся систему, поэтому подобная методика должна быть гибкой, позволяющей учитывать возможность изменения влияющих факторов.

Эта методика должна соответствовать следующим требованиям:

- позволять учитывать множественность и степень значимости задач горного производства при освоении месторождения;

- максимально использовать имеющуюся информацию о достоверности результатов геофизических работ на месторождении.

Выполнение данных требований возможно только на основе изучения опыта геофизических исследований на территории месторождения с учётом физико-геологических особенностей его строения.

## 2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

### *2.1 Физико-геологические особенности месторождения и горно-технические условия его освоения*

Основой для разработки геофизических комплексов является физико-геологическая модель (ФГМ). В рамках данной работы не ставится задача развития вопросов физико-геологического моделирования на месторождении. Обобщённая модель месторождения, модели участков месторождения и модели локальных геологических неоднородностей, формируются и совершенствуются в рамках работ Горного института УрО РАН.

Проблема детализации и усовершенствования ФГМ остаётся актуальной, особенно на этапе интерпретации. Но уровень детализации уже сформированных ФГМ достаточен для обоснования геологически эффективных комплексов геофизических исследований.

Ниже представлены физико-геологические особенности ВКМКС, обобщённые на основе работ [1, 4, 6, 10-12, 19, 20, 29, 30, 33, 35-38, 40, 41, 43-45, 57, 58, 60, 62-64, 75, 77, 87, 90-92, 103, 104, 108, 113, 142, 150, 159].

Верхнекамское месторождение солей приурочено к галогенной формации Соликамской впадины Предуральяского краевого прогиба. Многопластовая залежь калийно-магниевых солей месторождения распространена на площади 3,7 тыс.км.кв. и располагается внутри соляной толщи площадью около 8,1 тыс.км.кв.

На территории месторождения выделяются три существенно различных по составу комплекса пород осадочного чехла - подсолевой, соленосный и надсолевой. В таблице 2.1 и на рисунке 2.1 представлена физико-геологическая ситуация по всем структурно-фациальным этажам

осадочного чехла в пределах ВКМКС.

Таблица 2.1

## Физико-геологическая информация комплексов (по [76]).

Литолого-стратиграфический комплекс	q - плотность, г/см <sup>3</sup> v - скорость, м/с n - магнитная восприимчивость (x10 <sup>-5</sup> ед.СИ)	Особенности строения (H-глубина, h-мощность, м; ОГ - отражающий горизонт; ga-гравитационная активность, г/см)
гранито-гнейсовый фундамент	q=2.75 v=6200	H=3800-5500, растет на восток, наличие разрывно-блоковой тектоники
вендско-девонский терригенный	q=2.64-2.66 v=4700-5200 n=13-20 (венд) 0-13 (девон)	H=2300-2700, h=1500-2500 кровля соответствует ОГ-III, ga=+0.06
девонско-турнейский карбонатный	q=2.72 (в рифах) v=6600 (в рифах) q=2.63-2.65 v=5400	h=500-700 с рифами в межрифовых впадинах отмечаются терригенные отложения
визейский терригенный	q=2.56-2.61 растет на восток v=3900-4800 n=0-10	H=1600-2400, h=50-130 уменьшается на сводах рифов: ga(кровли)=+0.07-+0.11 ga(подошвы)=-0.04-0.14 кровля- ОГII
визейско-башкирский карбонатный	q=2.7-2.71 v=5800-6300	h=300-400
визейский терригенно-карбонатный	q=2.66-2.68 v=4000-4900 n=2-12	H=1500-1950, h=70-100 ОГ I
верхний карбон-нижнепермский карбонатный	q=2.69-2.7 v=4000-6000	h=600-800, в верхней части рифы, кровля-ОГат ga=-0.07-0.12
раннепермский терригенный	q=2.59-2.62 v=3800-4300	h=от 0 до 400 на востоке, состав от глинисто-карбонатного на западе до песчанникового на востоке
кунгурский сульфатный	q=2.6-2.8	h=250-350, на западе сульфатно-карбонатный, на востоке сульфатно-терригенный, встречаются линзы каменной соли
иренский соленосный	подстил. камен. соль q=2.2, v=4400-4650 сильвинитовая пачка q(сильвинит)=2.13 q(кам. соль)=2.18 v(сильвинит)=3900-4200 v(кам. соль)=4250-4600 карналлитовая пачка q(карналлит)=1.89 v=3800-3900 покровная кам. соль v=4350-4650 соляно-мергельная q(мергель)=2.24 v(мергель)=3100 v(кам. соль)=4200-4600	h=300-500, подошва ОГ С, в калиево-магниево-части мелкая складчатость, тонкослонность, зоны замещения, в верхней части-переслаивание с пластами мергеля
уфимский надсоляной	q=2.4-2.48 v=2600-3700	состоит из глинисто-мергелистой, известково-мергелистой, известково-песчанниковой и терригенной



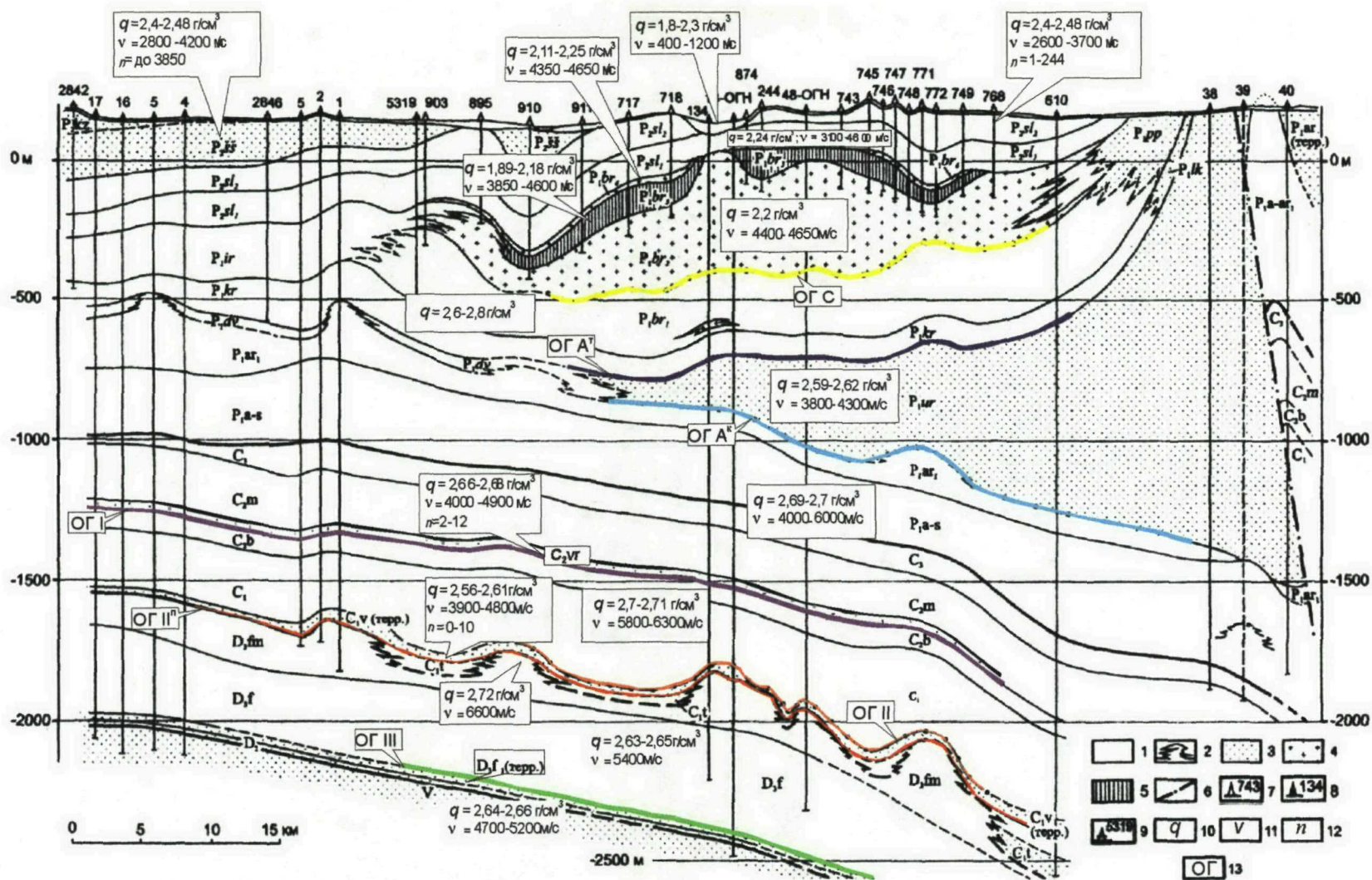


Рис. 2.1 Геолого-физический широтный разрез центральной части Соликамской впадины (основа по [64]).

1 - карбонатные и существенно карбонатные отложения; 2 - рифовые постройки; 3 - преимущественно терригенные отложения; 4 - каменная соль; 5 - калийные и калийно-магниево-соли; 6 - Всеволодо-Вильвенский надвиг; 7-9 - скважины и их номера: 7 - солеразведочные; 8 - нефтяные; 9 - структурные; 10 - средняя плотность пород; 11 - средняя скорость распространения упругих колебаний; 12 - средняя магнитная восприимчивость ( $\times 10^{-5}$  ед.СИ); 13 - сейсмический отражающий горизонт.

На этапе разведки и освоения месторождения бóльшую актуальность представляют физико-геологические особенности соляной и надсоляной толщ (рис.2.2).

Соляная толща мощностью до 550 метров подразделяется (снизу вверх) на подстилающую каменную соль (ПдКС), калийную залежь, состоящую из сильвинитовой (СЗ) и карналлитовой (КЗ) зон, и покровную каменную соль (ПКС). Форма подошвы соляной толщи повторяет структуру нижних горизонтов, к ней приурочен отражающий горизонт ОГ С. Верхняя поверхность более деформирована, выделяются соляные валы, купола и впадины. Амплитуда указанных соляных структур изменяется от нескольких десятков до 400 м и более. Среди разрывных дислокаций интерес представляют открытые трещины, которые развиты как в соляной, так и в надсолевой толще.

Внутреннее строение соляной толщи сложное. Характерна внутриформационная складчатость со складками разных порядков, захватывающих разное количество слоёв. Кроме этого антиклинальные части складок осложнены микроскладчатостью. Существенными для геофизики особенностями также является тонкослоистость этой части разреза, и связанная с ней резкая дифференциация физических свойств по вертикали.

Подстилающая каменная соль имеет мощность от 50 до 515 метров (в среднем 330 м), плотность от 2,08-2,25 г/см<sup>3</sup> (средняя 2,2 г/см<sup>3</sup>). Скорость распространения упругих колебаний 4200-4600 м/с. В ПдКС выделены три подтолщи: нижняя переходная зона, нижняя соль и подстилающая каменная соль. В основании подтолщи подстилающей каменной соли залегает пласт доломито-ангидрито-глинистой породы средней мощностью 2 м, который называется "маркирующая глина" (МГ).

Сильвинитовая зона сложена пластами красных (КрIII, КрII, КрI) и полосчатых (А) сильвинитов, разделённых пластами каменной соли.

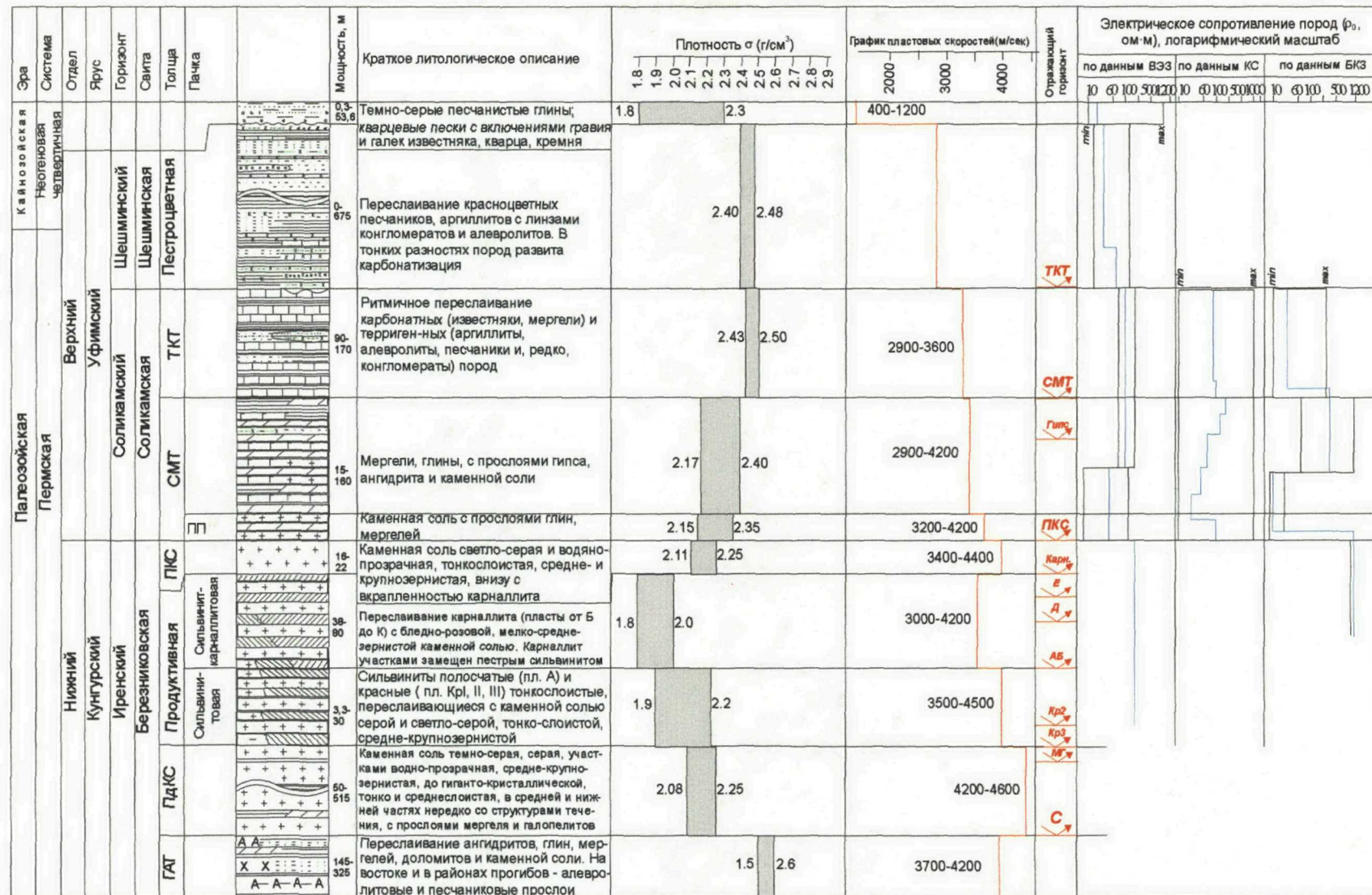


Рис. 2.2 Обобщённая физико-геологическая модель соляной и надсоляной толщ ВКМКС

(по материалам В.П. Беляева, 1989; Л.Д. Нояксовой, 1990; В.М. Новоселицкого, 1994; И.А. Санфирова, 1996; А.И. Петрика, 1998)

Мощность сильвинитовой зоны изменяется от 3,3 до 30 метров (в среднем 17,4 м), средняя плотность пород СЗ от 1,9 до 2,2 г/см<sup>3</sup>, скорость распространения упругих колебаний 3500-4500 м/с. Сильвиниты характеризуются величинами естественной радиоактивности 18-72 мкр/ч. Аномальная активность сильвинита связана с радиоактивным изотопом калия К<sup>40</sup>.

Карналлитовая зона сложена чередующимися пластами калийно-магниевых солей (девять слоёв Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К) и восьми слоёв каменной соли. Нижний пласт Б залегает непосредственно на пласте А сильвинитовой зоны. Мощность карналлитовой зоны от 38 до 80 метров (средняя 53,8 метра), средняя плотность от 1,8-2,0 г/см<sup>3</sup>, скорость распространения упругих колебаний 3000-4200 м/с. Радиоактивность карналлитов 8-12 мкр/ч.

Промышленными на месторождении являются три пласта (Красный II, АБ и В).

На локальных участках площади месторождения распространены зоны замещения, когда характерный для данного пласта состав соли заменяется на другой. Плотность каменной соли продуктивной толщи составляет 2,17-2,19 г/см<sup>3</sup>, сильвинита 2,13 г/см<sup>3</sup>, карналлита 1,89 г/см<sup>3</sup>; скорость распространения упругих колебаний в каменной соли 4250-4500 м/с, в сильвините 3980-4050 м/с, карналлите – 3850-3950 м/с. Учитывая это, подобные зоны замещения отражаются значительным изменением физических свойств по латерали.

Венчаются отложения кунгурского яруса толщей покровной каменной соли (ПКС). ПКС распространена на большей части территории ВКМКС, но отсутствует на сводах некоторых поднятий. Мощность ПКС от 16 до 22 метров (в среднем 20 метров), средняя плотность от 2,11 до 2,25 г/см<sup>3</sup>, скорость распространения упругих колебаний 3400-4400 м/с.

Верхнепермские отложения представлены породами уфимского возраста. Уфимский ярус расчленен на два горизонта: соликамский и шешминский.

Нижняя часть соликамского горизонта: соляно – мергельная толща (СМТ) мощностью от 15 до 160 м (в среднем 100 м) разделена на 9 ритмопачек содержащих глину или мергель и каменную соль или гипс. Границы ритмопачек достаточно хорошо выделяются по данным гамма-каротажа. На контакте 8-й и 9-й ритмопачек выделяется чёткий репер-максимум радиоактивности. Нижняя часть СМТ мощностью до 88 м (в среднем 20 м), содержащая пласты каменной соли, носит название переходной пачки (ПП). Кровля ПП проводится по первому пласту сверху каменной соли и является также кровлей всей соленосной толщи. Плотность пород пачки от 2,15-2,35 г/см<sup>3</sup>. Скорость 3200-4200 м/с.

В разрезе соленосной толщи по данным малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения (МСВР) выделяются следующие отражающие горизонты: подошва подстилающей каменной соли – ОГ С, интервал маркирующей глины – ОГ МГ, граница между карналлитовой и сильвинитовой пачками – ОГ АБ, кровля продуктивной толщи – ОГ Карн., кровля покровной каменной соли – ОГ ПКС. При проведении работ во внутренних точках среды, возможно выделение дополнительных ОГ: подошва продуктивной толщи – сильвинитового пласта Кр3 – ОГ Кр3, подошва пласта Кр2 – ОГ Кр2, кровля пласта Е – ОГ Е, кровля пласта Д – ОГ Д, суммарное интерференционное отражение от пласта плотных гипсо-ангидритов в глинисто-мергелистой толще - ОГ Гипс, подошва переходной пачки – ОГ ПП<sup>п</sup>, кровля переходной пачки ОГ ПП<sup>к</sup>.

Соляная толща содержит небольшое количество рассолов. В подземных горных выработках также распространены техногенные конденсационные и закладочные рассолы.

Переходная пачка является региональным водоупором, а вышележащие породы в различной степени обводнены. Плотность пород части СМТ, залегающей выше переходной пачки 2,17-2,40 г/см<sup>3</sup>. Скорость 2900-4200 м/с. К кровле СМТ приурочен ОГ СМТ.

Верхняя подтолща соликамского горизонта сложена известняками, доломитами, песчаниками и называется терригенно-карбонатной толщей (ТКТ) мощностью от 90 до 170 метров. Породы ТКТ повсеместно трещиноватые. Плотность пород от 2,43-2,50 г/см<sup>3</sup>. Скорость 2900-3600 м/с. К кровле ТКТ приурочен ОГ ТКТ. Магнитная восприимчивость пород ТКТ меняется от  $1 \times 10^{-5}$  ед.СИ у известняков до  $244 \times 10^{-5}$  ед.СИ у песчаников.

Известняки, мергели, глины СМТ и ТКТ характеризуются величиной естественной радиоактивности от 1 до 5 мкр/ч.

Пестроцветная толща (ПЦТ), относимая к шешминскому горизонту уфимского яруса, сменяет вверх по разрезу отложения соликамского горизонта. Граница между ними проводится по смене плитчатых мергелей пестроцветными обломочными породами, в основном, песчаниками. Для пестроцветов характерны проявления окисленных медных руд, изменчивость литологического состава, линзовидное залегание в разрезе. Отложениями шешминского горизонта венчается разрез пермских отложений в Верхнекамском соленосном бассейне. Мощность горизонта подвержена сильным колебаниям от 0 до 675 метров. Плотность пород толщи от 2,40 до 2,48 г/см<sup>3</sup>. Отложения шешминского горизонта являются наиболее магнитными породами района, их магнитная восприимчивость достигает  $3850 \times 10^{-5}$  ед.СИ у песчаников и  $1500 \times 10^{-5}$  ед.СИ у алевролитов. Естественная радиоактивность пород 3-6 мкр/ч.

На локальных участках Верхнекамского месторождения, в долинах рек встречаются кайнозойские глины и пески. Неогеновые отложения большой мощности установлены в погребенных долинах. Все эти отложения покрыты чехлом рыхлых осадков четвертичного возраста, мощность которых составляет 1-15 метров. По происхождению они относятся к озерным, ледниковым, флювиогляциальным, аллювиально-делювиальным разностям и представлены глинами, суглинками, супесями и песчано-галечными отложениями. Плотность пород от 1,8 до 2,3 г/см<sup>3</sup>. Скорость распространения упругих колебаний 400-1200 м/с.

Месторождение характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. В разрезе надсолевой толщи выделены верхнесоликамский и нижнесоликамский водоносные горизонты. Гидрогеологические особенности верхнесоликамского горизонта заключаются в неоднородности литологического состава водовмещающих пород и в резкой изменчивости их фильтрационных свойств, носящей зональный характер, обусловленный тектоническим строением района.

Геолого-структурные и геодинамические особенности района ВКМКС в значительной мере определяют характер вертикальной гидрохимической зональности потока напорных подземных вод нижнесоликамского водоносного горизонта, в частности распространение рассолов. В нижней части разреза водоносного горизонта подземные воды с минерализацией более 50 г/л приурочены преимущественно к отрицательным структурам (мульдам). Слабоминерализованные подземные воды с минерализацией до 5-15 г/л распространены в верхней части разреза водоносного горизонта в тех же отрицательных структурах и по всей мощности разреза – в положительных структурах (куполах).

В условиях Верхнекамского месторождения защита рудников от затопления надсолевыми водами обеспечивается сохранностью водозащитной толщи (ВЗТ) над отработываемыми горизонтами. Водозащитная толща представляет собой безводную и водонепроницаемую часть геологического разреза, расположенную между кровлей верхнего отработываемого пласта и кровлей первого (сверху) пласта каменной соли. ВЗТ по строению делится на три части: нижнюю (ВЗТ1), представленную чередованием пластов калийно-магниевых солей с разделяющими их каменной солью, средней (ВЗТ2) - покровной каменной солью и верхней (ВЗТ3) - ритмично чередующимися между собой пластами мергелей и каменной соли в переходной пачке. Неполный тип разреза ВЗТ относится к аномальным особенностям.

К настоящему времени имеются несколько тектонических моделей осадочного чехла Соликамской впадины, наиболее известные из них разработаны Джиноридзе Н.М. и Кудряшовым А.И.. Модель тектонического строения, разработанная Джиноридзе Н.М. содержит региональные надвиги, осложненные сдвигами и другими дислокациями. Эта модель не является общепризнанной, но служит сегодня «узаконенной» основой для прогнозирования возможных геологических осложнений при ведении горных работ [100]. Согласно «Указаниям по защите рудников ..., 2004» аномальность состояния пород ВЗТ определяется полнотой разреза ВЗТ, развитием динамических разновидностей каменной соли в ВЗТ2 и ВЗТ3, расслоения пород ВЗТ1, газонасыщенности пород ВЗТ1, открытых трещин, флексурных складок, разрывных дислокаций, зон разубоживания/замещения (Р/З), расслоения глинисто-мергелистых пород ВЗТ3.

Разрез надсоляной и соляной толщ слабо контрастен по магнитным свойствам. Из числа надсолевых пород наибольший интерес в плане формирования магнитного поля представляют породы шешминского горизонта (пестроцветная толща – ПЦТ), они же оказывают экранирующее влияние. Низкие уровни магнитных полей в регионе предопределяют требования высокой точности выполняемых аэромагнитных измерений.

Естественная радиоактивность продуктивной части разреза и наличие радиоактивных реперов в низах соляно-мергельной толщи обосновывают использование ядерных методов геофизических исследований скважин (ГИС). При аэрогаммаспектрометрии эти сведения не могут быть реализованы. На поверхности присутствуют голоценовые и плейстоценовые отложения, обнажения коренных пород встречены только в разрезах речных долин и практически не имеют значения в создании фона гамма-активности на уровне воздушной съемки.

Разрез надсоляной толщи достаточно контрастен по электрическим свойствам. Наличие резкой дифференциации удельных электрических сопротивлений в пределах одной литологически однородной



толщи из-за различной обводнённости участков и минерализации подземных вод с одной стороны является фактором, препятствующим литологическому расчленению разреза, с другой, способствует выделению обводнённых зон повышенной пористости и трещиноватости по данным электроразведки. Высокоомные соляные породы ВЗТ являются экраном для прохождения электрического тока, что затрудняет изучение соляной толщи методами наземной электроразведки на постоянном токе. Подземное применение контактных методов электроразведки также осложняется хорошей проводимостью по напластованию и практическим отсутствием проводимости в ортогональном направлении. Вместе с тем, нарушение такой ситуации из-за влияния каких-либо геологических неоднородностей будет отражаться в электрическом поле.

По плотностным свойствам разрез ВКМКС значительно дифференцирован. Наибольший вклад в гравитационное поле, измеренное на поверхности земли, вносят аномалии связанные с поведением основных гравиактивных границ – кровли и подошвы соляной залежи, а также плотностные неоднородности надсоляной толщи. В горных выработках измерения более чувствительны к неоднородностям продуктивной толщи и ВЗТ.

Наиболее контрастно границы разреза ВКМКС проявляются по акустическим свойствам. Низкоскоростные породы верхней части разреза создают искажающее влияние на регистрируемые на поверхности упругие волны. При изучении акустических свойств в подземных выработках получаемая информация свободна от негативного воздействия приповерхностных низкоскоростных пород. Кроме границ разреза по акустическим свойствам достаточно контрастно проявляются все основные аномальные геологические особенности надсоляной и соляной толщ.

Таким образом, геологический разрез осадочного чехла на территории ВКМКС аппроксимируют моделью с субгоризонтальными физическими границами, с изменяющимися скачкообразно по вертикали и плавно по

латерали физическими свойствами. Модель осложнена внутренними неоднородностями различной формы на разной глубине с положительными и отрицательными градиентами физических свойств относительно окружающих пород [76, 150]. К таким неоднородностям в интервале соляной и надсоляной толщ относятся дизъюнктивные и пликативные тектонические нарушения, лито-фациальные замещения продуктивных отложений, участки флюидо- и газонасыщения. Наиболее сложной для изучения геофизическими методами является верхняя часть соляной толщи (включая ВЗТ), характеризующаяся чередованием тонких пластов с контрастными свойствами, внутрiformационной складчатостью, замещениями литологического состава.

В подобных геолого-геофизических условиях необходим достаточно широкий комплекс геофизических методов, основанных на изучении различных физических свойств.

*Представленные физико-геологические особенности Верхнекамского калийного месторождения легли в основу геологически эффективных комплексов геофизических исследований. Эти комплексы для разных стадий освоения месторождения разработаны сотрудниками ГИ УрО РАН (см. раздел 1).*

## **2.2 Построение информационной модели месторождения**

Обобщение выполненных ранее геофизических работ на месторождении является первоначальным этапом обоснования составов рациональных геофизических комплексов. Для оценки обоснованности выполнения видов и методов геофизических исследований необходимо проанализировать площадную изученность территории месторождения, распространение информации по разрезу, актуальность имеющихся данных.

Геофизические работы проводятся на территории ВКМКС с двадцатых годов прошлого века. Применялись, в основном, гравиметрические, магнитометрические, радиометрические, сейсмические и электрометрические методы, а также геофизические исследования в скважинах для изучения структурно-тектонических особенностей региона, поисков и разведки нефти и газа, калийных солей, нерудного сырья, источников водоснабжения. После аварийного затопления БКРУ-3 на первый план встала задача обеспечения безопасности горных работ.

При изучении архивных материалов установлено, что геофизическая изученность ВКМКС наиболее полно представлена в работах следующих авторов (в хронологическом порядке):

1. Лифшицом Г.Б. в 1972 г. Обобщены геофизические данные по западному склону Северного и Среднего Урала и восточной окраине Русской платформы.

2. Денисовым М.И. и др. в 1980 г. [137]. Материалы по геофизической изученности ВКМКС представленные в данном отчёте легли в основу всех последующих работ.

3. Цыганковым В.А. и др. в 1988 г. [168]. Обобщены геофизические материалы по ВКМКС с целью выбора методики геофизических работ при крупномасштабном изучении.

4. Новоселицким В.М. и др. в 1988 г. [151]. Выполнен обзор состояния геофизических исследований на калийных рудниках в СССР и за рубежом.

5. Нояксовой Л.Д. и др. в 1990 г. [158].

6. Ефимовой О.М. и др. в 1990 г. [138].

7. Харитоновым Т.В. и др. в 1992 г. [167]. В отчёте охарактеризованы наземные геофизические работы, проведённые на ВКМКС до 1992 года.

8. Ефимовой О.М. в 1998 г. [139]. Кроме геофизической изученности ВКМКС наземными методами в работе представлены основы зарождения методик шахтной сейсморазведки и сейсмоакустики, наземно-подземной гравиразведки на ВКМКС.

9. Петриком А.И. и др. в 1998 [159]. Достаточно подробно охарактеризованы наземные и подземные геофизические исследования до 1998 года. Кратко проанализированы результаты некоторых из них. Впервые картограммы геофизической изученности разными методами выполнены в электронном виде. Недостатком является представление их в программе CorelDRAW, что значительно ограничивает использование электронных данных из-за отсутствия их координатной привязки и ограничений программы.

На основе анализа вышеперечисленных работ и сбора данных об исследованиях, выполненных в последние годы, создана информационная модель месторождения. Информационная модель включает в себя сведения о выполненных геофизических работах: пространственное расположение участков геофизических исследований, исполнители, период выполнения, вид работ, масштаб съёмки, методика выполнения, используемая аппаратура, цели выполнения, основные полученные результаты; и базу данных структурных и солеразведочных скважин [22, 23, 24, 27, 28].

В информационную модель включены сведения обо всех работах методами наземной разведочной геофизики, но более детально представлены методы, имеющие физическое обоснование для применения при изучении калийной залежи. Согласно физико-геологической модели месторождения – это методы гравиразведки, сейсморазведки и электроразведки.

Постановка задачи создания информационной модели месторождения потребовала обеспечения возможности комплексного анализа большого количества разнородной графической информации, что привело к необходимости использования методов геоинформатики. В настоящее время геологические ведомства всех стран мира активно используют геоинформационные системы (ГИС) в своей деятельности. Для хранения данных, имеющих пространственную привязку, быстрого удобного доступа к ним, создания на их основе высококачественных карт разного назначения технология ГИС подходит наилучшим образом. Геоинформационную

систему можно определить как систему сбора, обработки, графического представления (визуализации) и анализа пространственно-распределенных данных [13, 21, 59, 107, 110, 118]. Известны многочисленные примеры успешного применения геоинформационных систем в российских геологических и геофизических организациях [22, 31, 32, 34, 47, 78, 106, 115].

Впервые материалы по геофизической изученности ВКМКС наземными методами координатно привязаны. Картограммы геофизической изученности из архивных источников путём сканирования, координатной привязки и векторизации переведены в электронный вид.

Координатно привязанные пространственные данные по нефтяной сейсморазведке и крупномасштабным съёмкам ВЭЗ предоставлены фирмой «Агрохимбезопасность» [160]. Пространственное положение некоторых геофизических работ не найдено (в основном довоенного периода), или не нанесены некоторые площади и линии, положение которых в используемых источниках вызывает сомнение, но все основные работы в информационной модели представлены. В результате создан геоинформационный проект «Геофизическая изученность Верхнекамского месторождения калийных солей» с использованием программного продукта ArcView 3 (производитель Environmental Systems Research Institute (ESRI)). Пространственная информация связана с соответствующими табличными и текстовыми данными.

Созданная информационная модель позволяет пространственно совмещать материалы по геофизической изученности с любыми другими координатно привязанными данными по месторождению, анализировать особенности латеральной и вертикальной изученности ВКМКС геофизическими методами, создавать различные тематические планы и карты (по хронологии исследований, исполнителям, видам аппаратуры, масштабам съёмки, целям работ), сопоставлять результаты геофизических исследований с данными буровых работ. Кроме использования в рамках настоящего

исследования, возможности созданной информационной модели месторождения имеют значительное прикладное значение: при проектировании геологоразведочных работ, при обеспечении оперативного поиска сведений о выполненных геофизических исследованиях по отдельным участкам. Стандартным разделом в любом проекте или отчёте по геологоразведочным работам является «геофизическая изученность района работ». Созданная электронная картографическая основа (в виде ГИС-проекта) и выполненный анализ изученности предоставляют для этого всю необходимую информацию на период до 2005 года. Эти данные уже использовались в работах [120, 64] и в ряде проектов и отчётов геологической службы ОАО «Уралкалий» [122, 125, 126, 127, 135, 136].

Ниже приведены сделанные на основе созданной информационной модели месторождения основные выводы по площадному распределению объёмов геофизических работ, вертикальному распространению имеющейся информации, детальности исследований.

Электроразведочные работы на территории ВКМКС проводятся с 1936 года.

В таблице 2.2 приведены основные сведения о наземных электроразведочных работах, выполненных на территории месторождения.

Таблица 2.2

**Геофизическая изученность района ВКМКС  
(наземная электроразведка)**

№	Исполнитель	Год	Вид работ, масштаб съёмки	Метод	Аппаратура	Цели и задачи исследований
1	2	3	4	5	6	7
1	ЦНИГРИ, А.М.Пылаев	1936 -1938 гг.	профильные, маршрутные	ВЭЗ с АВmax=1,5км в 1936г.; ВЭЗ с АВmax=3км в 1938г.; СЭП	ЭП-1	гидрогеологические
2	ВОДГЕО, И.А.Комиссаров	1939, 1940 гг.	профильные в 1939г.; 1:50000 в 1940г.	МТЗ в 1939 г. ВЭЗ с АВmax=1- 1,5км в 1939г. ВЭЗ с АВmax=2-3км в 1940г.	ЭП-1	гидрогеологические, структурно- геологические

1	2	3	4	5	6	7
3	УГУ, Кизеловская партия, Д.П.Касаткин	1940 г.	профильные	ВЭЗ	ЭП-1	гидрогеологические, структурно-геологические
4	ВНИИГ, Н.М.Порывкин	1940 г.	маршрутные; 1:25000	СЭП; ВЭЗ с АВmax=3км.	ПК-3	гидрогеологические, структурно-геологические
5	УГУ, П.А.Меньшиков	1940 г.	профильные	ВЭЗ	ЭП-1	гидрогеологические, структурно-геологические
6	УГУ, А.А.Константинов	1946 г.	профильные	ВЭЗ с АВmax=14км.	ЭП-1	структурно-геологические
7	ВНИИГ, П.И.Новиков	1948, 1949, 1952гг.	1:25000 в 1948-49гг.; профильные в 1952г.	ВЭЗ с АВmax=1км в 1948г.; с АВmax=4-5км в 1949г.; с АВmax=6км в 1952г.	ПК-3, ЭП-1	гидрогеологические, структурно-геологические, изучение калийной залежи
8	"Пермнефтегеофизика", Ф.И.Жалыбин	1950 г.	1:100000	ВЭЗ с АВmax=16км.	ЭП-1	поисковые на нефть и газ, структурно-геологические
9	"Пермнефтегеофизика", В.К.Серов	1951 г.	1:100000	ВЭЗ с АВmax=10км.	ЭП-1	поисковые на нефть и газ, структурно-геологические
10	"Пермнефтегеофизика", Л.В.Грушина	1952 г.	профильные	ВЭЗ	ЭП-1	поисковые на нефть и газ, структурно-геологические
11	"Пермнефтегеофизика", А.П.Семёнов	1952 г.	1:100000	ВЭЗ с АВmax=12км.	ЭП-1	поисковые на нефть и газ, структурно-геологические
12	ЛГРЭ, Р.И.Гескин	1955 г.	маршрутные	ВЭЗ с АВmax=14км.	ЭП-1	опытно-методические
13	ВНИИГ, К.П.Иванов	1958 г.	профильные	ВЭЗ, СЭП	ЭП-1	опытно-производственные, инженерно-геологические
14	ВНИИГ, А.В.Кавин	1964 г.	профильные	ЗСП, МТП	ЭРС 23-53	опытные, поисковые на нефть и газ
15	ПГРТ, В.Д.Новгородов	1965 г.	1:50000; 1:25000	ВЭЗ с АВmax=5км.	ЭКС-1	опытные, изучение калийной залежи
16	"Пермнефтегеофизика", Ф.К.Грушин	1966 г.	профильные	ЗСП, МТП, КМТП	ЭРСУ-60	опытные, поисковые на нефть и газ
17	УПГО, Букин Б.Ю.	1970 -1972 гг.	1:25000, профильные	СЭП; ВЭЗ с АВmax=2км.	ЭСК-1, ИКС-1	гидрогеологические, структурно-геологические, изучение калийной залежи
18	ПГРЭ, Сылв.ГПП, А.Г.Мелехов	1973 -1975 гг.	профильные	ВЭЗ	ЭСК-1, ИКС-1	гидрогеологические
19	ПГРЭ, Сылв.ГПП, Е.А.Иконников	1976 -1981 гг.	1:200000	ВЭЗ	ЭСК-1	гидрогеологические
20	ПГРЭ, Сылв.ГПП, Г.С.Полыгалова	1978 -1979 гг.	профильные	ВЭЗ	ЭСК-1, ИКС-50	гидрогеологические
21	ПГРЭ, Нерудная ГПП, М.П.Ремаренко	1980 -1983 гг.	1:10000, профильные	ВЭЗ	ИКС-1, ИКС-50	инженерно-геологические, поиски строительного сырья
22	ПГРЭ, Сылв.ГПП, А.В.Ревин	1988 г.	1:200000	ВЭЗ	АЭ-72	гидрогеологические

1	2	3	4	5	6	7
23	ПГРЭ, Беляев В.П.	1987 -1989 гг.	1:50000; 1:25000	ВЭЗ с АВmax=1,5км; метод заряда	АНЧ-3	структурно- геологические (надсоляная толща)
23/a	ГИ УрО РАН, В.П.Колесников	2003 г.	переинтерпретация ВЭЗ ПГРЭ - 1987- 1989гг.	система программ "ЗОНД"	-	изучение надсолевой толщи
24	ПГРЭ, Беляев В.П.	1991 -1992 гг.	1:50000; 1:25000	ВЭЗ с АВmax=1,5км	АНЧ-3	структурно- геологические (надсоляная толща)
25	ГП "Пермрудгеофизика"	1992 -1995 гг.	1:25000	ВЭЗ с АВmax=1,5км	АНЧ-3	изучение надсолевой толщи
25/a	ГИ УрО РАН, В.П.Колесников	1997 г.	переинтерпретация ВЭЗ ГП "Пермруд- геофизика" -1992- 1995 гг.	система программ "ЗОНД", программа «IE2DL»	-	изучение надсолевой толщи
26	ГИ УрО РАН, В.П.Колесников	1997 г.	500x100	ВЭЗ с АВmax=1,5км	АНЧ-3	изучение надсолевой толщи
27	ГИ УрО РАН, В.П.Колесников	2001 г.		Наземно- подземные ЗСБ	ТЕМ- FAST48	изучение ВЗТ
28	ГИ УрО РАН, В.П.Колесников	2002 г.		ВЭЗ с АВmax=1,5км	АНЧ-3, КОМБИ	изучение ВЧР

Большинство наземных электроразведочных работ выполнено методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) с использованием симметричной четырёхэлектродной установки (установки Шлюмберже).

Значительный объём электроразведочных исследований на месторождении нацелен решение *гидрогеологических* (Пылаев А.М., Комиссаров И.А., Мелехов А.Г., Иконников В.А., Польшгалов Г.С., Ревин А.В.), *инженерно-геологических задач, поисков и разведки месторождений строительного сырья* (Ремаренко М.П.) (рис. 2.3).

В пятидесятые годы партиями треста «Пермнефтегеофизика» в больших объёмах в западной и южной частях месторождения проводились площадные электроразведочные работы методом ВЭЗ с целью *поисков месторождений нефти и газа* (Жалыбин Ф.И., Серов В.К., Грушина Л.В., Семенов А.П.) (рис.2.3). Проводились опытные работы методами на переменном электромагнитном поле (Кавин А.В., Грушин Ф.К.) Электроразведка применялась для выявления структурных поднятий в пермских отложениях.



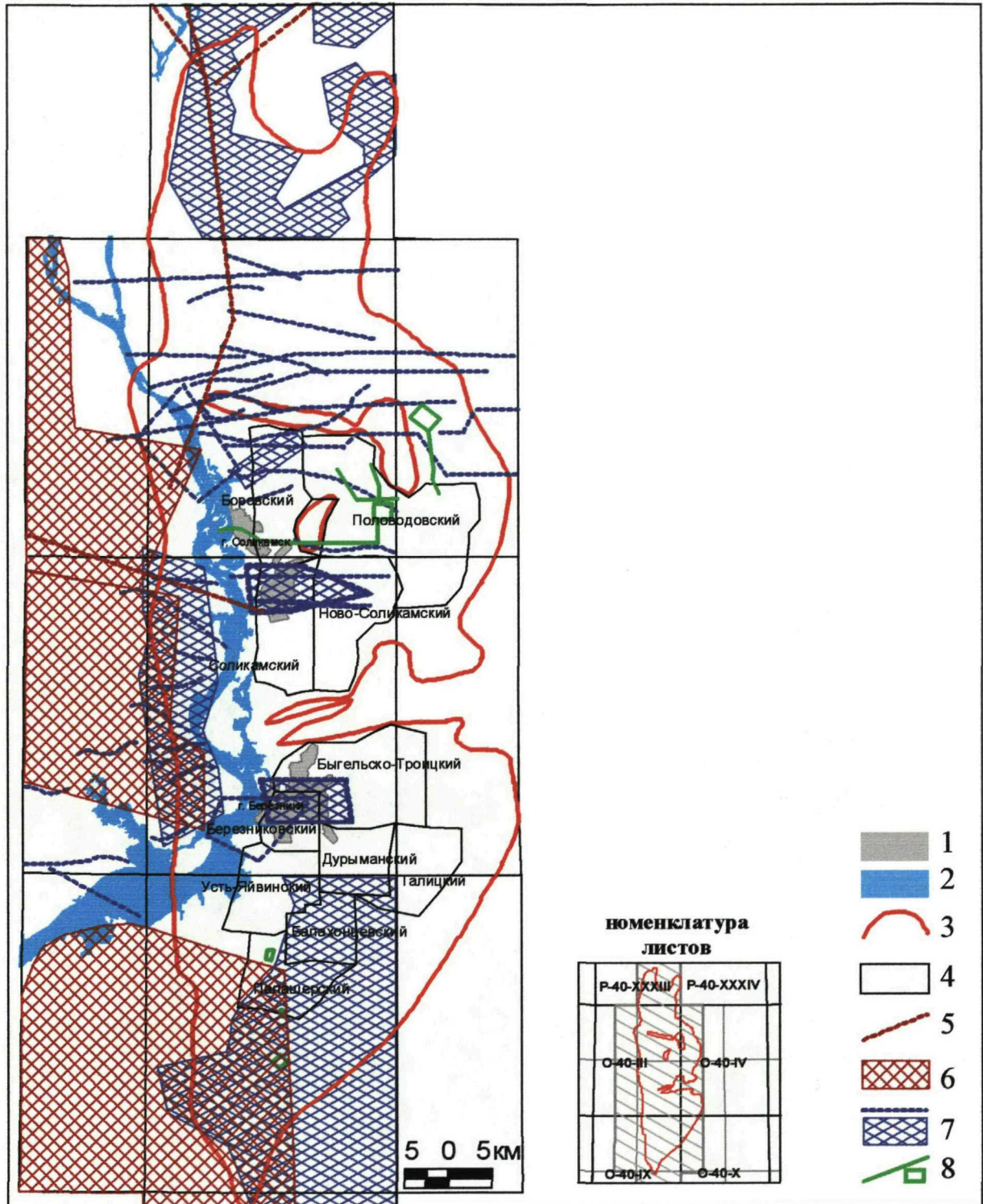


Рис. 2.3 Изученность месторождения электроразведочными работами при гидрогеологических, инженерно-геологических исследованиях, поисках месторождений нефти и газа, строительных материалов:

1 - населённые пункты; 2 - р.Кама; 3 - контур калийной залежи; 4 - границы детально-разведанных участков; 5 - профильные линии работ методами переменных электромагнитных полей при поисках месторождений нефти и газа; 6 - участки работ методом ВЭЗ при поисках месторождений нефти и газа; 7 - участки работ и профильные линии ВЭЗ при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях; 8 - участки работ и профильные линии ВЭЗ при поисках и разведке строительных материалов.

В целях поисков и разведки калийных солей применение электроразведки началось Всесоюзным научно-исследовательским институтом галургии (ВНИИГ) (рис. 2.4).

Это работы СЭП и ВЭЗ по субширотным региональным профильным линиям в северной части месторождения, выполненные М.Н. Порывкиным в 1940 году, и съемки ВЭЗ масштаба 1:25000, проведённые в 1948-1949 годах П.И. Новиковым. Целью работ П.И. Новикова являлось определение глубины залегания кровли соли, определение структуры надсолевой толщи в зонах антиклинальных и синклинальных складок, изучение поверхности минерализованных вод. Несмотря на то, что площадь исследований частично перекрыла Дуринский прогиб, обнаружен он не был потому, что профили наблюдений оказались ориентированными вдоль его оси. Выделенные максимумы кажущихся сопротивлений в надсолевых горизонтах увязывались исполнителями работ с соляными поднятиями, минимумы – с понижениями.

В дальнейшем электроразведка методами ВЭЗ и СЭП входит в геофизический комплекс доизучения калийной залежи. Комплексирование ведётся с гравиметрическими исследованиями. Работы выполняются на локальных участках месторождения, в основном в районе Дуринского прогиба. Это исследования В.Д. Новгородова в 1965 году, Б.Ю. Букина в 1970-72 годах [129]. Электроразведка при этом решала гидрогеологические, структурно-геологические задачи в интервале надсоляной толщи.

Материалы этих электроразведочных работ из-за давности выполнения и использования устаревшей аппаратуры не имеют на сегодняшний день практической ценности.

С 1986 года после аварийного затопления БКПРУ-3 в центральной и южной частях ВКМКС началось проведение *крупномасштабных работ методом ВЭЗ* в целях обеспечения безопасности калийного производства.

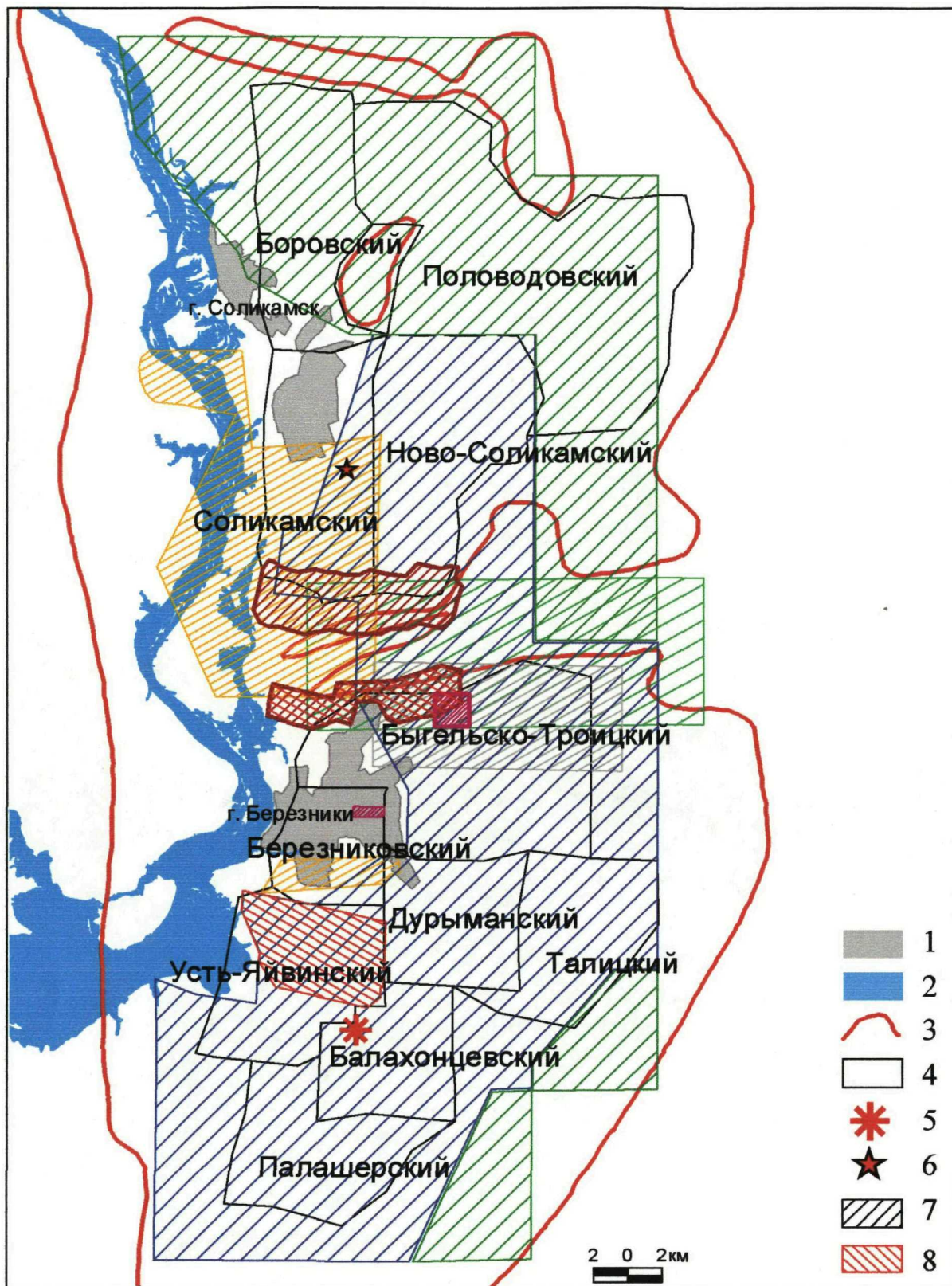


Рис. 2.4 Изученность месторождения электроразведочными работами методом ВЭЗ, выполненными в целях изучения надсоляной толщи при разведке калийной залежи.

1 - населённые пункты; 2 - р.Кама; 3 - контур калийной залежи; 4 - границы детально-разведанных участков; 5 - место образования провала при аварии на БКПРУ-3.; 6 - эпицентр землетрясения и место обрушения пластов на СКПРУ-2; 7 - участки крупномасштабных работ методами сопротивлений; 8 - участки переинтерпретации материалов.

Наиболее значимыми являются площадные съёмки ВЭЗ масштаба 1:50000 (с детализацией на отдельных участках масштаба 1:25000 и 1:10000), проведённые Верхнекамским отрядом геофизической партии Пермской ГРЭ в 1987-1989 [128] и 1990-1991 [167] годах под руководством В.П. Беляева. Эти исследования охватили по площади почти всю центральную часть калийного месторождения, за исключением городов Березники и Соликамск.

В результате работ, выполненных Беляевым В.П., проведено литологическое расчленение четвертичных отложений, откартированы участки техногенного загрязнения высокоминерализованными водами верхней части разреза. Выделены площадные и линейные аномалии электрического сопротивления пород, связываемые с участками минерализованных вод, зонами повышенной трещиноватости в надсоляной толще, на основании чего указаны зоны, в пределах которых требуется повышенная осторожность при ведении горных работ. Выявлен также ряд узких линейных аномалий повышенной проводимости, идентифицируемых с разрывными нарушениями в породах надсоляной толщи, которые распространены в основном в пределах Дуринского и Боровицкого прогибов. Исполнителями работ сделан вывод об эффективности применения метода ВЭЗ для изучения надсоляной толщи. В то же время ими отмечено, что возможно лишь частичное литологическое расчленение разреза надсоляных отложений по данным ВЭЗ. Основным искажающим фактором является наличие гидрохимической зональности в разрезе. Выделенные электрические горизонты часто не соответствуют ни стратиграфическим, ни литологическим границам вследствие резкой дифференциации удельных электрических сопротивлений в пределах одной литологической толщи из-за наличия обводнённости крупных участков и различной минерализации подземных вод.

Съёмки ВЭЗ под руководством Беляева В.П. в связи с широким охватом площади ВКМКС, достижением значительной помехозащищённости, достаточно высоким качеством выполнения полевых

работ, являются на сегодняшний день наиболее значимыми и не теряют своей актуальности. Но существующий во время производства работ теоретический и практический уровень развития средств обработки и интерпретации позволил исполнителям работ выполнить лишь качественную интерпретацию полученных материалов, и то с невысокой достоверностью. Всё это способствует тому, что материалы этих съёмок периодически подвергались переинтерпретации. Анализ и переинтерпретация материалов Беляева В.П. выполнялись Доливо-Добровольским А.В. в 1998 году [159]. При этом широко использованы данные дешифрирования по аэро- и космическим снимкам, а также материалы других видов геофизических исследований. В 2003 году Колесниковым В.П. и Новоселицким В.М. проведена комплексная переинтерпретация материалов электроразведочных и гравиразведочных работ по северной части готовящегося к отработке Усть-Яйвинского участка [153]. При этом также использовались материалы съёмки ВЭЗ под руководством В.П. Беляева.

В 1987-88 годах Цыганковым В.А. выполнено обобщение и переинтерпретация электроразведочных данных разных лет. Собраны все имеющиеся на 1987 год материалы, обеспеченные привязкой – всего 1360 кривых ВЭЗ [168].

Кроме региональных работ на площади месторождения выполнялись также крупномасштабные электроразведочные исследования на отдельных участках.

В 1992-94 годах предприятием "Пермрудгеофизика" выполнены съёмки методом ВЭЗ масштаба 1:25000 в комплексе с гравиразведкой в рамках работ по доразведке северной части Быгельско-Троицкого, южных частей Соликамского и Ново-Соликамского участков Верхнекамского месторождения [162]. По результатам электроразведки зона Дуринского прогиба выделяется субширотной полосой пониженных сопротивлений, связанных с увеличением мощности пёстроцветной толщи. Участки пониженных сопротивлений в СМТ вызваны наличием минерализованных

вод. Зоны повышенного сопротивления привязаны к антиклинальным структурам, слаботрещиноватым карбонатным породам ТКТ. Авторами данных работ также отмечено несовпадение геоэлектрических границ и литологических границ по результатам бурения.

В 1997 году Колесниковым В.П. проведена компьютерная переинтерпретация материалов, полученных предприятием "Пермрудгеофизика" по южной площади работ 1992 года. В результате определена стратиграфическая приуроченность электрических горизонтов и изучены особенности формирования геоэлектрических слоев, выполнено картирование опорных электрических горизонтов и участков смены стратиграфического их положения (вследствие увеличения трещиноватости, замещения состава, закарстованности), выделены области аномально пониженных значений электрических сопротивлений.

В 1997 году Колесниковым В.П. выполнялись работы методом ВЭЗ в северо-западной части шахтного поля БКПРУ-4 по сети 500x100 в комплексе с гравиразведкой. В результате комплексной интерпретации материалов геофизических работ (с привлечением данных малоглубинной сейсморазведки) на этом участке выделены потенциально опасные для отработки участки.

В 2002 году в рамках комплексных геофизических работ Горного Института УрО РАН для изучения верхней части разреза использовался метод ВЭЗ. Выделены участки относительно пониженных электрических сопротивлений, которые использованы при оконтуривании зон пониженных механических свойств в ВЧР на этапе комплексной интерпретации [121].

В разные годы методы постоянного тока использовались при малоглубинных исследованиях для решения *инженерно-геологических и экологических задач*. Осуществлялся контроль целостности противодиффузионного пленочного полиэтиленового экрана на рассолосборниках и очистных сооружениях. Такие работы проводились «Союзгипроводхозом» в 1982-1983 гг. и ВНИИГом в 1989 году при

строительстве БКПРУ-4, ВерхнекамТИСИЗом в 1989 году на БКПРУ-3, ГИ УрО РАН в 2001 году на участке очистных сооружений ОАО «Ависма». В 1997 году сотрудниками Горного Института УрО РАН выполнены комплексные (геохимические и электроразведочные) экологические исследования в районе шламохранилища СКПРУ-3. Установлены места утечек рассолов из шламохранилища.

Наземные электроразведочные исследования применялись также в геофизических комплексах *на аварийных участках*.

В 1986 году, в районе аварии на БКРУ-3, различными организациями (ВНИИГ, ПГО «Уралгеология», трест Верхнекам ТИСИЗ, ПГУ, ППИ, ИГ УНЦ АН СССР) проведён большой комплекс подземных и наземных электроразведочных исследований методами СЭП, ВЭЗ, ДОЗ, ЕП, ИЧЗ, заряда. Одним из первых применен метод ВЭЗ в комплексе с профилированием по методу СГ (Колесников В.П., Королев И.Н., Поносов В.А). В надсолевой части разреза выделена зона аномально повышенной проводимости пород, пересекающая эпицентр места прорыва вод. Результаты СЭП показали наличие перекрещивающихся диагональных линеаментов над аварийным участком.

В 1995 году непосредственно после обрушения пород на территории шахтного поля СКРУ-2 с целью контроля динамики физического состояния надсолевых отложений организованы мониторинговые наблюдения методом ВЭЗ по профилю, пересекающему зону обрушения. В результате интерпретации материалов этих наблюдений Колесниковым В.П. выявлено послойное пространственно-временное изменение физических свойств пород, залегающих в интервале глубин от земной поверхности до верхней части ПКС [145]. Обнаружены заметные изменения геоэлектрического разреза, отражающие процессы трещинообразования, смещения породных масс и водообмена.

В 1999 году в связи с провальными явлениями, наблюдавшимися в приповерхностной части разреза поселка Новая Зырянка, Колесниковым В.П.

выполнены малоглубинные (до 30-40 м) наблюдения методом ВЭЗ. Определены признаки проявления в геоэлектрическом разрезе участков с провалами, по которым выполнено прогнозирование потенциально опасных по провальным явлениям зон.

Помимо электроразведочных работ методами постоянного тока на месторождении проводились опытные исследования по опробованию других методов и методик. Это незначительные по объему опытные работы по применению электромагнитных методов – частотного зондирования, зондирования становлением поля и магнитотеллурического зондирования (Комиссаров И.А., Фролович М.Г., Кавин А.В., Карпов В.Д., Грушин Ф.К., Титлинов В.С., Я. Киш, Задорожная В.Ю, Колесников В.П.).

*Шахтные электроразведочные исследования до аварийного затопления БКПРУ-3 на рудниках ВКМКС проводились лишь в небольших объёмах. Для уточнения мощности ВЗТ ВНИИГом использовался метод дипольного электрического зондирования (Пушкарёв В.В., Парфёнов В.Б.).*

Производственные шахтные электроразведочные работы начались в 1986 году с момента образования геофизического участка подземной геологоразведочной партии ПО «Уралкалий». Первоначально работы выполнялись методом дипольного осевого зондирования (ДОЗ). Одновременно велся поиск информативных методик других методов электроразведки (СГ, ЕП, съёмка установкой (АНВ)fixM), которые сначала использовались в комплексе с ДОЗ, а впоследствии вытеснили его как более дешёвые и не уступающие в информативности. Условия, определённые для эффективного проведения ДОЗ, оказались практически невыполнимыми на калийных рудниках. В процессе производственных (УПБГРР ОАО «Уралкалий») и опытно-методических (ГИ УрО РАН) работ выявлены следующие недостатки метода ДОЗ: невозможность определения положения кровли ВЗТ, неопределённость пространственного положения выявленных аномальных зон, отсутствие повторяемости результатов [151, 152]. Эти же



недостатки присущи и остальным применяемым в те годы методам, но последние оказались более дешёвыми и мобильными.

В 1997-99 годах Колесниковым В.П. выполнены работы по совершенствованию методического и интерпретационного обеспечения шахтной и наземной электрометрии [143]. В результате создана «Временная инструкция ...» [133], на основании которой с 2003 года выполняются шахтные электроразведочные работ на рудниках ОАО «Уралкалий». Основное внимание уделено созданию комплекса взаимодополняющих наземных и подземных методов электроразведки, а также разработке способов повышения информативности. Разработанные методики позволяют: осуществлять зондирование околоштрекового пространства, вести опережающую разведку проходки штрека, осуществлять межштрековое просвечивание; выполнять оценку анизотропных свойств соляных пород, проводить векторные измерения поля, наземно-подземное просвечивание, получать количественную информацию о геоэлектрическом разрезе надсолевых и солевых отложений, осуществлять численное трехмерное моделирование электрических полей.

На сегодняшний день шахтные электроразведочные работы выполняются по всем разведочным и подготовительным выработкам рудников месторождения.

Гравиметрические исследования на ВКМКС начаты в 30-е годы XX века.

Основные сведения о выполненных на месторождении гравиметрических работах сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

#### Геофизическая изученность района ВКМКС (гравиразведка)

№	Исполнитель	Год	Вид работ, масштаб съёмки	Метод, аппаратура	Цели и задачи исследований
1	2	3	4	5	6
1	Геолком, Нумеров Б.В.	1926-1929 гг.	профильные	варнометрия	картирование кровли солей
2	Геолком, Самсонов И.И.	1927 г.	профильные	варнометрия	картирование кровли солей

1	2	3	4	5	6
3	Геолком, Алексеев С.И.	1928, 1930 гг.	1:50000, профильные	вариометрия	картирование кровли солей
4	Геолком, Журавлёв А.А.	1929 г.	профильные	вариометрия	картирование кровли солей
5	ЦНИГРИ, Пылаев А.М.	1938 г.	маршрутные	вариометрия	картирование кровли солей
6	Пермнефтегеофизика, Голомб В.Э.	1951 г.	1:200000	кварцевый гравиметр	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
7	Пермнефтегеофизика, Леонова Е.И.	1952 г.	1:200000	гравиметр Норгарда	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
8	Северозападный ГРТ, Маламуд Г.М.	1953 г.	маршрутные	ВИРГ-СН-3	опытные, оконтуривание соляной залежи
9	Пермнефтегеофизика, Балалаев В.И.	1954-1955 гг.	1:200000	гравиметр Норгарда	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
10	Северозападный ГРТ, Кедрова Н.К.	1954 г.	маршрутные	гравиметр Норгарда	опытные, оконтуривание соляной залежи
11	Пермнефтегеофизика, Худяков Г.С.	1960-1961 гг.	1:200000	ГАК	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
12	Пермнефтегеофизика, Артемьева Г.С.	1961-62, 1965 гг.	1:200000, профильные	ГАК-3М, ГАК-4М, ГАК-7Т	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
13	Пермнефтегеофизика, Быков А.В.	1965 г.	1:50000, профильные	ГАК-4М и ГАК-7Т	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
14	ПКГРЭ, Букин Б.Ю.	1966-1971 гг.	1:50000, 1:25000, профильные	гравиметрия, вариометрия	структурно-геологические, гидрогеологические
15	Пермнефтегеофизика, Комаров Е.К.	1966 г.	профильные	ГАК-7Т, 4В	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
16	Пермнефтегеофизика, Клестов Ю.И.	1967-1969 гг.	профильные	ГАК-7Т	изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
17	Пермнефтегеофизика, Белецкая Л.А.	1972-1973 гг.	1:50000		изучение соляной залежи, поиски рифов
18	ПКГРЭ, Петров А.К.	1974-1979 гг.	1:25000	ГАК-7Т	структурно-геологические, изучение соляной залежи
19	Пермнефтегеофизика, Павлова Л.П.	1978-1988 гг.	профильные		изучение тектоники, поиски нефтеносных структур
20	Уралгеология, Нояксова Л.Д.	1986-1990 гг.	1:25000	ГНУ-КС	структурно-геологические, изучение соляной залежи
21	ПКГРЭ, Петров А.К.	1987-1988 гг.	1:10000	ГНУ-КС	опытные, изучение соляной залежи
22	ГП "Пермрудгеофизика"	1990-1995 гг.	1:50000	ГНУ-КС	структурно-геологические
23	ГП "Пермрудгеофизика"	1992-1995 гг.	1:25000	ГНУ-КС	изучение калийной залежи
23	ГИ УрО РАН, Новоселицкий В.М.	с 1987 г.	профильная, 1:10000, 1:25000	ГНУ-КВ, ГНУ-КС, SCINTREX SG-3М, наземная, НППС, векторная обработка	изучение соляной и надсоляной толщ, поиски и разведка нефти
24	ГИ УрО РАН, Новоселицкий В.М.	1991, 2003 г.	переинтерпретация	векторная обработка	изучение соляной и надсоляной толщ

Первые работы включали в себя *вариометрическую съёмку* и проводились с целью картирования кровли соляной толщи на стадии поисков

калийных солей (Александров С.Е., Нумеров В.В., Самсонов Н.Н., Алексеев С.И., Журавлев А.А.) (рис.2.5). По данным вариометрических съёмок, проведённых в 1926-29 годах, Алексеевым С.И. построена прогнозная структурная карта по кровле солей.

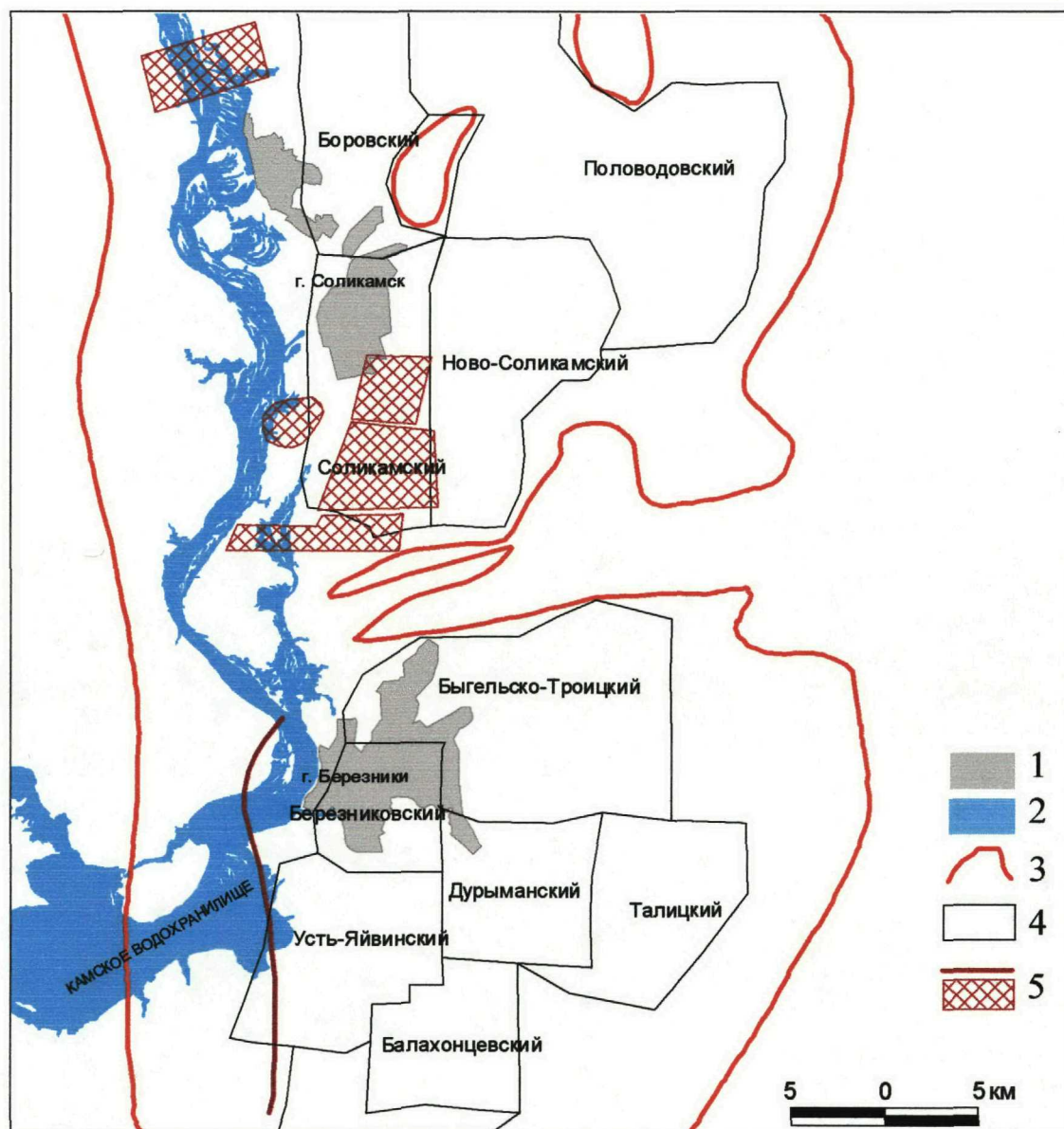


Рис. 2.5. Изученность месторождения вариометрическими работами, выполненными с целью картирования кровли соляной залежи:

1 - населённые пункты; 2 - р. Кама; 3 - контур калийной залежи; 4 - границы детально-разведанных участков; 5 - профильные линии и участки вариометрических работ

Сделан вывод о возможности выявления подъёмов соли по минимумам  $\Delta g$  и погружений соли по максимумам  $\Delta g$ . В 1931 году Соликамским

калийным трестом по результатам этих работ получена сводная карта поверхности соляной залежи. Показано, что зависимость силы тяжести от мощности надсолевых осадков обеспечивает при спокойном рельефе и достаточной густоте точек наблюдений точность определения глубины залегания кровли соляной толщи в среднем до 10 метров. Это обосновало дальнейшее применение гравиразведки при картировании кровли соляной залежи.

В 1938-39 годах Пылаев А.М. и Итесъ В.В. проводили маршрутную вариометрию. Ими также подтверждена целесообразность использования гравиразведки при изучении рельефа кровли солей между опорными скважинами.

Следующим (послевоенным) этапом гравиметрических исследований на ВКМКС являются наблюдения *с гравиметрами*. В основном, это гравиметрическая съёмка *масштабов 1:200000 и 1:50000*, которая выполнялась большей частью конторой (объединением) «Пермнефтегеофизика» с целью изучения тектоники и выявления нефтеносных структур (рис.2.6). В 1951 году В.Э. Голомб впервые провел измерения силы тяжести с помощью кварцевого гравиметра. Это съёмки масштаба 1:200000, точность измерений отвечала двухмиллигальной съёмке. Эти работы продолжены Леоновой Е.И., Балалаевым В.И..

С 1960 года начинается внедрение новых гравиметров типа ГАК. В 1960-62 годах Худяков Г.С. и Аксенова Д.А. выполняют гравиметрические съёмки масштаба 1:200000. Ими околонтурена соляная залежь, установлено увеличение силы тяжести к востоку. В 1961-62 годах Артемьева Г.С. выполняет съёмки масштаба 1:200000. Установлена полоса сгущения изоаномал на западе, вызванная выклиниванием солей и наличием структурной ступени в осадочном чехле.

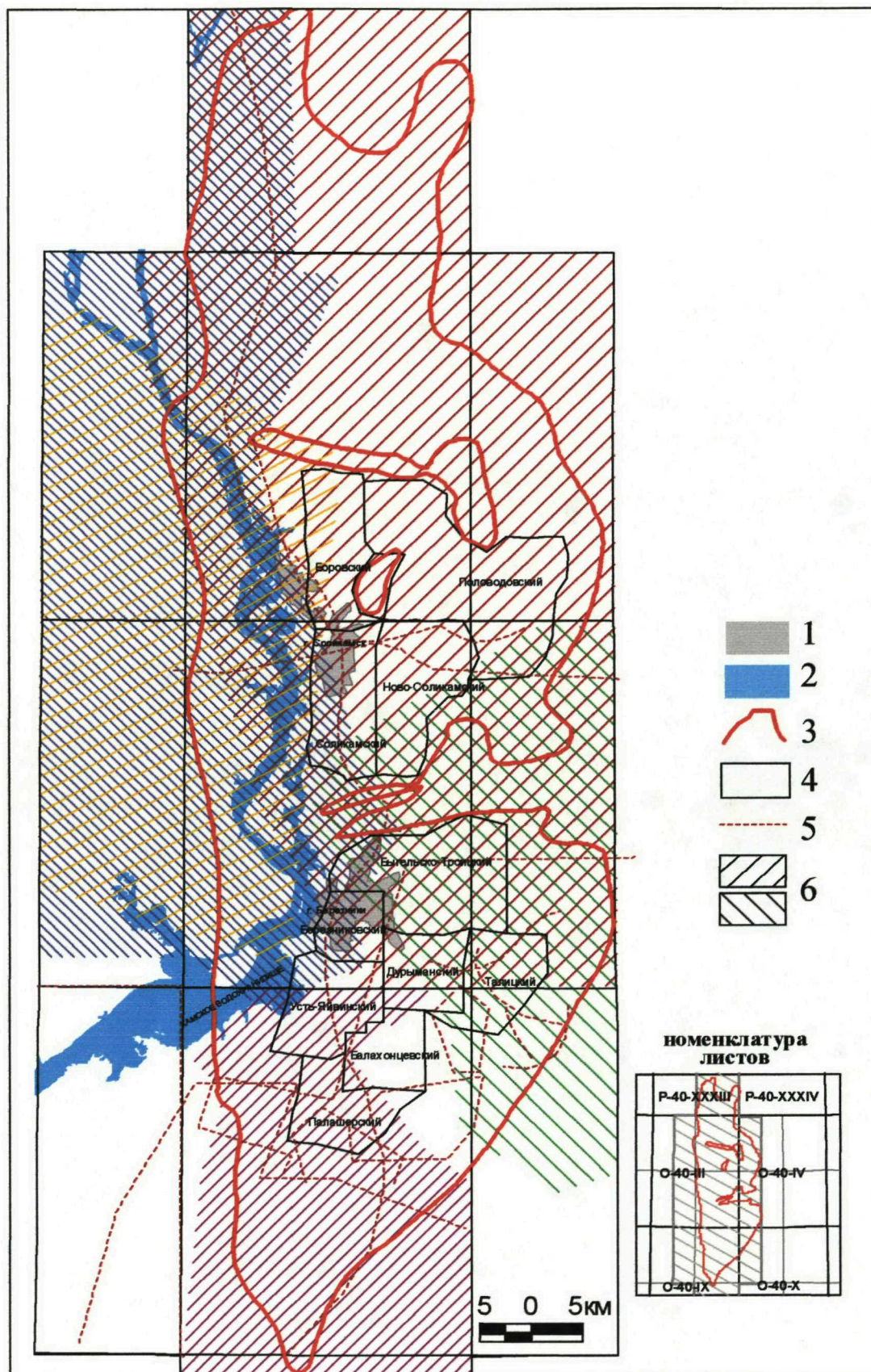


Рис. 2.6. Изученность месторождения гравиметрическими работами, нацеленными на поиски и разведку месторождений нефти:

1 - населённые пункты; 2 - р.Кама; 3 - контур калийной залежи; 4 - границы детально-разведанных участков; 5 - профильные линии; 6 - участки площадных гравиметрических работ

В 1961-62 годах С.И. Шихов проводит обобщение всех гравиметрических съемок прошлых лет с составлением сводных карт аномалий силы тяжести в редукции Буге (с плотностью  $2,3 \text{ г/см}^3$ ) в масштабах 1:200000 и 1:500000.

Таким образом, гравиметрические съемки масштаба 1:200000 на территории ВКМКС завершены к 1962 году. Их результаты оказали существенную помощь геотектоническому районированию северной части Предуральяского прогиба. По материалам этих работ район Верхнекамского месторождения отображается минимумом силы тяжести, осложняющим региональную аномальную зону Предуральяского краевого прогиба. Материалы этих съемок послужили основой для государственного издания гравиметрических карт масштаба 1:200000 в редукции Буге (с плотностью  $2,3 \text{ г/см}^3$ ).

В 1961-66 годах партиями треста «Пермнефтегеофизика» проводится гравиметровая съемка масштаба 1:50000 с целью поисков рифовых массивов и погребенных антиклинальных структур, а также профильная детальная съемка с целью трассирования Камско-Кинельской зоны прогибов. Это работы А.Ф. Быкова, Е.К. Комарова, Г.С. Артемьевой, Шихова С.А.. Дальнейшие гравиметрические работы в целях поиска и разведки месторождений нефти выполняются в основном в профильном варианте или площадные на локальных участках (Клестов Ю.И., Белецкая Л.А., Павлова Л.П., Мавричев В.Г., Новоселицкий В.М.) [149].

В шестидесятых годах возобновлено выполнение гравиметрических работ в целях доразведки калийного месторождения (рис.2.7). В основном это работы в краевых частях месторождения (Новгородов В.Д., Букин Б.Ю., Петров А.К.). В 1966-71 годах Букиным Б.Ю. в результате гравиметрических работ масштаба 1:50000 составлена прогнозная структурная карта Дуринского прогиба и предварительная – Боровицкого. В 1970-71 годах он же проводит комплексные гравиметрические и электроразведочные съемки,

профильные и масштаба 1:25000 на Быгельско-Троицком участке. В борту Дуринского прогиба намечены гравитационные ступени, рассматривающиеся как флексуры в солях. Ряд гравитационных аномалий объясняется разуплотнением пород в зонах трещиноватости. Предполагается блоковое строение прогиба с субмеридиональными границами блоков.

В 1974-78 годах Петров А.К. ведёт гравиметрические съёмки масштаба 1:25000. Достигнутая точность  $\pm 0,12$  мГал. Выявлено или уточнено в плане положение ряда отрицательных и положительных структур по кровле соли. По данным гравиметрии чётко выделен и прослежен на протяжении 45 километров Камско-Вишерский соляной вал, осложнённый в южной части разрывом. По данным гравиметрической съёмки и буровых скважин построена карта кровли соляной залежи.

В 1986 году после аварии на БКРУ-3 в пределах аварийного блока проведёны гравиметрические работы трестом «Пермнефтегеофизика» по 9 профилям. Составлены карты локальных аномалий и расчётных значений изогипс по кровле соляной толщи.

Аварийное затопление БКРУ-3 выявило необходимость доразведки всей площади калийного месторождения, включая детально разведанные и резервные участки. На первый план перед гравиразведкой встали задачи изучения соляной и надсоляной толщ с целью обеспечения безопасности горных работ на калийных рудниках. Выполняются крупномасштабные гравиметрические съёмки на больших площадях (Нояксова Л.Д) и работы на локальных участках (Петров А.К., Веселкова Н.В.).

В 1987-88 годах при детальной разведке Усть-Яйвинского участка выполнена гравиметрическая съёмка масштаба 1:10000 в комплексе с магнитной съёмкой масштаба 1:5000 с целью определения разрешающих возможностей методов для оценки строения и состава надсоляной толщи (Петров А.К.). Сделан вывод о геологической эффективности применения гравиметрической съёмки для изучения соляной и надсоляной толщи, особенно в сочетании с методами электроразведки и сейсморазведки [161].

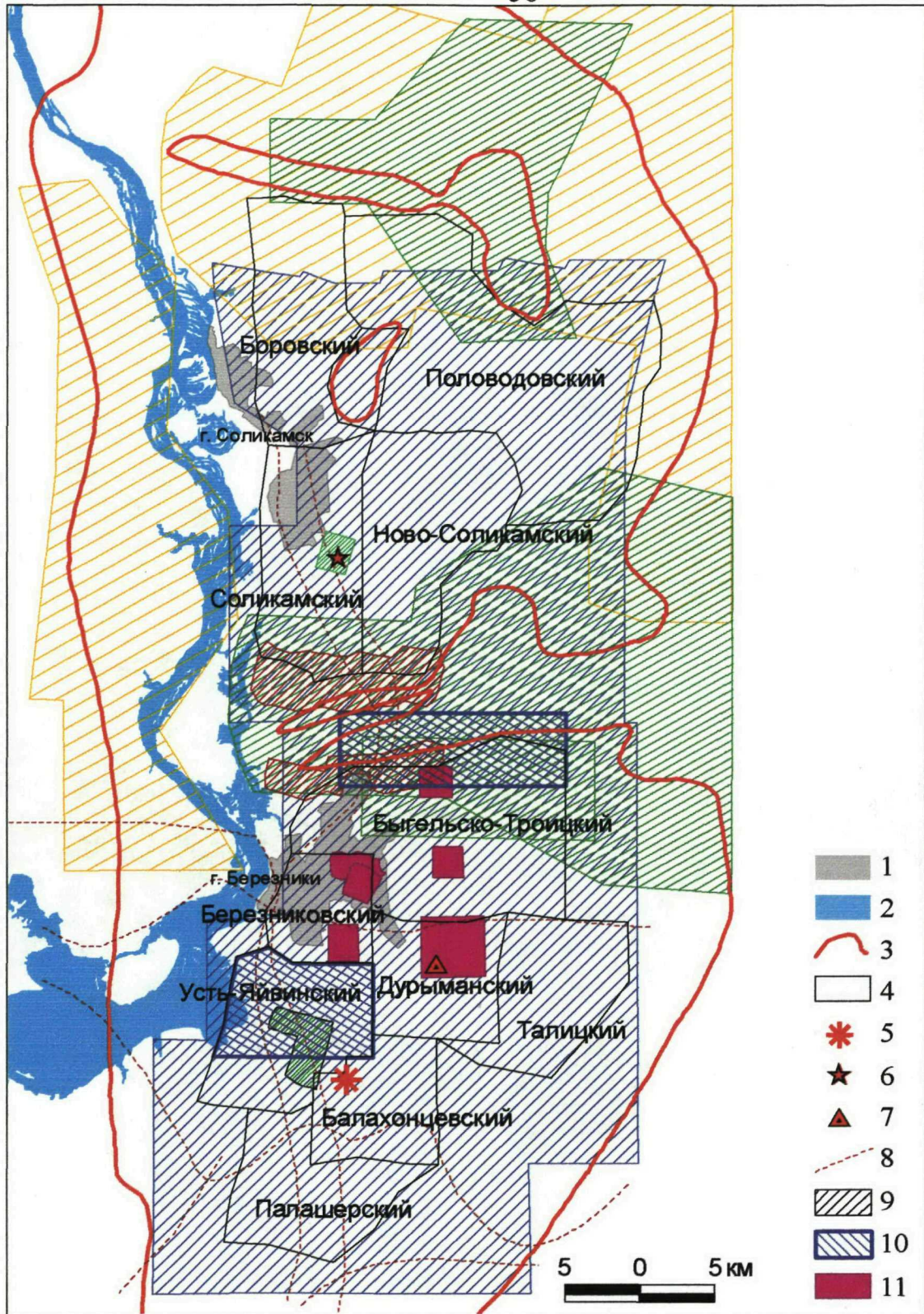


Рис. 2.7. Изученность месторождения гравиметрическими работами, нацеленными на исследование калийной залежи:

1 - населённые пункты; 2 - р. Кама; 3 - контур калийной залежи; 4 - границы детально-разведанных участков; 5 - место образования провала при аварии на БКПРУ-3; 6 - место обрушения пластов на СКПРУ-2; 7 - эпицентр землетрясения на шахтном поле БКПРУ-2; 8 - профильные линии; 9 - участки крупномасштабных работ; 10 - участки переинтерпретации материалов крупномасштабных работ; 11 - участки проведения наземно-подземной гравиметрической съёмки



В 1986-90 годах Нояксовой Л.Д. на центральной и южной частях ВКМКС выполняется четвертьмиллигальная съёмка масштаба 1:25000. На основе этой съёмки составлена кондиционная гравиметрическая карта масштаба 1:25000 в редукции Буге с плотностью  $2,30 \text{ г/см}^3$ . На площадь месторождения (с привлечением материалов А.К. Петрова) составлена гравиметрическая карта масштаба 1:50000. Интерпретация проводилась в комплексе с другими геофизическими методами и данными бурения. В результате построена карта поверхности покровной каменной соли с точностью до 16 метров (по данным исполнителей работ), уточнены контуры крупных купольных структур соленосной толщи, оконтурены ядра рифовых построек в подсолевых отложениях, выделены участки возможного развития ослабленных зон [158].

В 1992-95 годах предприятием "Пермрудгеофизика" в районе Дуринского прогиба выполнены площадные гравиметрические работы масштаба 1:25000 в комплексе с электроразведкой методом ВЭЗ [162]. На отчётных картах отражены основные структурные элементы. Построена карта кровли соляной залежи. Оценённая исполнителями работ средняя погрешность построений составила  $\pm 17$  метров (на отдельных участках до 50 метров).

Параллельно с гравиразведочными работами по доизучению калийной залежи выполняются исследования, относящиеся к эксплуатационной разведке (Новоселицкий В.М.). Задачами ставятся выявление плотностных неоднородностей в водозащитной толще и отслеживание изменений состояния горного массива под воздействием горных работ. Эти исследования отличаются выполнением съёмок в наземно-подземном варианте и новыми подходами в обработке и интерпретации.

В 1987-88 годах Новоселицким В.М. проведены опытно-методические подземные и наземно-подземные гравиметрические наблюдения на БКПРУ-4 [151, 152]. С этого времени в пределах действующих рудников периодически выполняются наземные и наземно-подземные гравиметрические съёмки

(НПГС) с применением векторной обработки. Данные исследования проводились, в основном, на аварийных и потенциально опасных участках. В 1995 и 1998 годах в зоне обрушения пород на СКРУ-2 выполнялась наземная площадная гравиметрическая съёмка масштаба 1:10000. По диаграммам и картам восстановленного поля проведён сравнительный анализ материалов 1995 и 1998 годов. Наземно-подземная съёмка выполнялась: в 1997 году на севере БКПРУ-4 в комплексе с электроразведкой; в 1998 и 2004 годах на территории многоэтажной застройки города Березники; в 1998 в районе сейсмического явления 1997 года на шахтном поле БКПРУ-2; в 1999 на опытном участке БКПРУ-4; в 2001 и 2005 годах на юго-востоке шахтного поля БКПРУ-1 в районе п. Н.Зырянка.

Повышение информативности гравиразведочных работ, достигнутое в результате применения векторной обработки, и усовершенствование физико-геологической модели месторождения, обосновывают проведение переинтерпретации материалов выполненных ранее крупномасштабных гравиразведочных работ. Такая переобработка и переинтерпретация материалов Нояксовой Л.Д. выполнены в 1991 году в районе южного борта Дуринского прогиба, в 2003 году по северной части готовящегося к отработке Усть-Яйвинского участка (Новоселицкий В.М.). С использованием результатов переинтерпретации выделены зоны, требующие повышенного внимания при производстве горных работ.

**Сейморазведочные работы** на ВКМКС по цели можно разделить на два вида: изучение особенностей строения подсолевых отложений; изучение особенностей строения над- и солевых отложений. Эти работы различаются сейсмогеологическими моделями объектов исследований, и, соответственно, системами наблюдений и методами цифровой обработки и интерпретации данных.

Основные сведения о наземных сейморазведочных работах на месторождении сведены в таблице 2.4.

### Геофизическая изученность района ВКМС (наземная сейсморазведка)

№	Исполнитель	Год	Вид работ	Метод	Цели и задачи исследований
1	ЦНИИГ, М.А. Балдин	1936 г.	профильные	КМПВ, МОВ	картирование кровли солей, детализация данных гравиразведки
2	ГГУ, П.С. Польгуев	1939 г.	профильные	КМПВ	картирование кровли солей, инженерно-геологические
3	ВНИИГ, П.И. Новиков	1951-1953 г.	профильные	КМПВ, МОВ	картирование кровли и подошвы солей
4	ЛКГРЭ, ВНИИГ, Г.М. Маламуд, Н.К. Кедрова, Ф.И. Гескин	1953-1955 г.	профильные	КМПВ	картирование кровли и подошвы солей, опытно-методические по разработке геофизического комплекса
5	«Пермнефте- геофизика»	с 1961 г.	2-D 3-D	МОГТ, взрывные и вибрационные источники. МСК, ВСП.	поисково-разведочные на нефть и газ
6	«Пермнефте- геофизика»	1986 г.	профильные	МОГТ, МПВ, ВСП	изучение зоны аварии на БКРУ-3
7	Баженовская ГЭ Ю.П. Меньшиков	1987-1990 г.	профильные	МОГТ, вибрационные источники. Межскважинное просвечивание. Подземная сейсморазведка МОГТ	опытные
8	ВНИИГеолнеруд П.М. Тиханов	1988 г.	профильные	ПССП	опытные
9	ГИ УрО РАН, «Пермнефте- геофизика»	1988 г.	профильные	МОГТ, уплотнённая система набл., взрывные источники. МСК	опытные
10	ГИ УрО РАН, И.А. Санфиоров	с 1990 г.	профильные и площадные	невзрывная малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения по методике общей глубинной точки	изучение соляной и надсоляной толщ, параметрическое обеспечение геомеханических расчётов, инженерно-геологические задачи.
11	ГИ УрО РАН, И.А. Санфиоров	2000 г.	3-D	невзрывная малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения по методике общей глубинной точки	изучение соляной и надсоляной толщ

Сейсморазведочные работы, нацеленные на поиски нефти и газа на площади ВКМС, ведутся, начиная с 1961 года, в основном трестом «Пермнефтегеофизика» (рис.2.8).

Основу интерпретационной сейсмогеологической модели сейсморазведки на нефть и газ составляют опорные отражающие горизонты, приуроченные к границам литолого-стратиграфических комплексов:

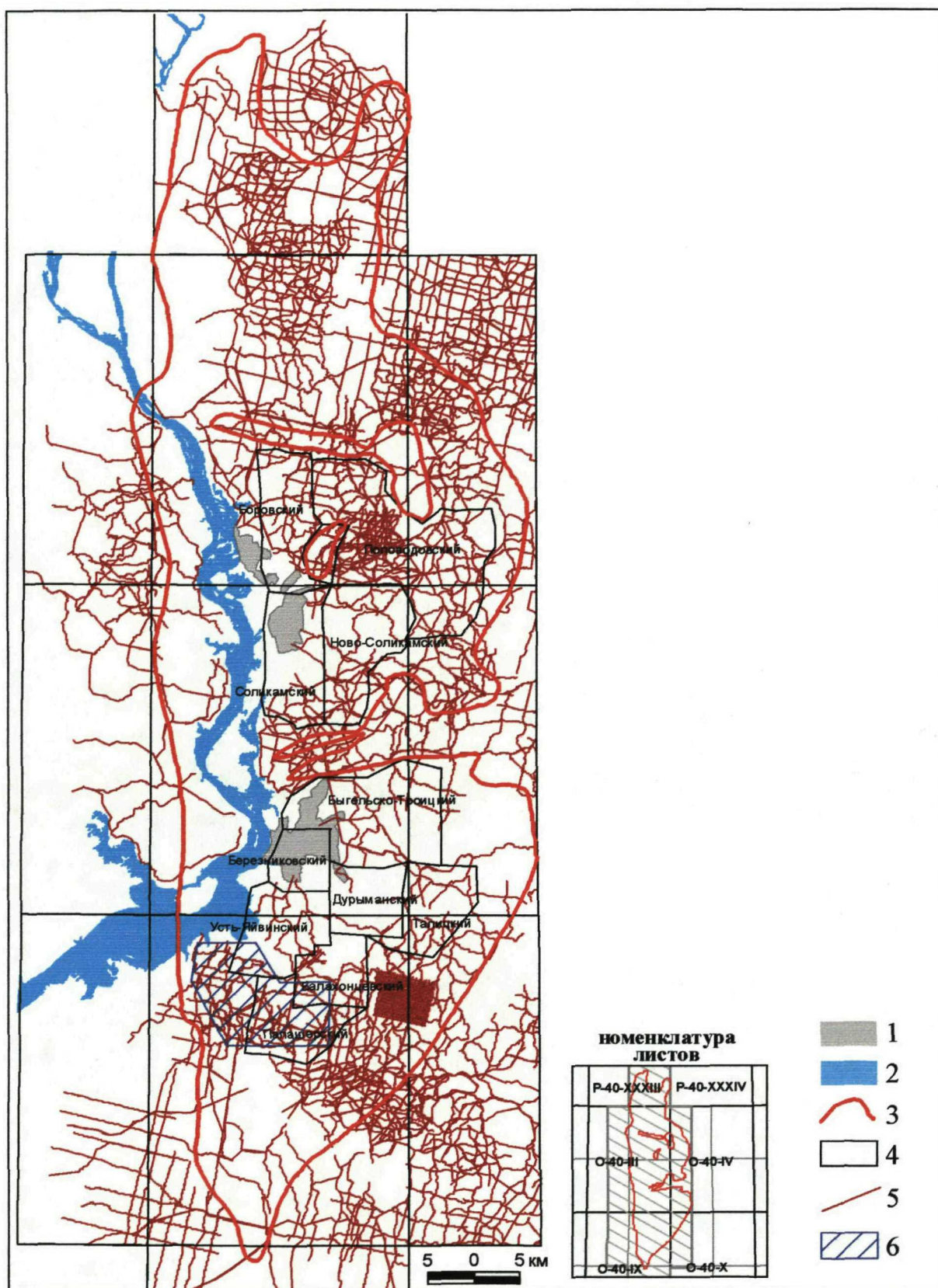


Рис. 2.8. Изученность месторождения сейсморазведочными работами, нацеленными на поиски и разведку месторождений нефти и газа:

1 - населённые пункты; 2 - р. Кама; 3 - контур калийной залежи; 4 - границы детально-разведанных участков; 5 - профильные линии сейсморазведки МОГТ; 6 - площадь переинтерпретации в целях изучения соляной толщи (Спасский Б.А., 2001)

подошва соленосной толщи (С), кровля артинского яруса (Ат); кровля артинских карбонатных пород (Ак); кровля отложений башкирского яруса (I); кровля терригенных пород тульского горизонта (II); кровля карбонатных отложений турнейского (IIa) яруса; поверхность фаменских и турнейских отложений (III); кровля терригенных пород кыновского горизонта (III); поверхность кристаллического фундамента (Ф).

Значительный прирост результативности сейсморазведочных исследований связан с внедрением в практику их проведения в конце 70 –х годов методики общей глубинной точки (МОГТ).

Методика проведения полевых работ за прошедшие годы претерпела существенные изменения. Для наблюдений «2D» применялись центральные и ассиметричные от 12 до 60 – кратные системы наблюдений, с взрывными интервалами от 25 до 100 метров, и длиной годографа 2375-4850 метров. В качестве источника возбуждения упругих колебаний использовались: взрывы тротиловых зарядов в одиночных и группах мелких скважин, линии детонирующего шнура, газодинамические установки и сейсмические вибраторы. Регистрирующая аппаратура видоизменялась от аналоговых сейсмостанций до цифровых телеметрических систем. Всего сейсморазведкой МОГТ отработано более 8000 погонных километров сейсмопрофилей.

Кроме того в 1998–2001 годах на Сибирском и Шершневском месторождениях выполнена пространственная сейсморазведка «3D» на площади 90 км<sup>2</sup>.

Сейсмическими исследованиями в пределах ВКМКС закартировано более 20 нефтеперспективных объектов.

В последние годы сотрудниками ОАО «Пермнефтегеофизика» проводились опытно-производственные исследования с целью создания структурных карт кровли солей по данным нефтяной сейсморазведки. Вначале Б.А. Заварзин, а затем М.А. Нурсубин в 1999 - 2000 годах выполнили такие построения на Романовской и Южно-Яшинской площадях.

Эти работы затруднены малой глубиной (для систем наблюдения нефтяной сейсморазведки) залегания соляной толщи и её сложным геологическим строением. Исследования продолжены в этом направлении Спасским Б.А. (Пермский государственный университет) в 2001 году, позволили получить некоторую дополнительную информацию: уточнено строение кровли и подошвы соляной толщи в районе Белопащинского и Шершнёвского поднятий; осуществлено картирование зон возможного разупрочнения пород на территории Шершнёвского, Белопащинского и Сибирского поднятий, которые могут вызвать осложнения при разработке солей.

В сейсморазведочных работах, направленных на изучении разреза калийной залежи (рис.2.9) можно выделить два этапа.

Первый охватывает 1930-70 годы и характеризуется применением упрощенных методик. Второй начинается в 1980-х годов и продолжается по настоящее время. Для него свойственно применение наиболее информативной методики многократных перекрытий, как с поверхности, так и в горных выработках.

Сейсморазведочные работы при поисках калийных солей в небольших объёмах на территории ВКМКС начали проводиться с 1936 года в основном методами преломленных волн и однократного профилирования отраженными. К числу первых подобных работ относятся исследования М.А. Балдина в 1936 году на Первом калийном руднике. Использовались МОВ и КМПВ для детализации результатов гравirazведки. Выделена кровля покровной каменной соли (ПКС) и подтверждена вероятность наличия сброса, предполагаемого по данным гравirazведки. Польгуевым П.С. в 1939 году с помощью КМПВ оценивалось положение кровли ПКС и решались вопросы инженерной геологии. По результатам построена структурная карта ПКС на небольшом участке.

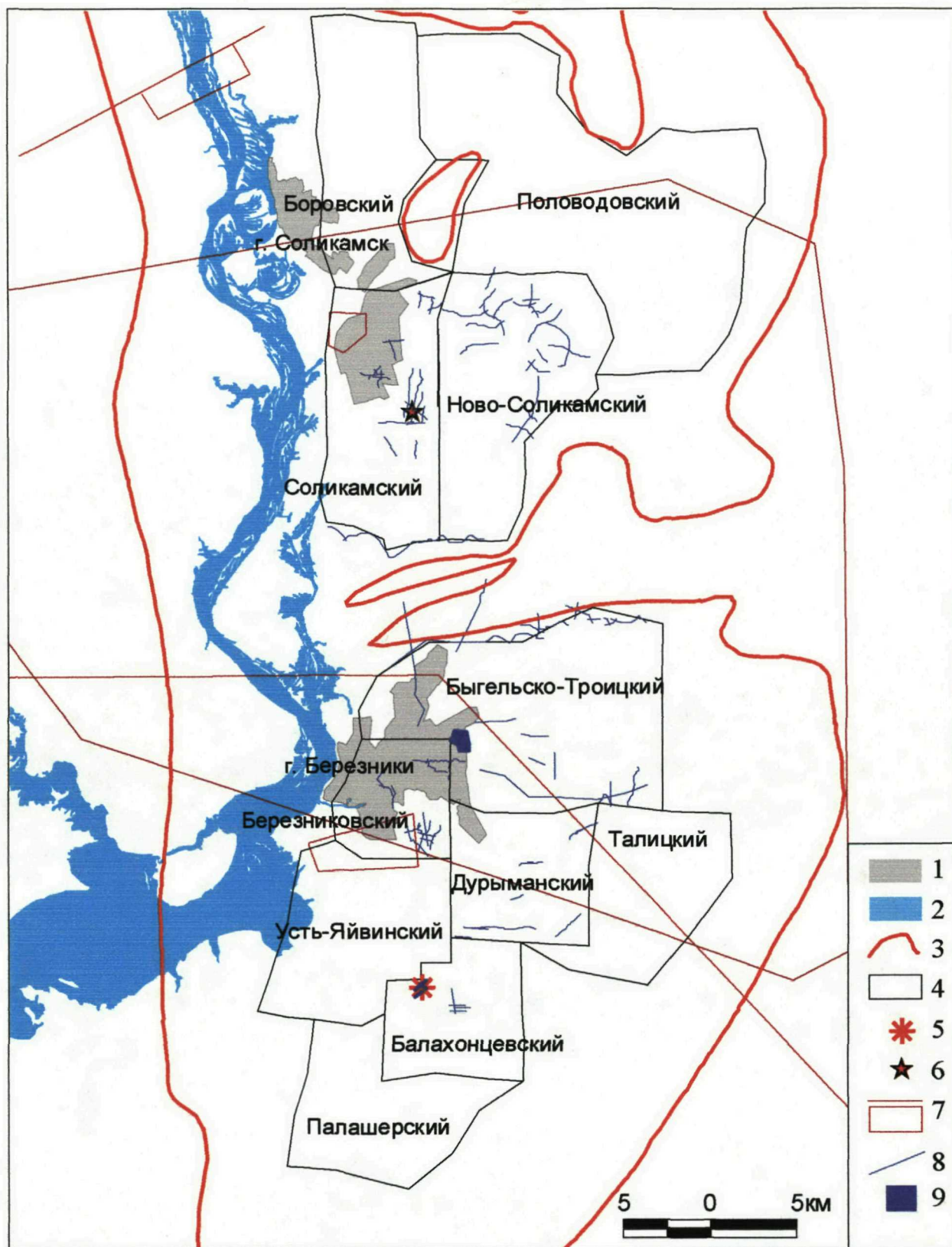


Рис. 2.9. Изученность месторождения сейсморазведочными работами, нацеленными на исследования калийной залежи:

1 - населённые пункты; 2 - р.Кама; 3 - контур калийной залежи; 4 - границы детально-разведанных участков; 5 - место образования провала при аварии на БКПРУ-3; 6 - место обрушения пластов на СКПРУ-2; 7 - профильные линии и контуры участков сейсморазведочных работ 40-60х годов; 8 - профильные линии малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения; 9 - участок проведения сейсморазведки 3-D

В 1951-53 годах Новиковым П.И. с целью картирования кровли и подошвы соляной залежи выполнены работы МОВ и КМПВ. Точность определения кровли соли по сравнению с данными бурения составила 2-9%. Эти работы показали принципиальную возможность применения сейсморазведки при изучении соляной залежи.

В 1953-55 годах Маламудом Г.М., Кедровой Н.К. и Гескиным Ф.И. выполнялись опытно-методические исследования по разработке рационального комплекса геофизических исследований на этапе поисков и разведки калийных солей. В число оцениваемых методов включалась и сейсморазведка КМПВ. Сделан вывод о нерентабельности изучения соляной и надсоляной толщи сейсморазведкой из-за высокой стоимости и неразработанности методик. В этой связи до 1986 года для изучения калийной залежи в основном применялись грави- и электроразведочные методы.

На месте аварии на БКРУ-3 трестом «Пермнефтегеофизика» в 1986 году пройдено 5 сейсмических профилей МОГТ над аварийным блоком 8, общей протяженностью 12 км. В дополнение к наземным сейсморазведочным исследованиям проведены вспомогательные работы по изучению верхней части разреза (МПВ) и вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП). По данным цифровой обработки с разной степенью надёжности выделены четыре горизонта: кровля СМТ; кровля соляной толщи; подошва соляной толщи; кровля пород артинского яруса.

В 1987-90 годах Меньшиков Ю.П. проводил опытные работы по изучению возможностей наземной невзрывной сейсморазведки. В результате этих работ плохо выделялась кровля солей, но зато более успешно – отражающие площадки в надсолевой толще. В 1988 году Тиханов П.М. опробовал в южной части БКПРУ-4 послойное сейсмоскоростное профилирование (ПССП).

В рамках работ по обоснованию комплекса геофизических исследований в 1988 году по методике и под руководством Горного



института на территории шахтного поля БКПРУ-4 проведены опытные сейсморазведочные наблюдения [151]. Полевые наблюдения выполнены объединением «Пермнефтегеофизика». Работы включали сейсморазведку МОГТ и микросейсмокаротаж. Применение уплотнённой системы наблюдений (нестандартной для нефтяной сейсморазведки) позволило получить качество материала, достаточное для интерпретационных выводов.

В 1991-93 годах Санфировым И.А. выполнен анализ материалов нефтяной сейсморазведки с целью использования их для оценки особенностей строения соляной толщи [124]. Установлено, что на территории ВКМКС по отражающему горизонту «С», отмечаются различные осложнения волновой картины: разрывы, смещения осей синфазности, потеря корреляции. Эти осложнения в основном встречаются на крутых крыльях структур облекания девонско-турнейских рифовых массивов, а также в зонах концентрации разломно-блоковой тектоники фундамента. К ним приурочены также области повышенной изменчивости упругих характеристик соляной и надсоляной толщ, оцениваемые по значениям скорости в интервале +100 м - ОГ «С». Выполнена региональная оценка сложности сейсмогеологического строения отдельных шахтных полей и разведанных участков.

С 1990 года на шахтных полях калийных рудников под руководством Санфирова И.А. выполняются наземные наблюдения невзрывной малоглубинной сейсморазведкой высокого разрешения по методике общей глубинной точки (НМСВР МОГТ). За пятнадцать прошедших лет выполнен объем более 150 пог.км профилирования. Эти работы решают следующие задачи: 1) картирование геологических неоднородностей соляной и надсоляной толщ, 2) контроль состояния массива в процессе его разработки, включая аварийные ситуации, 3) параметрическое обеспечение геомеханических расчетов. Технология комплексного анализа результатов сейсморазведочных работ и геомеханических расчётов разработана в ГИ УрО РАН и применяется на ВКМКС с 1993 года (Барях А.А., Санфиров И.А.).

Сейсмогеомеханические исследования базируются на выполнении наземных сейсморазведочных работ и, сопровождающей их геомеханической интерпретации полученных данных. Значения параметров волнового поля используются для построения сейсмогеологических разрезов, составляющих основу геомеханических расчётных схем.

Сейсморазведочные работы с последующей геомеханической интерпретацией применяются как на участках уже выявленных аномальных факторов (геологических осложнений по данным других геофизических методов и геологоразведочных работ, зон ускоренных оседаний) или негативных процессов (провалов поверхности, обрушений в выработках), так и с опережением фронта очистных работ на потенциально-аномальных участках шахтных полей.

На ряде объектов сейсмогеомеханические наблюдения проводятся в мониторинговом режиме. Это зона обрушения пластов на СКРУ-2 (ежегодно с 1996 года), участок образования провалов в районе п. Новая Зырянка на шахтном поле БКПРУ-1 (в 1999, 2000, 2005 годах), район опытного участка на БКПРУ-4 (в 1997 и 2000 годах).

В рамках работ по ведению мониторинга северо-восточной части шахтного поля рудника БКПРУ-1 (2бис ВП) в 2002 году ГИ УрО РАН в комплексе методов использовались двухуровневые сейсморазведочные исследования [121]. Выявлены участки пониженных интервальных скоростей по разным горизонтам, а также участки аномалий волнового поля. Отмечена хорошая корреляция результатов гравиразведочных и сейсморазведочных работ. Данные сейсморазведки использованы при выделении участков относительно пониженных механических свойств, как в верхней части разреза, так и в соляной толще.

В 2000 году в северо-восточной части БКПРУ-1 выполнены пространственные сейсморазведочные исследования - 3D (Санфиоров И.А.). В результате получена объемная физико-геологическая модель участка недр, отмечено сложное строение юго-восточной части района работ, где на

временных разрезах выделены признаки тектонического нарушения типа пологий сброс или косая (опрокинутая) складка северо-восточного простирания в интервале «МГ – кровля сильвинитовой зоны» [163].

Также в разные годы на калийных рудниках под руководством Санфинова И.А. выполнялись инженерные сейсморазведочные работы с целью оценки устойчивости солеотвалов (СКПРУ-1, БКПРУ-4), инженерных гидротехнических сооружений (БКПРУ-4) и изучения верхней части разреза (БКПРУ-1, БКПРУ-2).

Шахтные сейсморазведочные работы на калийных рудниках впервые выполнялись С.В. Бородачёвым в 1983-85 годах на руднике БКПРУ-2. На основе межштрекового просвечивания и ударного способа возбуждения колебаний им разработана методика прогнозирования гипсометрии пластов и оконтуривания зон замещения. Сопоставление прогнозного профиля кровли пласта КрII по оси одной из камер и зарисовки стенки камеры после её отработки показало хорошую их сходимость.

В 1987-88 годах велись работы *по использованию ультразвуковых волн*. Первые работы методом ультразвуковой или акустической локации (метод СОНАР) проведены специалистами Комбината Кали (ГДР) на рудниках БКПРУ-1, БКПРУ-2, СКПРУ-2 и СКПРУ-3 по профильным линиям общей длиной 900 погонных метров. Определена возможность применения данного метода для исследований пород ВЗТ и подстилающей каменной соли. Далее исследования проводились под методическим руководством Вишнякова Э.Х.. В результате опытно-методических работ установлено, что метод ультразвуковой локации имеет высокое разрешение и способен решать следующие задачи: определение мощности ВЗТ, прослеживание МГ, выявление зон локальных геологических неоднородностей (трещиноватости, разубоживания, очагов скопления газов и складчатости).

В 1989-92 годах опытно-методические работы по использованию шахтной сейсморазведки на месторождении выполнялись Баженовской геофизической экспедиции под руководством Меньшикова Ю.П. Изучалось

распределение скоростных характеристик слоистых толщ ВКМКС по акустическому каротажу (АК) и сейсмическому просвечиванию между скважинами и горными выработками. Шахтные исследования проводились методом общей глубиной точки (МОГТ) с использованием различных систем наблюдений, взрывных и ударных источников на БКПРУ-4 и БКПРУ-1. Изучались отражения от маркирующей глины. Обработка проводилась на продольных и поперечных волнах. Получены временные разрезы весьма низкого качества, несмотря на это, данные работы имели большое значение для развития шахтной сейсморазведки на калийных рудниках.

В 1992 году первичный материал, полученный Баженовской геофизической экспедицией при исследованиях на шахтном поле БКПРУ-1, повторно обработан в ГИ УрО РАН. В результате получен временной разрез, на котором чётко выделены две отражающие границы, соответствующие кровле и почве слоя маркирующей глины. В результате опытных работ в 1992-93 годах заложены методические основы калийной шахтной сейсморазведки, которая в последующие годы постоянно совершенствовалась с повышением достоверности результатов и расширением решаемых задач.

В настоящее время шахтные сейсморазведочные и сейсмоакустические работы выполняются в рамках эксплуатационной разведки на всех рудниках месторождения.

Магнитометрические съёмки выполнялись на территории месторождения в основном в целях геологического картирования, изучения тектоники, поисков и разведки месторождений железных руд, алмазов, нефти и газа. В целях изучения калийной залежи магнитометрия проводилась лишь при производстве опытных работ (Маламуд Г.М., Кедрова И.К., Петров А.К.) и в настоящее время не применяется. Тем не менее, касательно изучения калийного месторождения, материалы магнитометрии используются для решения региональных тектонических вопросов.

Наиболее значимыми в интересах калийной геологии являются материалы выполненной в 1987-89 годах в центральной части ВКМС аэромагнитометрической съёмки в комплексе с аэрогаммаспектрометрией (Халымбаджа И.Г.). В 1998 году проведена переинтерпретация результатов данных съёмок (Петрик А.И.) [159]. В результате составлена сводная схематическая карта элементов тектоники.

Основные сведения о выполненных на месторождении магнитометрических работах сведены в таблицу 2.5.

Таблица 2.5

### Геофизическая изученность района ВКМС (магниторазведка)

№	Исполнитель	Масштаб	Год	Метод, аппаратура	Цели исследований
1	2	3	4	5	6
<b>Аэромагнитная съёмка</b>					
1	СУГТ В.П. Носиков	1:100000	1949 г.	аэромагнитометрия АМ-9Л	поиски месторождений железных руд
2	Сибнефтегеофизика Р.А. Гафаров	1:1000000, 1:200000	1955 г.	аэромагнитометрия АЭМ-49	изучение тектоники
3	Западный геофизтрест Г.А. Израилева	1:200000	1955 г.	аэромагнитометрия АЭМ-49	поиски месторождений железных руд
4	СУГТ В.А. Алфутов	1: 50000, 1:25000, 1:10000	1957 г.	аэромагнитометрия АСГМ-25	поиски коренных месторождений алмазов
5	Новосибирский геофизтрест П.А. Коноплин	1:200000, 1:500000	1959 г.	аэромагнитометрия АЭМ-49	изучение тектоники
6	Геолком, ЦУП Ю.В. Бронников, В.П. Вайполин	1:50000	1964 – 65 гг.	аэромагнитометрия АСГ-46	поиски нефти и газа
7	УГЭ УТГУ А.Е. Чурсин	1:10000	1968 г.	аэромагнитометрия	разведка месторождений алмазов
8	УГЭ УТГУ И.Г. Халымбаджа	1:25000, 1:50000	1977-80 гг.	аэромагнитометрия АГС-71,48М, КМ-2М	поиски нефти и газа
9	ЛГЭ В.Г. Мавричев	1:50000	1986-87 гг., 2001 г.	аэромагнитометрия	геологическое картирование, изучение тектоники
10	ПГО «Уралгеология» И.Г. Халымбаджа	1:10000	1987-1989 гг.	аэромагнитометрия	геологическое картирование, изучение тектоники
11	ФГУ НПП «Геологоразведка» В.Г. Мавричев	1:200000	2000 г.	аэромагнитометрия	геологическое картирование, изучение тектоники

1	2	3	4	5	6
<b>Наземная магниторазведка</b>					
12	МГРИ Н.Р. Малкин	маршрутная	1931 г.	наземная съёмка М-2	изучения тектоники, поиски нефти и газа
13	УГУ, Кизеловская партия Д.П. Касаткин, Д.С. Миков	1:100000	1939 – 1940 гг.	наземная съёмка М-2, весы Шмидта,	разведка месторождения угля
14	СГИ А.Я.Ярош	1:100000	1939 г.	наземная съёмка М-2	геологическое картирование, изучение тектоники
15	НИИЗМ И.М.Пудовкин	1:2500000, 1:200000	1943 г.	наземная съёмка М-2	геологическое картирование, изучение тектоники
16	Северозападный ГРТ Г.М.Маламуд	1:100000, 1:200000	1953 г.	наземная съёмка М-2	опытные по разработке геофизического комплекса
17	Северозападный ГРТ Н.К.Кедрова	1:500000	1954 г.	наземная съёмка М-2	опытные по разработке геофизического комплекса
18	Пермская ГРЭ А.К. Петров, А.В. Дорофеев, Ю.Л. Будрин	1:5000	1987-1988 гг.	наземная съёмка ММП-203	опытные

**Радиометрические методы.** В 1959-62 годах Нечаев Ю.А. использовал маршрутную гамма-съёмку при поисках медистых песчаников. В 1962 году Лядова Л.И., проводя попутную гамма-съёмку на правом берегу р. Камы, сделала вывод о нецелесообразности проведения этих работ. В 1961-63 годах Матвеев П.М. также проводил попутную гамма-съёмку. С 1964 года начинаются попытки применения радиометрических методов для поисков нефти и газа. В 1964-65 годах Бронников Ю.В. и Вайполин В.П. проводят аэрогаммамагнитную съёмку масштаба 1:50000, одной из задач которой являются поиски залежей нефти и газа. В 1965-67 годах Белецкая Л.А. проводила с той же целью автогаммасъёмку и пешеходную гамма-съёмку масштаба 1:100000. При этом выделены аномалии, совпадающие с поднятиями. В 1967, в 1972-74 и в 1978 годах подобные работы масштаба 1:100000 проведены Ю.И. Клестовым.

В 1980 и 1987-89 годах Халымбаджа И.Г. выполнял аэрогаммаспектрометрические исследования совместно с аэромагнитометрической съёмкой. Съёмка производилась при высоте полета 50-75 м. Масштаб съёмок 1:10000.

Геофизические исследования в скважинах на ВКМКС проводились Сылвенской гидрогеологической партией, Соликамским каротажным отрядом, объединением «Пермнефтегеофизика», Кукуштанской партией Уральской геофизической экспедиции, Управлением ПБиГРР ОАО «Уралкалий», Пермским инженерно-техническим центром «Геофизика». В скважинах выполнялись гамма-каротаж, нейтронный гамма-каротаж, гамма-гамма-каротаж, каротаж сопротивлений, боковое каротажное зондирование, акустический каротаж, гидрокаротаж, магнитный каротаж и др.

С помощью комплекса каротажа в настоящее время производится детальная стратификация соляной и соляно-мергельной толщ, определяются глубины контактов пород и мощности пластов, по данным гамма-каротажа рассчитываются содержания хлористого калия, в надсолевых породах выделяются зоны водопритоков и оцениваются их гидрогеологические параметры.

#### Выводы по геофизической изученности ВКМКС.

Крупномасштабными электроразведочными работами покрыто 46% площади ВКМКС - практически вся территория детально разведанных участков, за исключением части территорий городов Березники и Соликамск (рис.2.10 – а). Не охвачена этими работами восточная часть Половодовского участка. Крупномасштабные региональные электроразведочные исследования выполнялись в основном методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) с целью картирования изучения надсоляной толщи. Полевые материалы последних из них (ПГРЭ, ГП "Пермрудгеофизика") и на сегодняшний день не теряют своего практического значения при решении задач калийного горного производства.

По ряду участков материалы этих работ переинтерпретированы с использованием современных методов обработки (Колесников В.П., 1997, 2003).

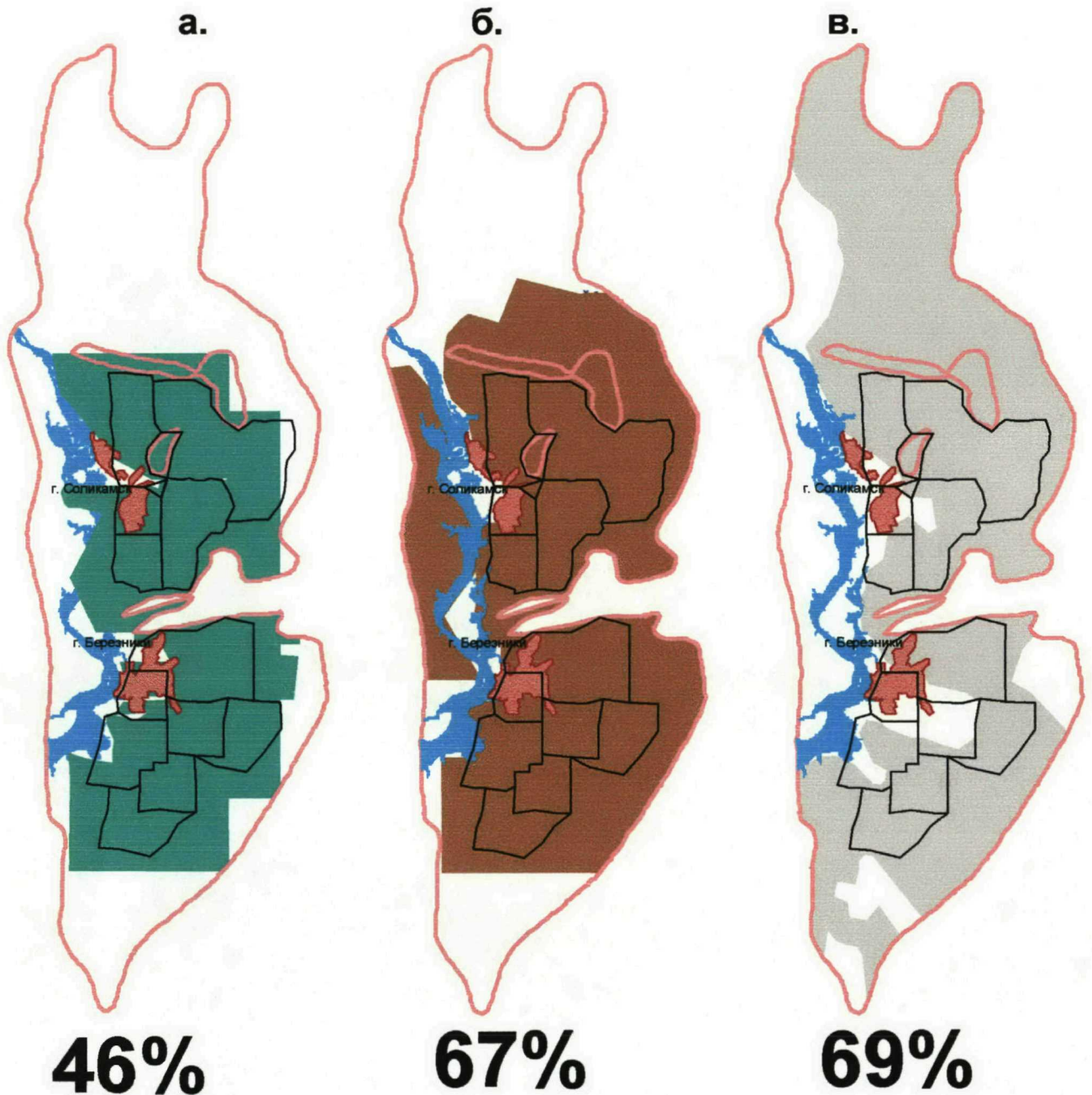


Рис.2.10 Контурсы изученности ВКМКС крупномасштабными работами.

Площадь крупномасштабных работ методами: а – электроразведки, б – гравиразведки, в – сейсморазведки.

Гравиметрической съёмкой масштаба 1:200000 закрыта вся территория ВКМКС. Крупномасштабные гравиразведочные работы охватывают 67% площади месторождения, полностью включая территории всех детально разведанных участков (рис.2.10 – б). Крупномасштабные региональные



работы Пермской комплексной геологоразведочной экспедиции, Баженовской геофизической экспедиции, ГП «Пермрудгеофизика» производились с целью исследования водозащитной толщи и надсоляных отложений, и их материалы остаются актуальными для решения задач калийного горного производства. Их результаты на отдельных участках также подвергнуты переинтерпретации на основе векторной обработки данных (Новоселицкий В.М., 1991, 1995, 2003). С 1988 года на действующих рудниках в аномальных и потенциально опасных зонах выполняется наземно-подземная гравиметрическая съёмка (Новоселицкий В.М.).

Большинство сейсморазведочных работ на территории калийного месторождения направлены на поиски нефти и газа и изучали разрез от подошвы соленосной толщи до кристаллического фундамента. Крупномасштабными площадными сейсморазведочными работами на нефть, выполняемыми ОАО «Пермнефтегеофизика» с 1961 года, покрыто примерно 69 % площади ВКМКС (рис.2.10 – в). Территория изучена неравномерно. По более редкой сети проводились работы в пределах разрабатываемых участков. Не охвачены этими исследованиями территории городов Березники и Соликамск.

Следует учитывать, что работы на нефть и газ имели своей целью изучение подсольевых отложений и малоинформативны для вышележащих структурных этажей. Часть сейсморазведочных исследований, ориентированных на изучение строения соляной и надсоляной толщ, выполнялась слишком давно, чтобы существовала возможность использовать их материалы; другие проводились Горным институтом УрО РАН в последние годы по отдельным профилям.

Таким образом:

Наибольшей плотностью изученности продуктивной и водозащитной толщ (гравиразведкой) и надсоляной толщи (электроразведкой и гравиразведкой) характеризуются центральный и южный районы месторождения (рис. 2.11), в пределах которых расположены все детально

разведанные участки, за исключением части территорий городов Березники и Соликамск, а также Камского водохранилища.

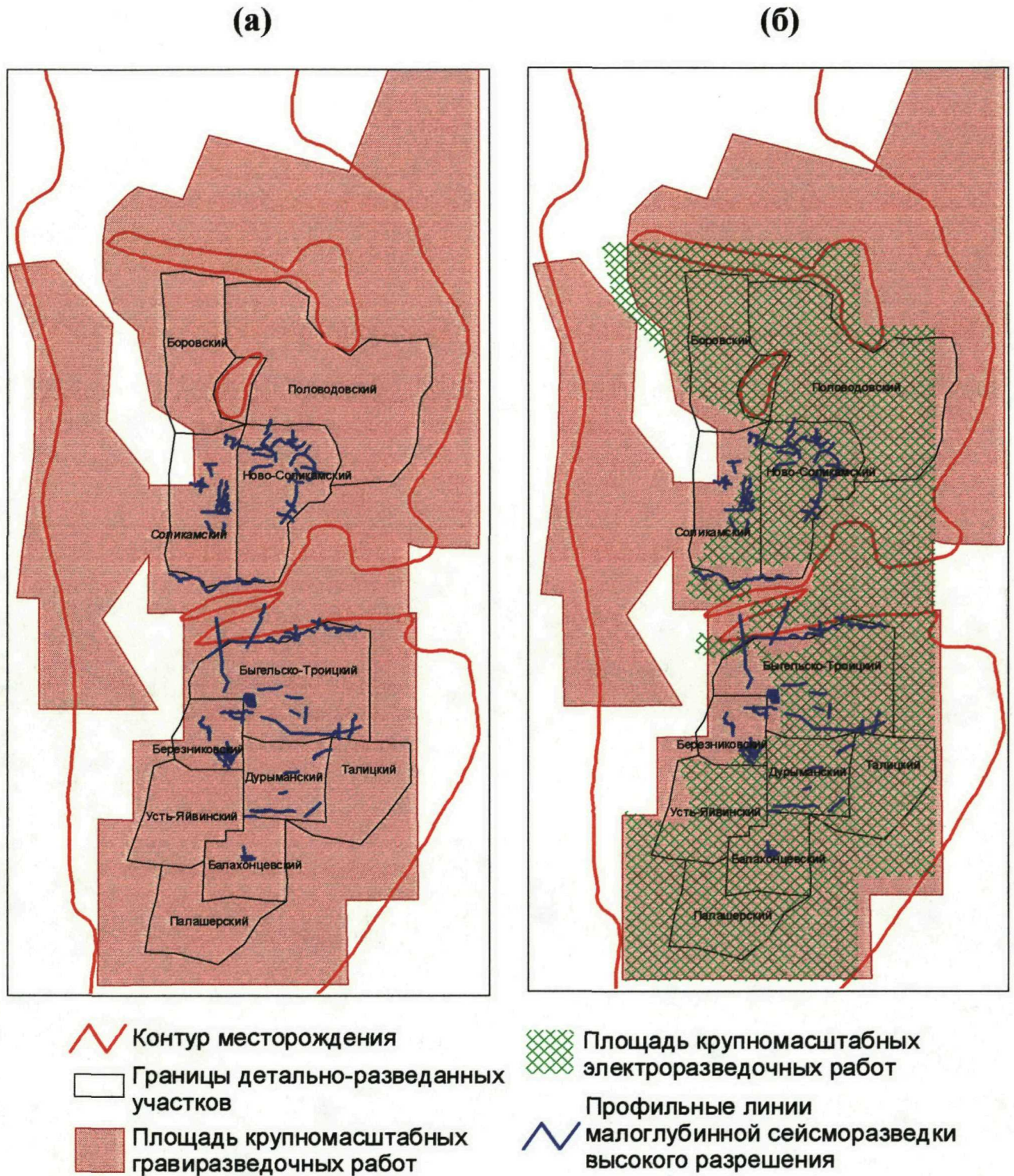


Рис. 2.11 Наличие актуальных геофизических данных на месторождении в интервале соляной толщи и ВЗТ (а) и надсоляной толщи (б)

Вместе с тем наблюдается дефицит сейсморазведочных данных по этим структурным этажам. Всеми тремя методами соляная и надсоляная толщи исследованы лишь на аварийных участках.

Подсолевые отложения, благодаря работам треста «Пермнефтегеофизика», хорошо изучены всеми геофизическими методами. В настоящее время проводится детализация нефтеперспективных объектов в основном сейсморазведкой и на некоторых участках гравиразведкой.

### 3. АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках информационной модели месторождения выполнен анализ достоверности геофизических исследований. Использование геоинформационной системы позволило совместить на основе единой пространственной привязки структурные карты и схемы результатов геофизических и буровых работ [23]. Анализ достоверности включает изучение точности определения глубины залегания геологических объектов и оценку объективности геологических заключений, основанных на результатах геофизических работ. Для этого используются материалы геологоразведочного бурения, выполненного после геофизических исследований.

Анализ проведен по материалам геофизических работ в районе Дуринского прогиба и прилегающих к нему частей детально разведанных участков калийного месторождения. Здесь выполнены геофизические исследования, имеющие физические предпосылки использования при изучении соляной и надсоляной толщ: площадная гравиметрическая съёмка в стандартной и векторной обработке, малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения, площадная электроразведка ВЭЗ. Данный район удачен ещё тем, что охватывает как площадь спокойного, ненарушенного залегания пород, так и площадь Дуринского прогиба, характеризующуюся геологическими нарушениями.

Задача осложняется относительно незначительным объёмом буровых работ, выполненным после проведения оцениваемых геофизических исследований. При анализе использованы практически все имеющиеся на сегодняшний день данные заверки. Рассматривались результаты бурения структурных скважин на Быгельско-Троицком участке 1987-91 годов (28

скважин) [130, 131] и разведочных скважин при доразведке Дуринской площади в 1991-99 годах (29 скважин) [162]. Учитывая, что геофизические исследования отдельными методами выполнялись в разные годы и площади работ частично не совпадают, оценка достоверности выполнялась по разному количеству скважин. При этом оценка точности глубинных построений и достоверности геологических заключений касательно каждого метода также выполнено по разному количеству скважин. Это связано с тем, что некоторые скважины являются структурными и не доходят до кровли ПКС, а также с отсутствием структурных построений кровли покровной каменной соли по данным гравиметрии на части рассматриваемой площади.

Всего использовалось скважин при оценке результатов: малоуглубинной сейсморазведки высокого разрешения – 10 скважин; гравиразведки в стандартной обработке – 49 скважин; гравиразведки в векторной обработке – 8 скважин; электроразведки ВЭЗ – 18 скважин.

Геофизические исследования представлены:

- площадная гравиметрическая съёмка масштаба 1:25000 в стандартной обработке, выполненная в 1986-1990 годах сотрудниками Баженовской экспедиции ПГО “Уралгеология” (Нояксова Л.Д., 1990) [158];

- переинтерпретация площадной гравиметрической съёмки ПГО “Уралгеология” масштаба 1:25000 с использованием векторной обработки, выполненная в 1991 году сотрудниками Горного Института УрО РАН (Новоселицкий, 1991) [157];

- площадная электроразведка методом ВЭЗ по сети 250x100 метров, выполненная в 1987-1989 годах сотрудниками Пермской геологоразведочной экспедиции ПГО «Уралгеология» (Беляев В.П., 1989) [128];

- профильная малоуглубинная сейсморазведка высокого разрешения МОГТ, выполненная в 1995-1997 годах сотрудниками Горного Института УрО РАН (Санфирова И.А., 1995, 1996, 1997) [162].

### 3.1 Оценка точности определения глубины залегания геологических объектов по результатам геофизических исследований

При оценке точности глубинных построений приходилось оперировать с выборками малого объёма. При этом вычислялась средняя относительная погрешность определения глубины залегания с учётом ширины доверительного интервала на основе распределения Стьюдента при заданной доверительной вероятности  $P=0.90$  [101]. В итоге погрешность определения глубины залегания получена с учётом максимально возможной ошибки вычисления среднего значения генеральной совокупности по малой выборке (пессимистический прогноз).

Площадная гравиметрическая съёмка масштаба 1:25000 в стандартной обработке. Построена структурная карта кровли покровной каменной соли (ПКС). При анализе точности построения кровли ПКС в сравнении с результатами последующего бурения, использовались данные, полученные в районе южного и северного бортов Дуринского прогиба, на примыкающих к ним частях Быгельско-Троицкого, Соликамского и Ново-Соликамского участков, а также по скважине №1102 Усть-Яйвинского участка. Относительные погрешности построения кровли ПКС представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

N скв.	Alt., м	H абс. ПКС, м		Относительная погрешность	
		по бурению	по гравиразведке	м	%
1	2	3	4	5	6
1080	188,69	-93	-65	28	9,93
1086	163,95	-136	-136	0	0,00

1	2	3	4	5	6
1081	190,88	-146	-145	1	0,30
1075	181,45	-28	-30	2	0,95
1100	155,00	-115	-120	5	1,85
1087	162,85	-127	-133	6	2,07
1079	167,92	-99	-105	6	2,25
1076	153,13	-73	-80	7	3,10
1089	165,54	-114	-124	10	3,58
204с	164,40	-117	-153	36	12,79
1039	128,47	-86	-120	34	15,84
1096	142,42	-46	-85	40	21,28
1095	145,10	-21	-75	55	33,21
1038	146,94	-4	-60	56	37,09
1102	173,00	-85	-68	17	6,59
<i>Средняя относительная погрешность =</i>					<i>10,0%</i>
<i>Средняя относительная погрешность с учётом максимальной возможной ошибки, при доверительной вероятности P=0,90</i>					<i>15,6%</i>

Таким образом, средняя относительная погрешность определения кровли ПКС (с учётом максимальной абсолютной ошибки определения среднего значения по выборке малого объёма при заданной доверительной вероятности  $P=0,90$ ) по результатам гравиметрической съёмки масштаба 1:25000 в стандартной обработке составила 15,6%.

Площадная гравиметрическая съёмка масштаба 1:25000 в векторной обработке. На основе результатов переинтерпретации с использованием векторной обработки построена структурная карта по кровле ПКС. Пробуренные впоследствии скважины выявили следующие погрешности определения абсолютной отметки кровли ПКС (табл. 3.2).

Средняя относительная погрешность определения кровли ПКС (с учётом максимальной абсолютной ошибки определения среднего значения по выборке малого объёма при заданной доверительной вероятности  $P=0,90$ ) по результатам переинтерпретации гравиразведочной съёмки масштаба 1:25000 с использованием векторной обработки составила 12,3%.

Таблица 3.2

<i>N скв.</i>	<i>Alt., м</i>	<i>Н абс. ПКС, м</i>		<i>Относительная погрешность</i>	
		<i>по бурению</i>	<i>по гравиразведке</i>	<i>м</i>	<i>%</i>
<i>1047</i>	204,00	-156	-210	54	15
<i>1082</i>	205,53	-158	-170	12	3,3
<i>1084</i>	199,71	-125	-123	2	0,6
<i>1083</i>	194,10	-137	-118	19	5,5
<i>1097</i>	172,45	-147	-115	32	10
<i>Средняя относительная погрешность =</i>					<i>6,9%</i>
<i>Средняя относительная погрешность с учётом максимальной возможной ошибки, при доверительной вероятности P=0,90</i>					<i>12,3%</i>

Площадная электроразведка ВЭЗ по сети 250x100 метров. В отчёте о результатах оцениваемых электроразведочных исследований не представлены структурные карты, которые могли бы позволить оценить точность глубинных построений в сравнении с данными последующего бурения, поэтому нами использованы материалы самих исполнителей работ. Ими проведена оценка точности определения параметров разреза по данным ВЭЗ на основе сравнения с материалами бурения 88 разведочных скважин (не используемых на этапе количественной интерпретации). Получены следующие оценки средних относительных погрешностей (Беляев, 1989):

- определение мощности четвертичных отложений –34,9%;
- определение нижней границы ПЦТ – 25,8 %;

Авторами работ сделан вывод о нецелесообразности построения структурной карты по кровле ПКС из-за значительных погрешностей.

Малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения. По разрезам скважин, пробуренных после проведения геофизических работ в районе южного и северного бортов Дуринского прогиба и в примыкающих к ним частях Быгельско-Троицкого, Соликамского и Ново-Соликамского участков, можно оценить меру расхождения сейсмических и геологических структурных оценок (табл.3.3).



Таблица 3.3

ПКС	относительная погрешность		М	%	по бур.	по сейсм.	М	%														
	Н абс., м	по сейсм.																				
граница	N скв.	Дл., м	1096	1095	1097	1083	1079	1099	1098	1078	1076	1100	Средняя относительная погрешность, %	14	Среднее квадратическое отклонение точечной оценки	15	Среднее квадратическое отклонение для среднего арифметического значения	16	Абсолютная ошибка по среднему значению, при доверительной вероятности P=0,90	17	Средняя относительная погрешность с учётом максимальной ошибки, %	18
			142,40	145,10	172,00	192,00	167,90	156,40	214,90	182,80	153,10	155,10										
			49,2	73,4	-12,5	-26	8,1	31,4	114,4	76,4	32,2	-4,9										
			49	52	-11	-28	7,5	39	100	62	29	-10,1										
			0,2	21,4	1,5	2	0,6	7,6	14,4	14,4	3,2	5,2										
			0,2	29,8	0,8	0,9	0,4	6,1	14,3	13,5	2,6	3,3										
			-	-	-101	-119	-79,4	-62,1	26,4	-8,2	-53,5	-93,1										
			-	-	-100	-114	-75	-42	15	-13	-55	-111,5										
			-	-	1	5	4,4	20,1	11,4	4,8	1,5	18,4										
			-	-	0,4	1,6	1,8	9,2	6,0	2,5	0,7	7,4										
			-45,8	-20,5	-	-139	-	-	-	-	-	-										
			-51	-32	-	-135	-	-	-	-	-	-										
			5,2	11,5	-	4	-	-	-	-	-	-										
2,8	6,9	-	1,2	-	-	-	-	-	-													
3,6	3,0	1,7	5,0	8,6	3,7	3,4	1,2	2,2	6,0													
7,2	9,5	3,0	5,5	12,7																		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>Е</i>	<i>Н абс. , м</i>	по бур.	-99,4	-59,6	-	-	-135,4	-124,7	-14,2	-56,3	-113,3	-153,1	6,0	5,8	2,0	3,8	9,8
		по сейсм.	-95	-80	-	-	-127	-119	-37	-86	-116	-176,8					
	<i>относительная погрешность</i>	м	4,4	20,4	-	-	8,4	5,7	22,8	29,7	2,7	23,7					
		%	1,8	10,0	-	-	2,8	2,0	10,0	12,4	1,0	7,7					
<i>СЗ</i>	<i>Н абс. , м</i>	по бур.	-153,8	-124,5	-	-	-	-	-77,5	-99,2	-	-	4,7	3,1	1,1	2,1	6,7
		по сейсм.	-160	-142	-	-	-	-	-79	-126	-	-					
	<i>относительная погрешность</i>	м	6,2	17,5	-	-	-	-	1,5	26,8	-	-					
		%	2,1	6,5	-	-	-	-	0,5	9,5	-	-					
<i>ПодКС</i>	<i>Н абс. , м</i>	по бур.	-	-	-216,1	-188	-	-	-	-	-	-	2,5	2,4	1,7	10,6	13,0
		по сейсм.	-	-	-200	-191	-	-	-	-	-	-					
	<i>относительная погрешность</i>	м	-	-	16,1	3	-	-	-	-	-	-					
		%	-	-	4,1	0,8	-	-	-	-	-	-					
<i>МГ</i>	<i>Н абс. , м</i>	по бур.	-209,1	-194,2	-	-220	-202,9	-196,3	-135,2	-153,2	-192,3	-224,4	2,7	2,4	0,8	1,5	4,2
		по сейсм.	-220	-203	-	-214	-208	-201	-135	-173	-188	-252,2					
	<i>относительная погрешность</i>	м	10,9	8,8	-	6	5,1	4,7	0,2	19,8	4,3	27,8					
		%	3,1	2,6	-	1,5	1,4	1,3	0,1	5,9	1,2	7,3					

Скважины, в которых отмечены максимальные погрешности структурных построений по данным сейсморазведки, расположены в аномальных по геологическому строению зонах.

Таким образом, максимальное количество выделенных стратиграфических границ в разрезе соляной и надсоляной толщ отмечается по результатам сейсморазведки.

В рассматриваемом районе карты кровли соляной залежи по данным двух вариантов обработки гравиметрической съёмки на участках простого геологического строения достаточно схожи, при наличии же геологических осложнений, например, в прибортовой части Дуринского прогиба, между ними наблюдаются значительные расхождения. Использование векторной обработки при переинтерпретации гравиразведочных данных позволило снизить относительную погрешность определения глубины залегания кровли ПКС.

Наибольшая точность определение глубины залегания кровли ПКС наблюдается по данным сейсморазведки.

Наименьшая точность структурных построений отмечается по данным электроразведки ВЭЗ.

### **3.2 Оценка объективности интерпретационных заключений**

Площадная гравиметрическая съёмка масштаба 1:25000 в стандартной обработке. По результатам работ составлена структурно-тектоническая схема фундамента, околнурены ядра рифовых построек в подсолевых отложениях. Построена структурно-тектоническая схема соляной и надсоляной толщ, согласно которой региональные тектонические нарушения дизъюнктивного и пликативного характера, протягивались в различных направлениях через всю восточную половину шахтного поля БКПРУ-4. На рассматриваемом участке предполагалось четыре подобных

тектонических нарушения, из них подтверждён только Дуринский сдвиг (рис.3.1). Кроме того, исполнителями гравиметрических работ выделяется южный борт Дуринского прогиба, состоящий (на рассматриваемом участке) из четырёх разрывных нарушений. Из них корреляцию с данными бурения имеет лишь Легчимский сдвиг.

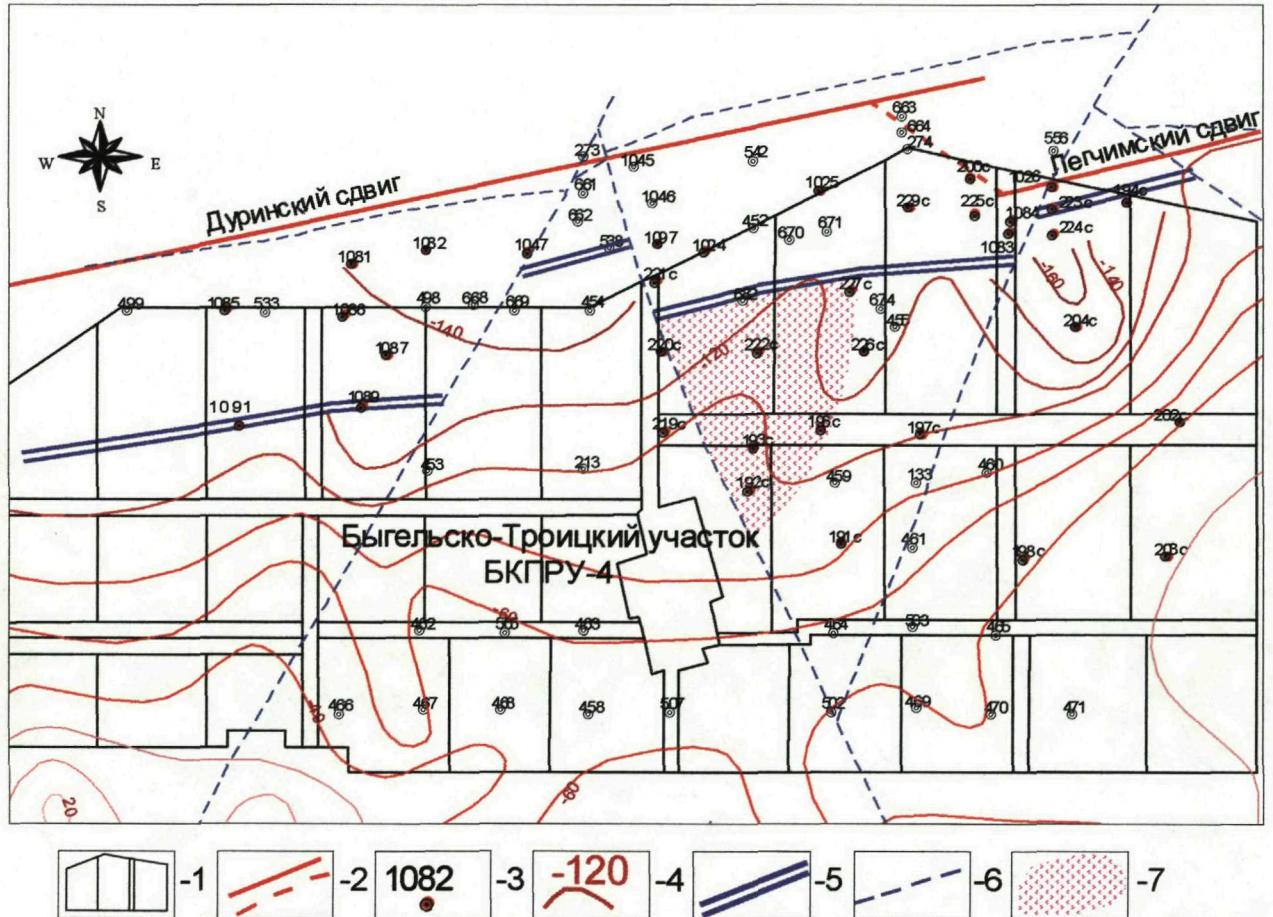


Рис. 3.1 Схема результатов гравиметрии масштаба 1:25000, выполненной сотрудниками Баженовской экспедиции ПГО «Уралгеология» в 1986-1990 годах:

1 – границы панелей БКРУ-4; 2- разрывные нарушения Дуринского прогиба по данным бурения; 3- скважины структурные и геологоразведочные на соль, пробуренные после выполнения геофизических работ; 4- изолинии кровли ПКС по данным гравиметрии; 5- южный борт Дуринского прогиба по данным гравиметрии; 6- тектонические нарушения дизъюнктивного и пликативного характера по данным гравиметрии; 7- зона отсутствия или частичного разубоживания калийной залежи.

Предполагаемая по данным гравirazведки зона отсутствия или частичного разубоживания калийной залежи не подтверждена ни буровыми, ни подземными горными работами. Таким образом, из 9 региональных

геологических объектов, предполагаемых по результатам гравиметрических работ ПГО «Уралгеология» в этом районе, последующим бурением подтверждены лишь два – Легчимский и Дуринский сдвиги.

Площадная гравиметрическая съёмка масштаба 1:25000 в векторной обработке. Использование другого метода обработки в корне изменило результат качественной интерпретации данных. Южный борт Дуринского прогиба, картируемый по линиям раздела полей градиентов, перенесён севернее на 1.5-2 км и стал ближе к положению разрывных нарушений, выделяемых по данным бурения (рис.3.2).

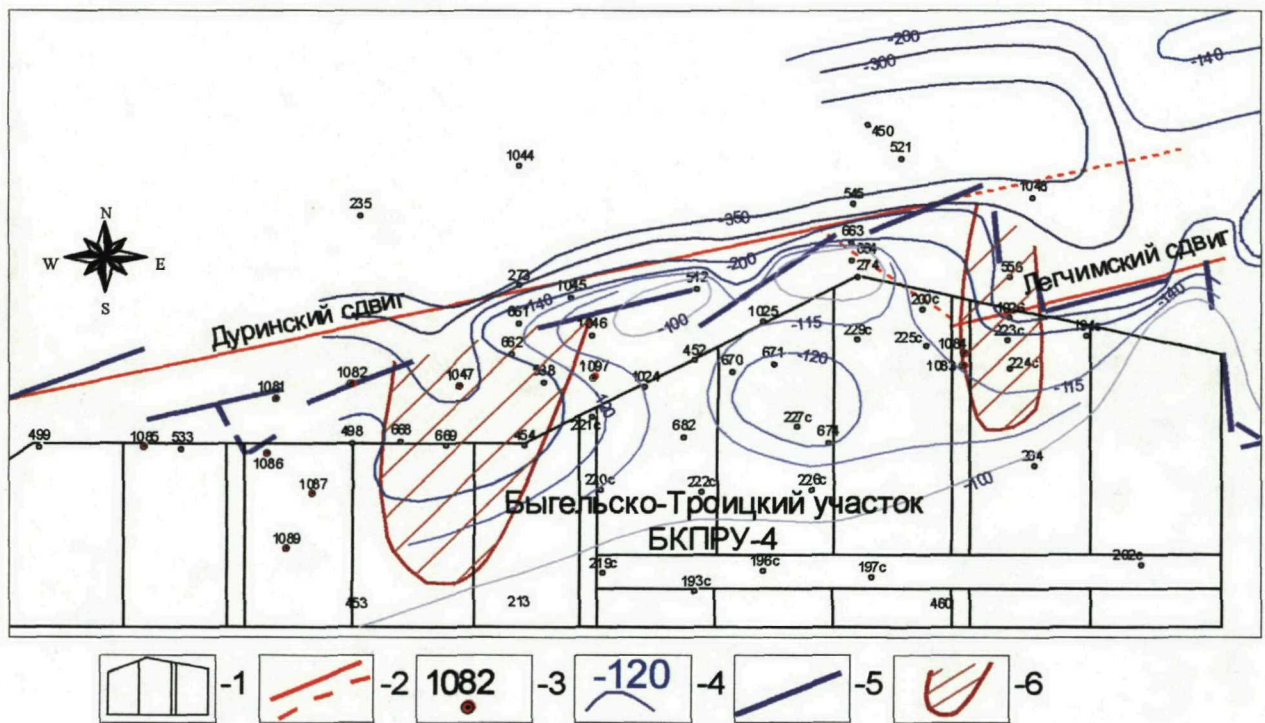


Рис. 3.2 Схема результатов переинтерпретации материалов гравиметрических работ ПГО «Уралгеология», выполненной сотрудниками ГИ УрО РАН в 1991 году:

1 – границы панелей БКПРУ-4; 2- разрывные нарушения Дуринского прогиба по данным бурения; 3- скважины структурные и геологоразведочные на соль, пробуренные после выполнения геофизических работ; 4- - изолинии кровли ПКС по данным переинтерпретации; 5- южный борт Дуринского прогиба по данным переинтерпретации; 6- зоны влияния прогиба на соляную залежь по данным переинтерпретации.

В месте предполагаемых по данным гравиметрии разрывных нарушений южного борта прогиба пробурены скважины №1081 и №1082, в которых выявлены гидрогеохимические аномалии. В результате градиентной

обработки предположены две зоны «влияния прогиба на соляную залежь», проникающие на шахтное поле БКПРУ-4 в южном направлении на расстояние до 3 километров и требующие особого внимания при разработке. Эпицентр первой зоны располагается в районе скважины №1026 и согласуется с результатами бурения. Позднее в западной части этой зоны при бурении скважины №1084 наблюдался переток воды и выявлены гидрогеохимические аномалии, что свидетельствует о проницаемости пород ВЗТ и является признаком разрывного нарушения. Вторая зона «влияния прогиба» проверялась в эпицентре скважиной № 1047. Отклонений от нормального разреза не обнаружено. По данным подземной доразведки (Котельников А.Н., 1993) здесь также отсутствуют какие-либо геологические осложнения. Таким образом, из четырёх заверяемых объектов бурением подтверждены три (два разрывных нарушения в районе скважин № 1081 и №1082 и одна из «зон влияния»).

Площадная электроразведка ВЭЗ по сети 250x100 метров. В районе южного борта Дуринского прогиба и примыкающей части Быгельско-Троицкого участка проводилась детализационная съёмка по сети 250x100. По результатам работ выделяются линейные аномалии «первого» и «второго» типа (по классификации исполнителей полевых работ) (рис.3.3).

Аномалии повышенной проводимости «первого» типа имеют субмеридиональное направление и отождествляются исполнителями работ «с крутопадающими обводнёнными зонами повышенной трещиноватости пород надсоляной толщи». Заверка данного типа аномалий буровыми работами не проводилась.

Вдоль южного борта Дуринского прогиба отмечены линейные аномалии «второго» типа, отождествляемые с «крутопадающими зонами разрывных нарушений типа сбросов, сбросо-сдвигов, пересекающие породы надсоляного комплекса, возможно и ВЗТ». В этих аномалиях хорошо проявляется положение Дуринского и Легчимского сдвигов (установленных по данным бурения).



Рис.3.3 Схема результатов съёмки ВЭЗ масштаба 1:10000, выполненной Пермской геологоразведочной экспедицией в районе Дуринского прогиба в 1987-89 годах:

1 – границы панелей БКПРУ-4; 2- разрывные нарушения Дуринского прогиба по данным бурения; 3- скважины структурные и геологоразведочные на соль, пробуренные после выполнения геофизических работ; 4- крутопадающие зоны разрывных нарушений по данным ВЭЗ; 5- крутопадающие обводнённые зоны повышенной трещиноватости пород надсоляной толщи по данным ВЭЗ.

При этом также фиксируется аналогичная аномалия субмеридиональной ориентировки. С учётом данной аномалии и на основе результатов бурения на сегодняшний день геологами выделяется разрыв северо-западного направления, соединяющий широтные разломы. Скважинами №№1081, 1082, 1084 в пределах аномалий этого типа выявлены гидрогеохимические аномалии.

Таким образом, из трёх заверяемых геологических аномалий в надсоляной толще, предполагаемых по результатам съёмки ВЭЗ, подтверждены буровыми работами все три (Дуринский и Легчимский сдвиги и соединяющий их разрыв).

Малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения. В результате работ выявлены отклонения в волновом поле, которые связываются с малоамплитудными разрывными нарушениями в породах соляной и

надсоляной толщ. Наиболее контрастные аномальные зоны заверены бурением. В районе скважины №221с, где при тампонаже выявлена мощная зона поглощения в кровле водозащитной толщи, по волновой картине выделена сбросовая структура субмеридиональной ориентировки с вертикальной амплитудой смещения 7-10 метров. В 1998 году на месте предполагаемого разрыва пробурена скважина №1097 (рис.3.4). В скважине 1097 в процессе гидрокаротажных работ на соляном зеркале установлена зона поглощения, по данным лабораторных исследований отмечена пониженная прочность покровной соли. По результатам буровых работ здесь подтверждено разрывное нарушение.

По данным малоглубинной сейсморазведки к западу от скважины №194с отмечается субмеридиональное малоамплитудное смещение типа взброса с разрывом сплошности всех отражающих горизонтов от земной поверхности до кровли артинского горизонта.

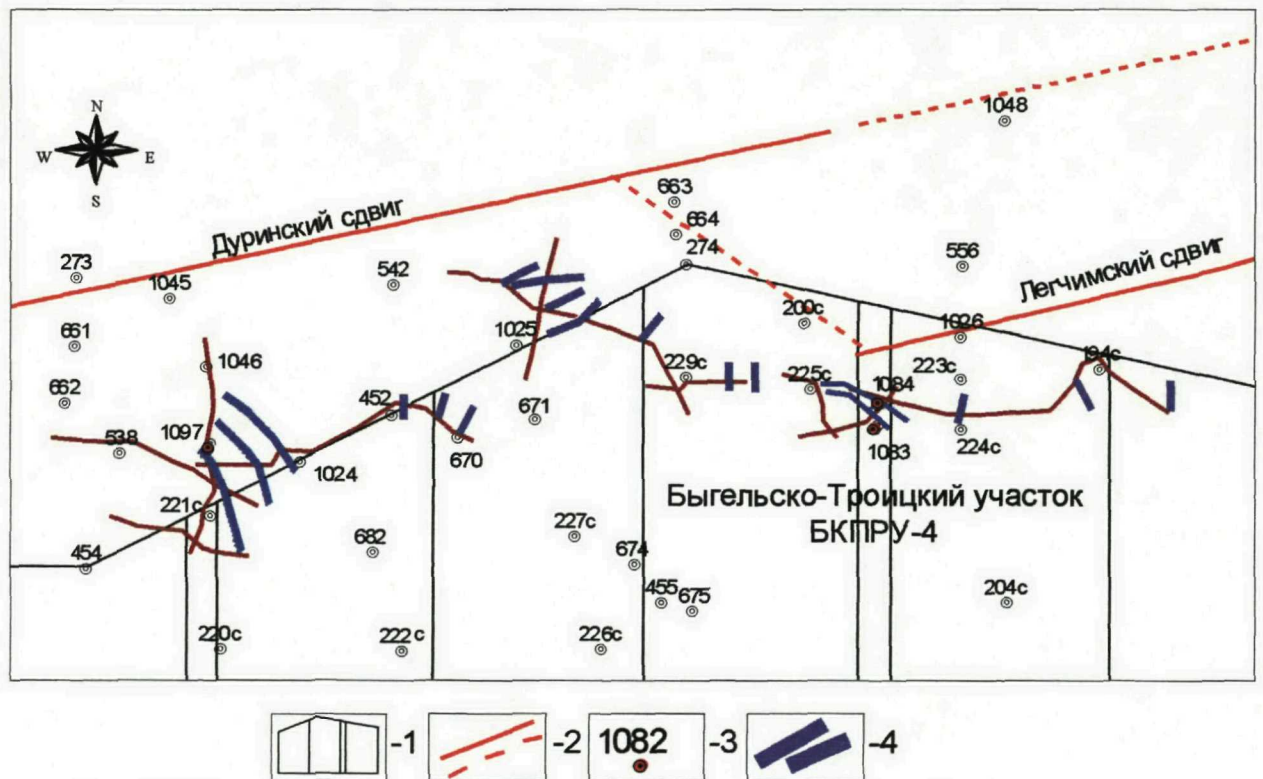


Рис. 3.4 Схема результатов работ методом малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения, выполненной ГИ УрО РАН в районе Дуринского прогиба в 1996-97 гг.:

1 – границы панелей БКПРУ-4; 2- разрывные нарушения Дуринского прогиба по данным бурения; 3- скважины структурные и геологоразведочные на соль, пробуренные после выполнения геофизических работ; 4- аномалии волнового поля.



В поведении скоростной характеристики отмечено наличие резкой градиентной зоны. Для определения природы этой зоны в 1996 году заложена скважина № 1084. Здесь также выявлена пониженная прочность соляных пород. Наличие гидрохимических аномалий, отсутствие переходной зоны СМТ, свидетельствующей о резкой смене разреза по отношению к скважине №1083, дают все основания предполагать в скважине №1084 на уровне СМТ продолжение Легчимского разрыва, вскрытого ранее скважиной №1026. Таким образом, из двух заверяемых геологических объектов бурением подтверждены оба.

В результате анализа объективности геологических заключений по данным геофизических исследований в условиях ВКМКС можно сделать следующие выводы:

1) Структурно-тектонические схемы, построенные по двум вариантам обработки гравиразведочных наблюдений, слабо согласуются друг с другом, выделенные разрывы пространственно не совпадают. Положение южного борта Дуринского прогиба по данным гравиметрии в векторной обработке значительно ближе к результатам бурения, чем по материалам той же гравиметрической съёмки в стандартной обработке;

2) Электроразведкой ВЭЗ достаточно надёжно картируются разрывные нарушения южного борта Дуринского прогиба в интервале надсоляной толщи;

3) Наибольшая достоверность выделения малоамплитудных тектонических элементов в интервале ВЗТ отмечается по данным малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения.

Кроме вышперечисленных геофизических исследований на этом участке предприятием «Пермрудгеофизика» проводились гравиразведочные и электроразведочные крупномасштабные работы, выполнялась переинтерпретация электрометрии в ГИ УрО РАН. В связи с отсутствием последующего бурения результаты этих работ не рассматривались.

## 4. ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЭТАПЕ РАЗВЕДКИ И ОСВОЕНИЯ

### *4.1. Цели и задачи геофизических работ*

#### *4.1.1. Разработка иерархии задач геофизических исследований (на примере Верхнекамского калийного месторождения)*

Объективная оценка информативности геофизических методов в условиях месторождения может быть выполнена только на основе анализа соответствия их возможностей задачам, возникающим при разработке месторождения [25, 26].

Руководство организации, выполняющей геофизические работы должно обеспечить уверенность заказчика в том, что его потребности и ожидания поняты и учтены. Понимание целей геофизических исследований заказчиком и подрядчиком зачастую расходится.

При формулировке технического задания на производство геофизических исследований цель работ чаще всего определяется как «изучение строения и состояния горного массива». Что же конкретно интересует заказчика геофизической информации в рамках этого понятия? Изучение каких интервалов разреза, с какой детальностью, картирование каких объектов, процессов, явлений? Какие задачи являются первоочередными? На решение этих вопросов и направлено данное исследование.

Системной процедурой для решения данной проблемы выбран метод анализа иерархий. Известны примеры успешного его применения при решении ряда подобных проблем [34, 69]

Метод анализа иерархий (МАИ) - математический аппарат, разработанный Т. Саати [83] и наиболее подходящий для ранжирования

слабо формализуемых факторов и альтернатив.

Метод анализа иерархий основан на следующих принципах:

- любая сложная проблема может быть подвергнута декомпозиции;
- результат декомпозиции можно представить в виде иерархической системы наслаиваемых уровней, каждый из которых состоит из многих элементов (факторов);
- качественные сравнения экспертами попарной значимости элементов на любом уровне иерархии (субъективные суждения) могут быть преобразованы в количественные соотношения между ними, при этом они будут отражать объективную реальность;
- возможен синтез отношений между различными элементами и уровнями иерархии.

Алгоритм конструирования моделей МАИ начинается с общего описания изучаемой проблемы и определения того, что именно о ней требуется узнать. Далее осуществляется построение иерархии, начиная с вершины, через промежуточные уровни вплоть до самого основания.

Применим метод анализа иерархий для задачи учёта интересов заказчика при проведении геофизических исследований на этапе освоении месторождения полезного ископаемого. В качестве тестового месторождения выбрано Верхнекамское.

На основе нормативных документов [96, 100] и консультаций с основными заказчиками геофизической информации - ведущими научными и производственными специалистами, имеющими значительный опыт работы на месторождении, определен перечень стандартных задач, ставящихся перед геофизическим комплексом на этапе разведки и освоения Верхнекамского месторождения солей.

Наиболее целесообразным представлением структуры системы задач, ставящихся перед геофизическим комплексом, является иерархия. Под иерархией понимается система наслаиваемых уровней, состоящих из многих элементов или факторов, в нашем случае – целей и задач геофизических

исследований.

В рассматриваемой иерархии задачи с некоторой долей условности сгруппированы по общности целей. Некоторые задачи могут являться общими для нескольких групп. Их место в иерархии определено, в этом случае, на основе максимального соответствия целям той или иной группы. Кроме того, при группировке задач учитывались требования методики анализа иерархий: количество групп и задач в группах примерно равны. В перечень включены наиболее типичные задачи, возникающие в процессе освоения месторождения. В нём не отражены некоторые частные, редко встречающиеся вопросы. Оцениваются общие перспективные направления развития геофизических методов, поэтому некоторые задачи являются интегрированными из ряда мелких однотипных на основе общности объектов и физических предпосылок их исследования.

Фокусом иерархии является общая цель всех геологоразведочных и в том числе геофизических работ на Верхнекамском месторождении солей на сегодняшний день – «Обеспечение рационального и безопасного освоения Верхнекамского месторождения солей» (рис.4.1).

При освоении ВКМКС выделяются следующие основные цели ведения геофизических работ – они же группы задач, которые выносятся в заглавия второго уровня нашей иерархии:

1. Обеспечение строительства рудников, наземных объектов калийного предприятия, и экологической безопасности производства;
2. Обеспечение безопасной эксплуатации калийных рудников;
3. Обеспечение эффективности ведения горных работ.

Первая группа задач «Обеспечение строительства рудников и наземных объектов калийного предприятия и экологической безопасности производства» соответствует, в основном, начальному этапу освоения объекта недропользования, либо модернизации, расширения калийного предприятия. Она состоит из 2 подгрупп.

## Обеспечение рационального и безопасного освоения ВКМКС

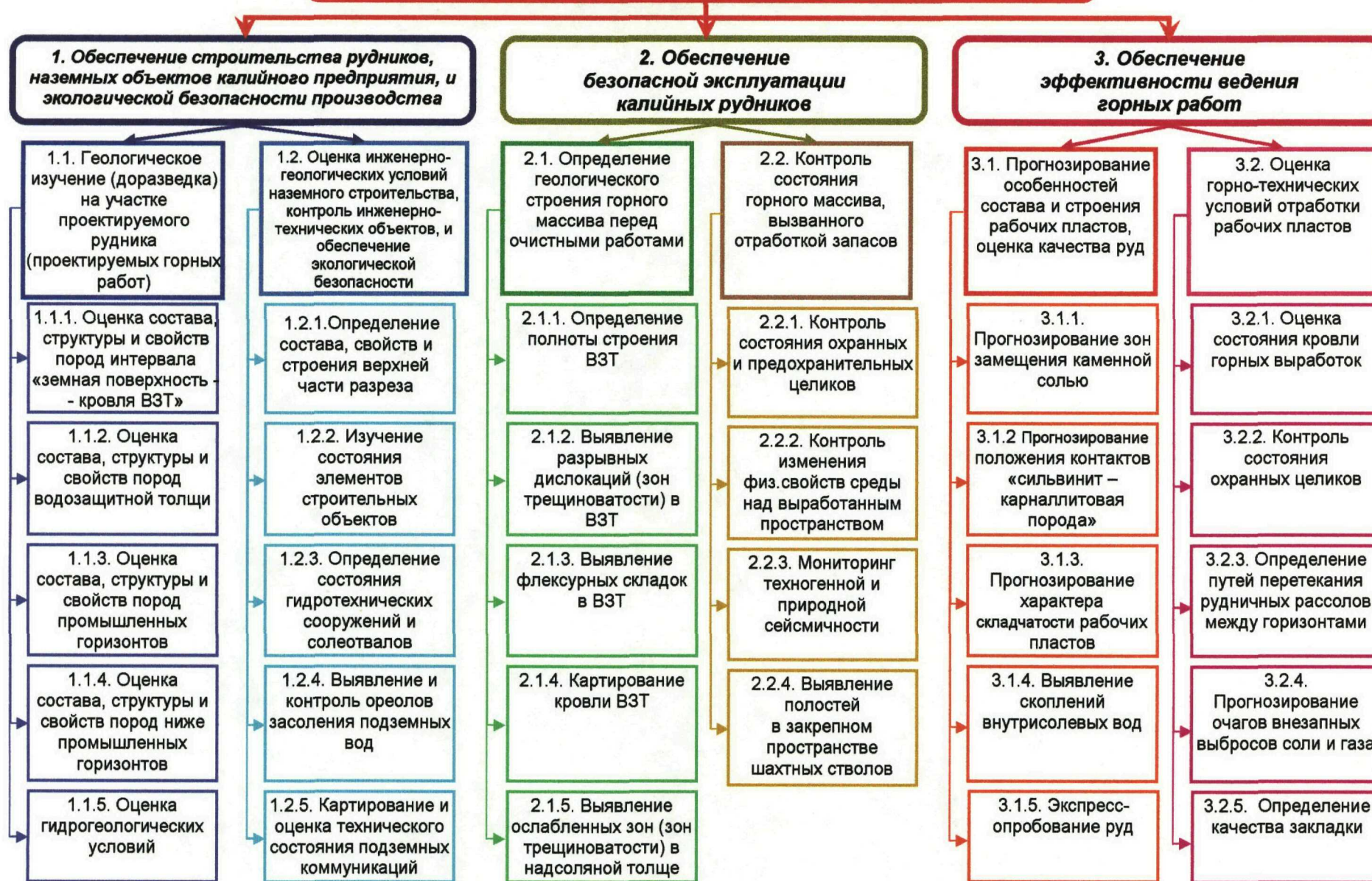


Рис. 4.1 Иерархия задач геофизических исследований на этапе разведки и освоения ВКМКС

*1.1. Геологическое изучение (доразведка) на участке проектируемого рудника (проектируемых горных работ).*

Как уже отмечалось, Верхнекамское месторождение характеризуется сложнейшими горно-геологическими и гидрогеологическими условиями эксплуатации шахтных полей, изученность которых на стадии детальной разведки, предшествующей строительству предприятия, была недостаточна. Подгруппа 1.1 объединяет задачи, решение которых необходимо для доизучения горно-геологических и гидрогеологических условий на разведанных участках, вовлекаемых в промышленное освоение. Сюда входит изучение строения, условий залегания, количества и качества запасов. В данном случае корректным представляется выделять для последующей оценки значимости, следующие интервалы разреза: «земная поверхность - кровля водозащитной толщи»; «водозащитная толща»; «промышленные горизонты»; «разрез ниже промышленных горизонтов». Сюда же входит задача картирования водоносных горизонтов и оценки их гидродинамических и гидрохимических характеристик.

Роль геофизических методов на этом этапе, в силу проведения их в основном в наземном варианте, и, как следствие, соответствующей разрешающей способности, является оценочной, вспомогательной к данным буровых геологоразведочных работ. Исключением является ряд задач, решаемых методами ГИС, но объём разведочного бурения с поверхности земли, при котором используются данные методы, на этапе освоения месторождения не значителен.

Соответственно в этой подгруппе сформулированы следующие задачи:

1.1.1. Оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ».

1.1.2. Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи.

1.1.3. Оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов.

1.1.4. Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных

горизонтов.

1.1.5. Оценка гидрогеологических условий (выявление водоносных горизонтов и оценка их гидродинамических и гидрохимических характеристик).

1.2. *Оценка инженерно-геологических условий наземного строительства, контроль состояния инженерно-технических объектов и обеспечение экологической безопасности.* В подгруппу 1.2 входят инженерно-геологические, инженерно-технические и экологические задачи. Ясно, что все они ставятся не только при строительстве предприятия, но и на протяжении всего времени его деятельности, а также после ликвидации рудника. Однако все они требуют начального решения на этапе создания предприятия. Объединение их в одну подгруппу во многом обязано общности объектов исследований - это поверхностные и приповерхностные объекты и явления.

1.2.1. Определение состава, свойств и строения верхней части разреза на промплощадке и вдоль линейных элементов инфраструктуры. Верхняя часть разреза в данном контексте – это «приповерхностная часть геологической среды мощностью в десятки метров, включающая почвы, грунты, горные породы, поверхностные, грунтовые и подземные воды, приповерхностные физико-геологические явления» (Вахромеев, 1995).

1.2.2. Изучение состояния элементов строительных объектов. К таким элементам относятся фундаменты, балки, сваи.

1.2.3. Определение состояния гидротехнических сооружений и солеотвалов. В этой задаче объединено выявление участков повреждения плёночного экрана дамб, мест перетока в дамбах, пустот в теле солеотвала и т.д.

1.2.4. Выявление и контроль ореолов засоления подземных вод (в районе шламохранилищ и солеотвалов).

1.2.5. Определение положения и оценка технического состояния подземных коммуникаций. К подземным коммуникациям, определение

положения которых доступно геофизикой, относятся: трубопроводы, кабельные линии, захоронённые галереи и выработки. Под техническим состоянием подразумевается определение мест утечек и прорывов трубопроводов.

Задачи второй группы объединены общей целью – обеспечение безопасной эксплуатации калийных рудников. Что включает в себя детальное изучение строения горного массива с началом отработки рудника и последующий контроль его состояния.

*2.1. Определение геологического строения горного массива.* Задачи подгруппы 2.1 нацелены на определение строения и свойств ненарушенного массива и относятся к этапу эксплуатационной разведки. Задачи этой подгруппы ставятся с начала подземных горных работ. Во многом они перекликаются с подгруппой «1.1 - Геологическое изучение на участке проектируемого рудника», но там они носят оценочный характер, а здесь решаются на значительно более детальном уровне с соответствующей степенью достоверности, что обеспечивается возможностью постановки наземных, подземных и наземно-подземных работ. Большинство задач этой подгруппы регламентированы действующими Указаниями по защите рудников от затопления и методическими рекомендациями к ним [100].

2.1.1. Определение полноты строения ВЗТ.

2.1.2. Выявление разрывных дислокаций (зон трещиноватости) в ВЗТ.

2.1.3. Выявление флексурных складок в ВЗТ.

2.1.4. Картирование кровли ВЗТ.

2.1.5. Выявление ослабленных зон (зон трещиноватости) в надсоляной толще.

*2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов.* Решение задач подгруппы 2.2 обеспечивает контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов, с целью сохранности водозащитной толщи и избежания негативных проявлений на поверхности земли.



2.2.1. Контроль состояния охранных и предохранительных целиков.

2.2.2. Мониторинг техногенной и природной сейсмичности.

2.2.3. Контроль изменения физических свойств среды над выработанным пространством.

2.2.4. Выявление полостей в закрепном пространстве шахтных стволов в интервале ВЗТ.

3. Обеспечение эффективности ведения горных работ. Задачи группы 3 ставятся с целью обеспечения эффективности ведения горных работ на калийных рудниках.

*3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд.* Подгруппа 3.1 объединяет задачи, нацеленные на выявление осложнений, влияющих на качество, и отслеживание качества руд до фабрики.

3.1.1. Прогнозирование зон замещения каменной солью.

3.1.2. Прогнозирование положения контактов «сильвинит – карналлитовая порода».

3.1.3. Прогнозирование характера складчатости рабочих пластов.

3.1.4. Выявление скоплений внутрисолевых вод.

3.1.5. Экспресс-опробование руд. Сюда относится определение содержания  $KCl$ , нерастворимого остатка,  $MgCl_2$  в руде, как в естественном залегании в горных выработках, так и по трактам транспортировки.

*3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов.* Подгруппа 3.2 включает задачи оценки и контроля горнотехнических условий ведения горных работ. Ставятся в целях обеспечения безопасности людей, сохранности выработок и механизмов, качественного выполнения закладочных работ.

3.2.1. Оценка состояния кровли горных выработок.

3.2.2. Контроль состояния охранных целиков. Задача 3.2.2. в данном контексте подразумевает контроль состояния междукамерных, междуходовых и междуштрековых целиков на локальных участках в целях

обеспечения сохранности выработок (и, как следствие, безопасности людей и механизмов), на весь период технологического процесса, в отличие от пункта 2.2.1, где подобная задача ставится в целях оценки состояния ВЗТ.

3.2.3. Определение путей перетекания рудничных рассолов между горизонтами.

3.2.4. Прогнозирование очагов внезапных выбросов соли и газа.

3.2.5. Определение качества закладки.

Таким образом, получена иерархия задач геофизических исследований на этапе разведки и освоения калийного месторождения. Это статичная четырёхуровневая иерархическая модель. Она относительно проста. При необходимости более детального анализа одного из направлений геофизических исследований возможно расчленение задач на более мелкие.

Данная модель отражает общую структуру всего массива задач геофизических работ на месторождении, но не отвечает на вопрос, насколько сильно решение отдельных задач влияет на основную цель геолого-геофизического обеспечения горного производства. Явная неравномерность значимости задач приводит к необходимости определения их приоритетов, и, следовательно, в конечном итоге, целесообразности затрачиваемых усилий и средств на их решение.

#### *4.1.2. Ранжирование задач по степени важности*

В методе анализа иерархий приоритеты сравниваемых элементов определяются путём парных сравнений. Учитывая широту проблемы и сложность количественного выражения трудноформализуемых объектов исследования, возникла необходимость проведения экспертного анкетирования.

Состав экспертной группы, участвующей в ранжировании иерархии задач геофизических исследований, включал 10 ведущих производственных и научных специалистов горно-геологического профиля, имеющих значительный опыт работы на Верхнекамском месторождении (таблица 4.1).

Данные о составе экспертной группы

Эксперт	Специальность по диплому	Общий стаж работы по специальности	Стаж работы по специальности на ВКМКС	Занимаемая должность	Учёная степень
1	Технология и комплексная механизация подземной разработки месторождений полезных ископаемых	29	16	Зав. лаб. института	д.т.н.
2	Геологическая съёмка и поиски МПИ	30	30	Зам. начальника управления	-
3	Геолог	40	33	Гл. научн. сотрудник института. Директор научно-производственной фирмы	д.г.-м.н. профессор академик РАЕН
4	Горный инженер-геолог	38	32	Главный геолог	-
5	Горный инженер-геолог	29	25	Главный геолог рудоуправления	-
6	Механик	35	30	Зав.лаб. института	д.т.н. профессор
7	Горный инженер-механик	20	20	Гл. инженер проектов	-
8	Горный инженер	38	38	Гл. инженер проектов	-
9	Горный инженер-геолог	35	24	Заместитель главного геолога	-
10	Инженер-механик исследователь	30	30	зам.директора института	д.т.н.

Нами разработана специальная экспертная анкета (Приложение 1), в которой элементы второго (группы задач), третьего (подгруппы задач) и четвёртого (собственно задачи) иерархических уровней оцениваются по важности между собой методом парных сравнений.

Шкала, в которой проводится оценка важности задач, это целые числа в диапазоне 1-9: от степени равнозначности (1) до абсолютной важности (9) одного оцениваемого элемента над другим. Поэтапно предлагается сравнить важность групп, затем подгрупп и, наконец, самих задач. При этом каждый узел верхнего уровня иерархии функционирует как критерий-цель для

сравнения элементов-задач нижестоящего уровня.

Пример заполненной анкеты одного из экспертов представлен в Приложении 1.

Для обработки результатов анкетирования производится построение множества матриц попарных сравнений (МПС) для всех уровней иерархии. Матрицы обладают свойством обратной симметрии.

Каждое из приведенных суждений кодируется числом от 1/9 до 9. Например, если экспертом придана абсолютно большая степень важности задаче  $A_i$ , (например, «1.1.2. Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи») в сравнении с задачей  $A_j$  (например, «1.1.4. Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов»), то в матрице парных сравнений полагают  $a_{ij} = 9$ ,  $a_{ji} = 1/9 = 0,11$  (рис.4.2).

1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ								
	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5	Собственный вектор	Вектор приоритетов	
1.1.1	1,00	0,20	0,14	5,00	3,00	0,84	0,10	$L_{max} = 5,35$ $IC = 0,09$
1.1.2	5,00	1,00	0,50	9,00	9,00	2,89	0,34	
1.1.3	7,00	2,00	1,00	9,00	9,00	4,08	0,48	
1.1.4	0,20	0,11	0,11	1,00	0,20	0,22	0,03	
1.1.5	0,33	0,11	0,11	5,00	1,00	0,46	0,05	
Сумма	13,53	3,42	1,87	29,00	22,20	8,50	1,00	

Размер матрицы (n)	5
Случайная согласованность для n=5	1,12

**OC = 7,85%**

Рис. 4.2 Пример обработки матрицы парных сравнений

Относительная важность каждого отдельного элемента (группы, подгруппы, задачи) внутри своего уровня находится через "решение" матриц.

Сначала вычисляем множество собственных векторов путём определения геометрических средних. Это можно сделать, перемножая элементы в каждой строке и извлекая корни n-й степени, где n число элементов.

Полученный таким образом столбец векторов приоритетов нормализуется путем деления каждого числа на сумму всех чисел. Тем самым получаем векторы приоритетов, которые и являются в нашем случае «весом» задач в своей подгруппе (рис.4.2).

Каждая МПС проверяется на согласованность. Аппарат проверки согласованности МПС позволяет исключить грубое искажение данных, которое вольно или невольно может допустить эксперт.

Для этого вычисляется относительная согласованность (ОС) матрицы.

Сначала находим индекс согласованности. Порядок его определения заключается в следующем. Сначала проводится суммирование элементов по каждому столбцу, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора приоритетов, сумма второго столбца на вторую компоненту и т.д. Полученные числа суммируются. Таким образом, можно получить  $L_{\max}$  - наибольшее собственное значение обратно симметричной матрицы.

В нашем случае (рис.4.2) наибольшее собственное значение представленной матрицы суждений будет равно:  $L_{\max} = 13,53 \cdot 0,1 + 3,42 \cdot 0,34 + 1,87 \cdot 0,48 + 29 \cdot 0,03 + 22,2 \cdot 0,05 = 1,34 + 1,16 + 0,9 + 0,74 + 1,2 = 5,35$ .

Формула индекса согласованности (ИС) выглядит так:

$ИС = (L_{\max} - n) / (n - 1)$ , где  $n$  - количество сравниваемых элементов.

Для представленной матрицы (рис.4.2):  $ИС = (5,35 - 5) / (5 - 1) = 0,09$ .

Определим отношение согласованности (ОС) элементов матрицы. Для этого воспользуемся средними согласованиями для случайных матриц разного порядка [83]:

Размер матрицы	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность (СС)	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

В нашем случае отношение согласованности составит (рис.4.2):

$ОС = ИС / СС = 0,09 : 1,12 = 0,0785$  (т.е. 7,85%).

Принято считать, что для согласованных данных относительная согласованность (ОС) не должна превышать 10%, в некоторых случаях 20%.

При анализе согласованности выявлено, что в некоторых суждениях экспертов наблюдается как численная (кардинальная) так и транзитивная

(порядковая) несогласованность. Матрицы с численной несогласованностью приняты к анализу, если ОС в пределах допуска. Матрицы с транзитивной несогласованностью предлагались экспертам для пересмотра.

В результате достигнуты допустимые показатели согласованности и отсутствие явно искаженных данных.

Таким образом, путём решения представленной на рис.4.2 матрицы получили локальные приоритеты задач – «веса» задач в подгруппе и проверили данные на согласованность. Подобная операция выполняется с каждой матрицей, содержащей данные попарного сравнения задач в подгруппах, подгрупп в группах и групп между собой. Далее локальные приоритеты перемножаются на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне: «вес» задачи умножается на «вес» включающей её подгруппы и на «вес» группы. Это дает составной или глобальный приоритет каждого элемента иерархии – «вес» задачи в иерархии. В итоге получаем «веса» групп, подгрупп и задач как в целом по иерархии, так и в составе вышестоящего уровня.

Подобным образом обрабатывается экспертная анкета каждого члена экспертной группы.

Далее необходимо выполнить анализ корреляции их мнений. В качестве показателя корреляции использован коэффициент конкордации  $W$ , рассчитанный по формуле Кендалла. Расчет коэффициента конкордации и оценка его значимости проведены посредством программы «Concord\_kof», реализованной на языке VBA в среде MS Excel [67].

Значения коэффициента конкордации могут колебаться в диапазоне от 0 до 1; чем он ближе к 1, тем выше согласованность экспертов. В нашем случае коэффициент конкордации по иерархии составил 0,582, по отдельным ранжировкам от 0,363 до 0,796 (табл.4.2). Во всех случаях коэффициент конкордации значим, что указывает на достаточную степень согласованности мнений экспертов.

## Значения коэффициента конкордации

	W
Ранжирование задач в группах	0,362
	0,41
	0,732
Ранжирование задач в подгруппах	0,796
	0,392
	0,441
	0,503
	0,563
	0,708
Ранжирование задач в целом по иерархии	0,582

Последним этапом обработки результатов экспертизы является определение средних «весов» для всех оцениваемых параметров.

В качестве осредненных оценок весовых коэффициентов, рассчитанных по данным опроса индивидуальных экспертов, выбрана медиана, поскольку она является наиболее устойчивой оценкой математической ожидаемой величины для коротких рядов [2, 46]. Тем самым получаем обобщенное мнение экспертов, не отбрасывая ни одного мнения, поскольку при построении медианы существенно учитываются все индивидуальные ранжировки.

Таким образом, по результатам экспертной оценки получены весовые коэффициенты для групп задач и для каждой задачи, как внутри определённого направления работ, так и во всей совокупности работ по обеспечению безопасной и рациональной отработки ВКМКС (таблица 4.3, рисунки 4.3-4.5).

В целях обоснования состава комплексов геофизических исследований большой интерес представляет распределение «весов» задач внутри отдельных подгрупп, позволяющее оценить их важность при выполнении определённого вида работ (рис.4.5). Эти весовые коэффициенты и будут использованы нами при расчётах геологической информативности методов и их комплексов. В каждой подгруппе выделяется по одной задаче, имеющей подавляющий приоритет важности (рис.4.5). Это: оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи; определение состава, свойств и

Таблица 4.3

## Весовые коэффициенты задач геофизических исследований при освоении ВКМКС

Группа, подгруппа, задача	Вес в подгруппе	Вес в группе	ВЕС В ИЕРАРХИИ
<b>1. Обеспечение строительства калийного предприятия и экологической безопасности производства</b>			<b>0,2028</b>
<i>1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ</i>		<b>0,8750</b>	<b>0,1950</b>
1.1.1. Оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ»	0,0576	0,0488	0,0154
1.1.2. Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи.	0,4953	0,4298	0,1089
1.1.3. Оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов	0,3002	0,2604	0,0528
1.1.4. Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов	0,0274	0,0232	0,0072
1.1.5. Оценка гидрогеологических условий	0,1195	0,1037	0,0257
<i>1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности</i>		<b>0,1250</b>	<b>0,0438</b>
1.2.1. Определение состава, свойств и строения ВЧР на промплощадке и вдоль линейных элементов инфраструктуры	0,3205	0,0423	0,0127
1.2.2. Изучение состояния элементов строительных объектов	0,0982	0,0169	0,0040
1.2.3. Определение состояния гидротехнических сооружений и солеотвалов	0,2565	0,0357	0,0129
1.2.4. Выявление и контроль ореолов засоления подземных вод (в районе шламоохранилищ и солеотвалов)	0,2474	0,0299	0,0073
1.2.5. Определение положения и оценка технического состояния подземных коммуникаций	0,0775	0,0092	0,0038
<b>2. Обеспечение безопасной эксплуатации калийных рудников</b>			<b>0,4906</b>
<i>2.1. Определение геологического строения горного массива</i>		<b>0,5000</b>	<b>0,3021</b>
2.1.1. Определение полноты строения ВЗТ	0,2602	0,1344	0,0553
2.1.2. Выявление разрывных дислокаций (зон трещиноватости) в ВЗТ	0,4666	0,2429	0,1176
2.1.3. Выявление флексурных складок в ВЗТ	0,1114	0,0723	0,0479
2.1.4. Картирование кровли ВЗТ	0,1241	0,0573	0,0286
2.1.5. Выявление ослабленных зон (зон трещиноватости) в надсоляной толще	0,0377	0,0286	0,0170
<i>2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов</i>		<b>0,5000</b>	<b>0,1867</b>
2.2.1. Контроль состояния охранных и предохранительных целиков	0,2163	0,1042	0,0626
2.2.2. Мониторинг техногенной и природной сейсмичности	0,1144	0,0431	0,0236
2.2.3. Контроль изменения физических свойств среды над выработанным пространством	0,2165	0,0894	0,0463
2.2.4. Выявление полостей в закрепном пространстве шахтных стволов в интервале ВЗТ	0,4528	0,2277	0,0857
<b>3. Обеспечение эффективности ведения горных работ</b>			<b>0,3070</b>
<i>3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд</i>		<b>0,7500</b>	<b>0,1767</b>
3.1.1. Прогнозирование зон замещения каменной солью	0,4250	0,3294	0,0600
3.1.2. Прогнозирование положения контактов «сильвинит – карналлитовая порода»	0,1582	0,0866	0,0359
3.1.3. Прогнозирование характера складчатости рабочих пластов	0,1661	0,1026	0,0377
3.1.4. Выявление скоплений внутрисолевых вод	0,1376	0,0459	0,0171
3.1.5. Экспресс-опробование руд	0,1131	0,0663	0,0182
<i>3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов</i>		<b>0,2500</b>	<b>0,1019</b>
3.2.1. Оценка состояния кровли горных выработок	0,1957	0,0957	0,0127
3.2.2. Контроль состояния охранных целиков	0,2030	0,0780	0,0269
3.2.3. Определение путей перетекания рудничных рассолов между горизонтами	0,0472	0,0219	0,0057
3.2.4. Прогнозирование очагов внезапных выбросов соли и газа	0,4959	0,1485	0,0439
3.2.5. Определение качества закладки	0,0582	0,0252	0,0065



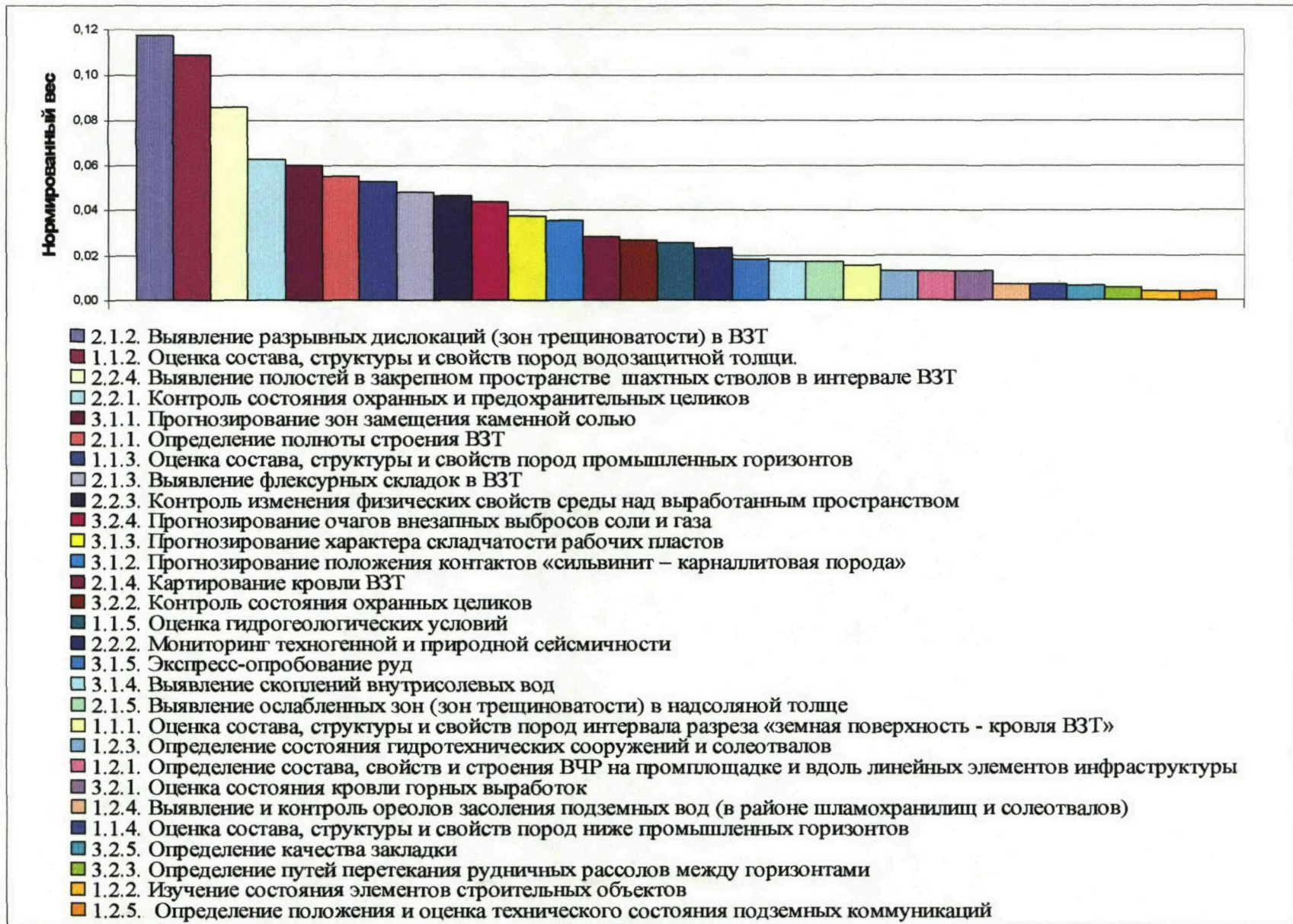


Рис.4.3 Гистограмма распределения нормированных относительных весовых коэффициентов задач геофизических исследований на этапе разведки и освоения ВКМКС

строения верхней части разреза на промплощадке и вдоль линейных элементов инфраструктуры; выявление разрывных дислокаций (зон трещиноватости) в ВЗТ; выявление полостей в закрепном пространстве шахтных стволов в интервале ВЗТ; прогнозирование зон замещения каменной солью; прогнозирование очагов внезапных выбросов соли и газа.

Распределение же «весов» в общем спектре задач на этапе разведки и освоения ВКМКС (рис. 4.3) позволяет оценить приоритетные пути развития горной геофизики на месторождении. Максимальный «вес» имеет группа задач *обеспечения безопасной эксплуатации калийных рудников* (рис.4.4).

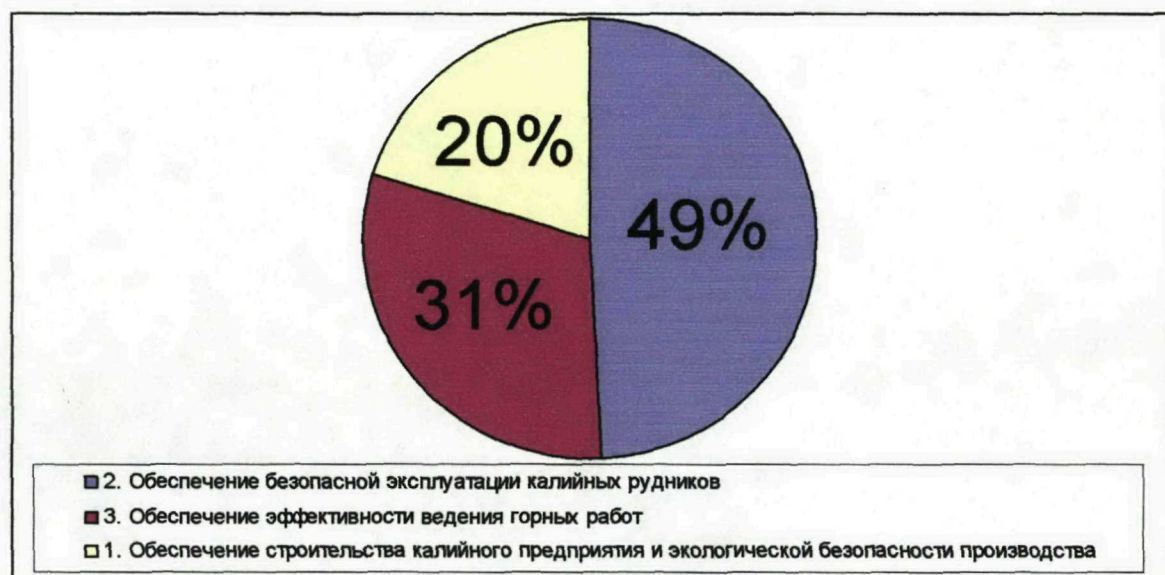


Рис.4.4 Диаграмма распределения нормированных относительных весовых коэффициентов групп задач геофизических исследований при освоении ВКМКС

Как в целом по иерархии, так и в группах задач, относящихся к: геологическому изучению на участке проектируемого рудника; определению геологического строения горного массива перед очистными работами; контролю состояния горного массива, вызванного отработкой запасов, максимальный приоритет имеют задачи, относящиеся к интервалу ВЗТ (рис.4.3, 4.5).

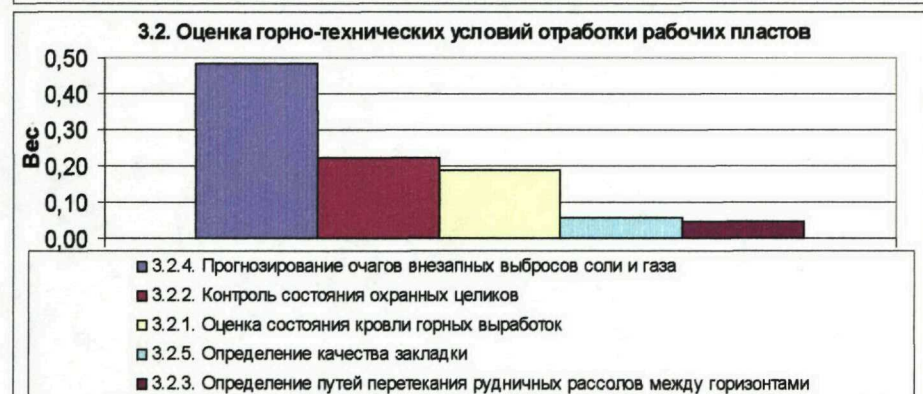
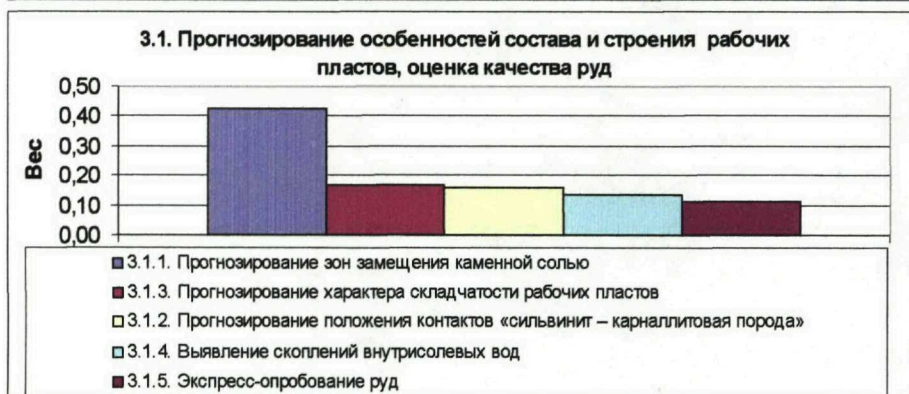
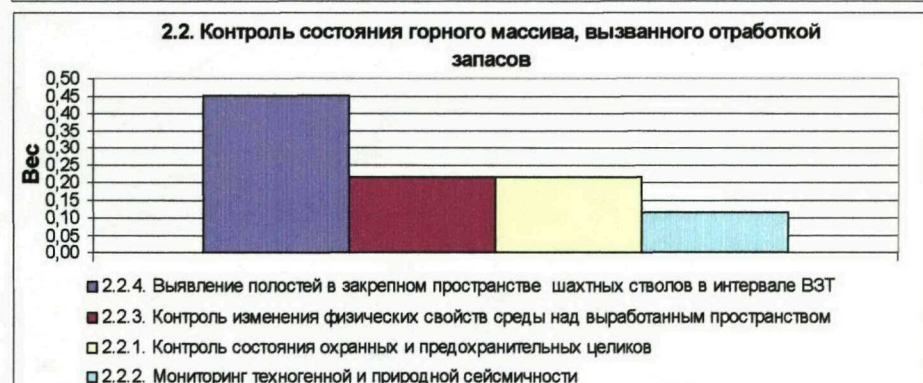
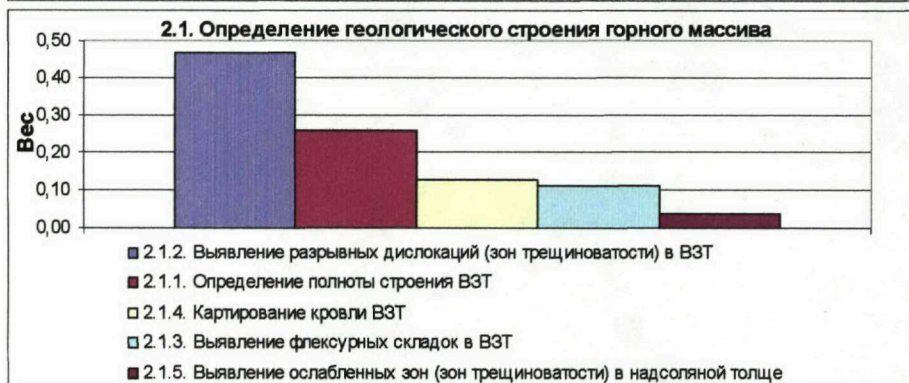
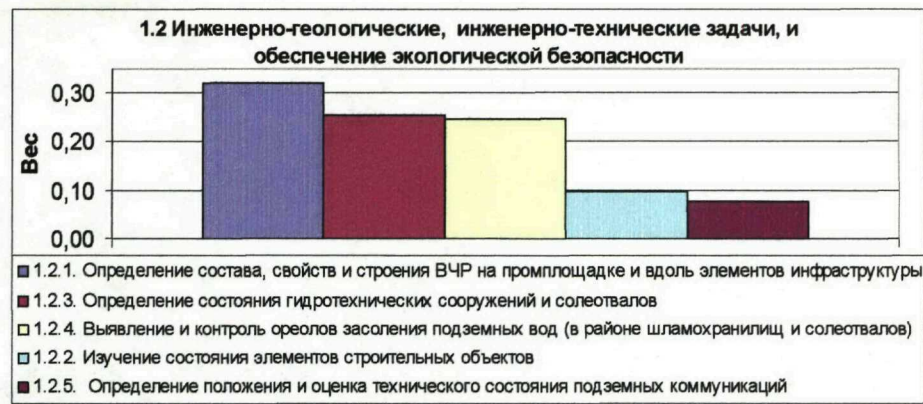
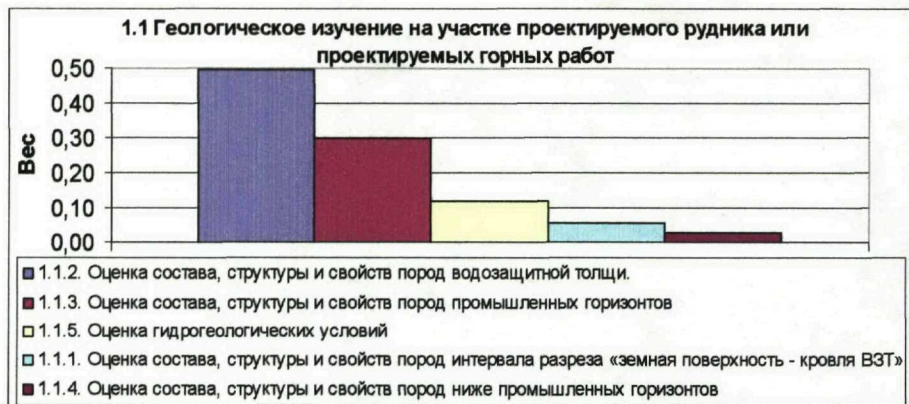


Рис.4.5 Гистограммы распределения нормированных относительных весовых коэффициентов задач геофизических исследований по подгруппам

## **4.2 *Методика геолого-экономического обоснования состава рациональных комплексов геофизических исследований***

На основе физико-геологической модели ВКМКС предыдущими исследователями [76, 150] обоснованы *геологически эффективные комплексы*, сформированные из методов, позволяющих наиболее полно решать основные геологические задачи (раздел 1.2). При этом геологическая информативность оценивалась качественно.

С учётом накопленного опыта на сегодняшний день существуют предпосылки формирования рациональных комплексов при освоении ВКМКС. Это влечёт за собой необходимость нахождения компромисса между геологической информативностью и затратами на проведение работ. Геолого-экономический анализ эффективности методов, лежащий в основе обоснования состава рационального комплекса, требует количественного выражения геологической информативности методов.

### **4.2.1 *Разработка количественной оценки геологической информативности геофизических методов и их комплексов.***

Геологическую информативность геофизического метода или комплекса предлагается определять следующим образом. Анализируется количество видов получаемой информации на единицу площади изучения с учётом важности решаемых задач, разрешающей способности и достоверности данных.

Надо отметить, что нижеприведённые выражения являются относительными, и не столь важны их абсолютные значения, сколь соблюдение принципа создания равных условий для методов при расчётах.

Используются следующие данные:

- точность глубинных построений;

- достоверность геологических заключений;
- количество решаемых задач и их относительная важность в рамках поставленных целей;
- количество видов полезной информации.

Эти данные выражаются в оценочных эмпирических и эвристических коэффициентах, вводящихся на основе общих теоретических представлений и практического опыта, и обобщенно характеризующих реальную информативность видов работ в условиях ВКМКС.

$V_i$  – *весовой коэффициент важности задачи*, полученный в результате экспертного анализа (раздел 4.1). Геофизический метод может обладать множеством возможностей, но следует учитывать объём информации, полезный в рамках поставленных целей. При всём многообразии задач на месторождении, выполнение геофизических работ, в зависимости от того на какой стадии находится геологоразведочный процесс на участке постановки, нацелено на выполнение какой-либо их группы. В таком случае в расчёт принимаются задачи, выполнение которых требуется для достижения данной цели.

Коэффициенты достоверности вводятся с целью учёта надёжности получаемой информации на основе сравнения с данными последующих геологоразведочных работ. Определяется достоверность информации, доступной к проверке прямыми методами.

$K_h$  – *коэффициент точности заключений о глубине залегания геологических объектов* (стратиграфических и литологических границ, тектонических нарушений, зон замещения и т.д.):

$$K_h = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $n$  – количество типов заверяемых геологических объектов,  $\varepsilon_i$  – относительная погрешность определения глубины залегания отдельного типа объектов на основе сравнения с данными последующих геологоразведочных

работ, определяется как среднеарифметическое значение модулей относительных погрешностей вычисленных по нескольким скважинам. Задаём ограничение:  $\varepsilon_i > 0$ .

$K_d$  - коэффициент достоверности, учитывающий степень подтверждаемости геологических заключений, сделанных по результатам геофизических работ:

$$K_d = \frac{Z_{(+)}}{Z} \cdot 100\% \quad , \quad (2)$$

где  $Z_{(+)}$  – число подтверждённых геологических заключений, а  $Z$  – общее число заверяемых аномалий.

$N_{inf}$  – количество видов полезной информации (вычисляемых параметров). У каждого метода существуют измеряемые и вычисляемые параметры. Измеряемые параметры в гравиметрии - ускорение силы тяжести; в сейморазведке - время, амплитуда; в электроразведке ВЭЗ – кажущееся сопротивление. На основе различных методов обработки получают вычисляемые параметры. В гравиметрии - плотность, глубина; в сейморазведке - скорость, глубина, затухание, частота; в электроразведке ВЭЗ - удельное сопротивление, глубина. Вычисляемые параметры представляются в виде карт, разрезов и диаграмм, на основе которых получают информацию о литолого-стратиграфическом расчленении разреза и о распределении физических свойств. Так как глубина является общим вычисляемым параметром для всех оцениваемых методов, то она в количестве видов полезной информации при расчёте информативности не учитывается.

Оценка относительной геологической информативности отдельного метода с использованием представленных параметров выполняется по формуле:

$$\gamma = (K_{hl} \cdot K_{dl} \cdot V_l + \dots + K_{hi} \cdot K_{di} \cdot V_i) \cdot N_{inf} \quad (3)$$

Параметр  $V$  позволяет учесть количество решаемых задач и их важность, а коэффициенты  $K_h$  и  $K_d$  – достоверность решения этих задач.

Коэффициенты  $K_h$  и  $K_d$  применяются как повышающие коэффициенты, при отсутствии данных для их вычисления они упускаются.

При оценке геологической информативности комплекса методов коэффициенты  $K_h$  и  $K_d$  используются максимальные из определённых по результатам оценки достоверности отдельных методов. Более обоснованным представляется использовать оценки достоверности результатов комплексной интерпретации работ оцениваемыми составами комплексов, но на сегодняшний день подобные данные отсутствуют. Количество видов полезной информации  $N_{inf}$  получаем суммированием вычисляемых параметров, исключая дублирование. Это позволяет соблюсти принцип необходимости обеспечения разнородной информации - включение в комплекс нескольких методов или модификаций, основанных на изучении одних и тех же физических полей, не приведёт к значительному увеличению информативности комплекса. Суммирование количества информации выполняется отдельно для каждой решаемой задачи, так как для разных задач, решаемых комплексом, количество информативных параметров может быть различным.

Таким образом, формула (3) принимает вид:

$$\gamma_{\text{компл.}} = N_{inf\Sigma} \cdot K_{h1max} \cdot K_{d1max} \cdot V_1 + \dots + N_{inf\Sigma} \cdot K_{hi max} \cdot K_{di max} \cdot V_i \quad (4)$$

#### *4.2.2 Анализ геолого-экономической эффективности геофизических методов и их комплексов*

Обоснование состава рационального геофизического комплекса основывается на расчётах геолого-экономической эффективности методов и их комплексов и анализе её изменения в зависимости от применяемых методов.

При расчёте геолого-экономической эффективности отдельных методов используется соотношение (на основе формулы Журбицкого Б.И.

$$[44]): \quad L_j = \gamma_j / C_j, \quad (5)$$

где  $\gamma_j$  - информативность метода, а  $C_j$  - затраты на проведение работ.

Обоснование состава комплексов основывается на анализе суммарной эффективности:

$$L = \gamma_{\Sigma} / C_{\Sigma} \quad (6)$$

При этом расчёт  $\gamma_{\Sigma}$  производится не просто суммированием  $\gamma_j$ , а рассчитывается по формуле (4), что позволяет учитывать прирост видов полезной информации, количества и важности решаемых задач, достоверности результатов.

#### *4.2.3 Обоснование рационального комплекса геофизических исследований ВЗТ в районе Дуринского прогиба*

Покажем действие предложенной методики на примере оценки геолого-экономических показателей геофизических исследований, выполненных в районе Дуринского прогиба и прилегающей к нему северной части шахтного поля БКПРУ-4 в 1987-1997 годах. Этот участок выбран потому, что здесь в течение небольшого периода времени проведены все наиболее информативные в условиях ВКМКС геофизические работы: площадная гравиметрическая съёмка в стандартной и векторной обработке, малоглубинная сейморазведка высокого разрешения, площадная электроразведка ВЭЗ. Кроме того, это единственный участок, где имеются данные последующего геологоразведочного бурения.

Оцениваемые геофизические исследования согласно представленной иерархии (раздел 4.1) нацелены на геологическое изучение на участке проектируемых горных работ. В связи с этим анализ выполнялся с учётом важности решения соответствующих задач, что достигается использованием нормированных весовых коэффициентов  $V_i$ , отражающих вес задач в подгруппе.

Так, согласно весовым коэффициентам, наибольшую важность при



геологическом изучении на участке проектируемых горных работ имеет решение задачи оценки состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи.

<b>1.1 Геологическое изучение на участке проектируемых горных работ</b>	$V_i$
1.1.1 Оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность – кровля ВЗТ»	0,0576
1.1.2 Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи.	0,4953
1.1.3 Оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов	0,3002
1.1.4 Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов	0,0274
1.1.5 Оценка гидрогеологических условий	0,1195

В анализе использованы данные заверочных работ по Дуринскому прогибу и прилегающей к нему северной части шахтного поля БКПРУ-4 (см. главу 3).

Стоимость взята по калькуляциям из соответствующих отчётов, договоров и проектов. В связи с тем, что рассматривались разновременные работы, их стоимость приводилась к уровню 1993 года на основе региональных индексов удорожания видов геологоразведочных работ на соответствующие годы, утверждённых территориальным органом МПР РФ. Индексы удорожания взяты из информационных писем Комитета природных ресурсов по Пермской области. Подобный подход практиковался при проектно-сметных работах, выполняемых в горнодобывающих и геологоразведочных организациях в годы ускоренного роста цен. Из-за несовпадения участков исследований разными методами по площади, в вычислениях используем не суммарные затраты на производство работ, а затраты на единицу площади –  $1 \text{ км}^2$ .

Получены следующие геолого-экономические показатели:

1. *Малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения.* Исследования выполнялись Горным Институтом УрО РАН по отдельным профильным линиям.

В результате обработки данных определены 3 параметра (скорость, затухание, частота):  $N_{inf} = 3$ .

В рамках поставленных целей доступны к решению следующие задачи:

- оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ». Весовой коэффициент важности задачи  $V_1 = 0,0576$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи.  $V_2 = 0,4953$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов.  $V_3 = 0,3002$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов.  $V_4 = 0,0274$ .

Выделены 7 стратиграфических границ геологического разреза, выявлены малоамплитудные разрывные нарушения.

По результатам бурения средние относительные погрешности построения кровли стратиграфических границ с учётом максимально возможной ошибки вычисления среднего значения генеральной совокупности по малой выборке (пессимистический прогноз) составили: СМТ – 12,7%, ПП – 6,0%, ПКС – 8,6%, пласт Е – 9,8%, сильвинитовая зона (СЗ) – 6,7%, ПдКС – 13,0%, МГ – 4,2% (см. раздел 3.1).

Находим коэффициенты точности глубинных построений для интервалов (согласно перечню задач):

- для интервала «земная поверхность - кровля ВЗТ» (учитываются погрешности построения кровли СМТ, ПП):

$$K_{h1} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i} \cdot 100\% = \frac{2}{12,7 + 6,0} \cdot 100\% = 10,7;$$

- для интервала водозащитной толщи (учитываются погрешности построения кровли ПКС, пласта Е):  $K_{h2} = \frac{2}{8,6 + 9,8} \cdot 100\% = 10,8$ ;

- для интервала промышленных горизонтов (учитывается погрешность построения кровли СЗ):  $K_{h3} = \frac{1}{6,7} \cdot 100\% = 14,9$ ;

- для интервала ниже промышленных горизонтов (учитывается погрешность построения кровли ПдКС и пласта МГ):

$$K_{h4} = \frac{2}{13,0 + 4,2} \cdot 100\% = 11,6.$$

Вычисляем коэффициент достоверности геологических заключений. Из двух геологических аномалий, выделенных по сейсморазведке, при заверке подтверждены обе (раздел 3.2).  $K_d = \frac{z(+)}{z} \cdot 100\% = \frac{2}{2} \cdot 100\% = 100$ . По глубине выделенные нарушения распространяются по всему разрезу, следовательно, вычисленный коэффициент достоверности будем применять ко всем решаемым задачам.

С использованием вычисленных коэффициентов получаем геологическую информативность сейсморазведочных работ:

$$\begin{aligned} \gamma_{c/p} &= N_{inf} K_d (K_{h1} V_1 + K_{h2} V_2 + K_{h3} V_3 + K_{h4} V_4) = \\ &= 3 \cdot 100 \cdot (10,7 \cdot 0,0576 + 10,8 \cdot 0,4953 + 14,9 \cdot 0,3002 + 11,6 \cdot 0,0274) = 3226,9. \end{aligned}$$

Затраты на выполнение сейсморазведочных работ на площади 1 км<sup>2</sup> составили  $C_{c/p} = 684$  тыс.руб. (в ценах 1993 года).

Геолого-экономическая эффективность сейсморазведочных работ при геологическом изучении на участке проектируемых горных работ составляет:

$$L_{c/p} = \gamma_{c/p} / C_{c/p} = 3226,9 / 684 = 4,7.$$

Аналогичным образом, с использованием результатов анализа достоверности выполненных исследований (разделы 3.2.1 и 3.2.2), проводим геолого-экономическую оценку остальных работ.

2. Гравиметрическая съёмка по сети 100x500 метров в стандартной обработке, выполненная ПГО "Уралгеология".

По данным гравиметрии определена плотность:  $N_{inf} = 1$ .

В рамках поставленных целей доступны к решению следующие задачи:

- оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ». Весовой коэффициент важности задачи  $V_1 = 0,0576$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи.  $V_2 = 0,4953$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов.  $V_3 = 0,3002$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов.  $V_4 = 0,0274$ .

Построена структурная карта кровли ПКС, предполагаются разрывные нарушения и «зона отсутствия или разубоживания калийной залежи».

По результатам заверочного бурения средняя относительная погрешность построения кровли ПКС с учётом максимально возможной ошибки вычисления среднего значения генеральной совокупности по малой выборке (пессимистический прогноз) составила 15,6%. Следовательно, коэффициент точности глубинных построений для интервала водозащитной толщи:

$$K_{h2} = \frac{1}{15,6} \cdot 100\% = 6,4.$$

Для расчёта коэффициентов точности глубинных построений, касающихся решения остальных задач ( $K_{h1}$ ,  $K_{h3}$  и  $K_{h4}$ ), данных не имеется. Поэтому они упускаются.

Из 9 региональных геологических объектов, предполагаемых по результатам гравиметрических работ ПГО "Уралгеология" в этом районе, последующим бурением подтверждены два. Предполагаемые объекты

являются «сквозными» - относятся ко всем четырём решаемым задачам, следовательно, коэффициент достоверности для задач принимается единым:

$$K_d = \frac{z(+)}{z} \cdot 100\% = \frac{2}{9} \cdot 100\% = 22,2.$$

С использованием вычисленных коэффициентов получаем геологическую информативность гравиразведочных работ в стандартной обработке:

$$\begin{aligned} \gamma_{z/p \text{ станд.}} &= N_{inf} K_d (V_1 + K_{h2} V_2 + V_3 + V_4) = \\ &= 1 \cdot 22,2 \cdot (0,0576 + 6,4 \cdot 0,4953 + 0,3002 + 0,0274) = 78,9. \end{aligned}$$

Затраты на выполнение гравиразведочных работ на площади 1 км<sup>2</sup> составили  $C_{z/p \text{ станд.}} = 44,3$  тыс.руб. (в ценах 1993 года).

Геолого-экономическая эффективность гравиразведочных работ в стандартной обработке при геологическом изучении на участке проектируемых горных работ составляет:

$$L_{z/p \text{ станд.}} = \gamma_{z/p \text{ станд.}} / C_{z/p \text{ станд.}} = 78,9 / 44,3 = 1,8.$$

*3. Переинтерпретация материалов гравиметрической съёмки по сети 100x500 метров с использованием векторной обработки, выполненная ГИ УрО РАН.*

По данным гравиметрии определена плотность:  $N_{inf} = 1$ .

В рамках поставленных целей доступны к решению следующие задачи:

- оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ». Весовой коэффициент важности задачи  $V_1 = 0,0576$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи.  $V_2 = 0,4953$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов.  $V_3 = 0,3002$ ;

- оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов.  $V_4 = 0,0274$ .

В результате переинтерпретации построена структурная карта кровли ПКС, предполагаются разрывные нарушения и «зоны влияния Дуринского прогиба на калийную залежь» (по определению исполнителей работ).

По результатам заверочного бурения средняя относительная погрешность построения кровли ПКС с учётом максимально возможной ошибки вычисления среднего значения генеральной совокупности по малой выборке (пессимистический прогноз) составила 12,3%. Следовательно, коэффициент точности глубинных построений для интервала водозащитной толщи:

$$K_{h2} = \frac{1}{12,3} \cdot 100\% = 8,1.$$

Для расчёта коэффициентов точности глубинных построений, касающихся решения остальных задач ( $K_{h1}$ ,  $K_{h3}$  и  $K_{h4}$ ), данных не имеется. Поэтому они упускаются.

Из четырёх заверяемых объектов бурением подтверждены три. Предполагаемые объекты являются «сквозными» - относятся ко всем четырём решаемым задачам, следовательно, коэффициент достоверности для задач принимается единым:  $K_d = \frac{z_{(+)}}{z} \cdot 100\% = \frac{3}{4} \cdot 100\% = 75$ .

С использованием вычисленных коэффициентов получаем геологическую информативность гравirazведочных работ в векторной обработке:

$$\begin{aligned} \gamma_{z/p \text{ вект.}} &= N_{inf} K_d (V_1 + K_{h2} V_2 + V_3 + V_4) = \\ &= 1,75 \cdot (0,0576 + 8,1 \cdot 0,4953 + 0,3002 + 0,0274) = 330,9. \end{aligned}$$

Для расчёта затрат на выполнение гравirazведочных работ с последующей переинтерпретацией из общей стоимости работ ПГО «Уралгеология» вычтена стоимость камеральной обработки и прибавлены затраты на переинтерпретацию. Затраты на выполнение гравirazведочных работ в варианте векторной обработки на площади 1 км<sup>2</sup> составили  $C_{z/p \text{ вект.}} = 74$  тыс.руб. (в ценах 1993 года).

Геолого-экономическая эффективность гравиразведочных работ в векторной обработке при геологическом изучении на участке проектируемых горных работ составляет:

$$L_{z/p \text{ вект.}} = \gamma_{z/p \text{ вект.}} / C_{z/p \text{ вект.}} = 330,9/74 = 4,5.$$

4. *Электроразведка ВЭЗ (детализационная съёмка по сети 250x100), выполненная ПГО «Уралгеология» [83].*

По данным ВЭЗ определялось кажущееся электрическое сопротивление:  $N_{inf} = 1$ .

В рамках поставленных целей доступны к решению следующие задачи:

- оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ». Весовой коэффициент важности задачи  $V_1 = 0,0576$ ;

- оценка гидрогеологических условий.  $V_5 = 0,1195$ .

Получены мощности четвертичных отложений, ПЦТ, предполагаются зоны разрывных нарушений, крутопадающие обводнённые зоны повышенной трещиноватости пород надсоляной толщи.

Для интервала «земная поверхность - кровля ВЗТ» (учитываются погрешности определения мощности четвертичных отложений и ПЦТ) коэффициент точности глубинных построений равен:

$$K_{h1} = \frac{2}{34,9 + 25,8} \cdot 100\% = 3,3;$$

Из трёх региональных геологических объектов, предполагаемых по результатам ВЭЗ в надсоляной толще, последующим бурением подтверждены три:

$$K_{d1} = \frac{z_{(+)}}{z} \cdot 100\% = \frac{3}{3} \cdot 100\% = 100.$$

Данный коэффициент также применяем к задаче оценки состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ».

Для задачи оценки гидрогеологических условий коэффициенты не вычисляются, так как в результатах электроразведочных работ не представлены количественные данные о гидрогеологических показателях (уровне подземных вод, границах гидрохимических зон в разрезе).

С использованием вычисленных коэффициентов получаем геологическую информативность выполненных электроразведочных работ:

$$\gamma_{э/р} = N_{inf} K_{dl} K_{hl} V_1 + N_{inf} V_5 = 1 \cdot 100 \cdot 3,3 \cdot 0,0576 + 1 \cdot 0,1195 = 19,1.$$

Затраты на выполнение электроразведочных работ по детализационной сети 250x100 на площади 1 км<sup>2</sup> составили  $C_{э/р} = 109,8$  тыс.руб. (в ценах 1993 года).

Геолого-экономическая эффективность электроразведочных исследований методом ВЭЗ по сети 250x100 метров с разносами до 1500 метров при геологическом изучении на участке проектируемых горных работ составляет:

$$L_{э/р} = \gamma_{э/р} / C_{э/р} = 19,1 / 109,8 = 0,2.$$

Выполним расчёты геолого-экономической эффективности при геологическом изучении на участке проектируемых горных работ для различных вариантов состава комплексов.

Геолого-экономическая эффективность гравиразведочных работ в векторной обработке по результатам наших расчётов оказывается выше, чем в варианте стандартной обработки. На основании этого в дальнейших расчётах эффективности комплексов рассматриваем только гравиразведочные работы в векторной обработке.

#### *1. Комплекс:*

- малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения;
- гравиметрия в векторной обработке.

Задачи, решаемые методами, представлены выше в расчётах их информативности. Коэффициенты достоверности используются максимальные из достигнутых по результатам какого-либо из двух методов.



Количество видов полезной информации для всех решаемых задач  $N_{inf\Sigma} = 4$  (плотность, скорость, затухание, частота).

$$\begin{aligned} \gamma_{c/p+z/p} &= N_{inf\Sigma} K_{dmax} (K_{h1max} V_1 + K_{h2max} V_2 + K_{h3max} V_3 + K_{h4max} V_4) = \\ &= 4 \cdot 100 \cdot (10,7 \cdot 0,0576 + 10,8 \cdot 0,4953 + 14,9 \cdot 0,3002 + 11,6 \cdot 0,0274) = 4302. \end{aligned}$$

С использованием суммарных затрат на проведение работ на площади  $1 \text{ км}^2$   $C_\Sigma = 684 + 74 = 758$  тыс.руб. (в ценах 1993 года):

$$L_{c/p+z/p} = \gamma_\Sigma / C_\Sigma = 4302 / 758 = 5,7.$$

Аналогично выполняем вычисления для комплексов других составов.

## 2. Комплекс:

- малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения;
- электроразведка ВЭЗ.

Количество видов полезной информации для решаемых задач разное, так как электроразведка ВЭЗ решает только задачи оценки состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ» и оценки гидрогеологических условий. Коэффициенты достоверности для задачи оценки гидрогеологических условий упускаются, так как для их расчётов нет данных.

$$\begin{aligned} \gamma_{c/p+z/p} &= N_{inf\Sigma 1} K_{d1max} K_{h1max} V_1 + N_{inf\Sigma 2} K_{d2max} K_{h2max} V_2 + N_{inf\Sigma 3} K_{d3max} K_{h3max} V_3 + \\ &N_{inf\Sigma 4} K_{d4max} K_{h4max} V_4 + N_{inf\Sigma 5} V_5 = 4 \cdot 100 \cdot 10,7 \cdot 2 \cdot 0,0576 + 3 \cdot 100 \cdot 10,8 \cdot 0,4953 + \\ &3 \cdot 100 \cdot 14,9 \cdot 0,3002 + 3 \cdot 100 \cdot 11,6 \cdot 0,0274 + 1 \cdot 0,1195 = 3288. \end{aligned}$$

$$L_{c/p+z/p} = \gamma_\Sigma / C_\Sigma = 3288 / 793,8 = 4,1.$$

## 3. Комплекс:

- гравиметрия в векторной обработке;
- электроразведка ВЭЗ.

$$\begin{aligned} \gamma_{z/p+z/p} &= 2 \cdot 100 \cdot 3,3 \cdot 0,0576 + 1 \cdot 75 \cdot 8,1 \cdot 0,495 + 1 \cdot 75 \cdot 0,3002 + 1 \cdot 75 \cdot 0,027 + 1 \cdot 0,1195 = \\ &= 364,7. \end{aligned}$$

$$L_{z/p+z/p} = \gamma_\Sigma / C_\Sigma = 364,7 / 183,8 = 2.$$

## 4. Комплекс:

- малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения;
- гравиметрия в векторной обработке;

- электроразведка ВЭЗ.

$$\gamma_{c/p+z/p+\varepsilon/p} = 5 \cdot 100 \cdot 10,7 \cdot 0,0576 + 2 \cdot 100 \cdot 10,8 \cdot 0,495 + 2 \cdot 100 \cdot 14,9 \cdot 0,3002 + \\ + 2 \cdot 100 \cdot 11,6 \cdot 0,027 + 1 \cdot 0,1195 = 4364.$$

$$L_{c/p+z/p+\varepsilon/p} = \gamma_{\Sigma} / C_{\Sigma} = 4364 / 867,8 = 5.$$

Результаты расчётов сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

**Относительная геолого-экономическая эффективность геофизических методов и их комплексов при геологическом изучении на участке проектируемых горных работ**

Метод, Комплекс методов	Стоимость работ на площади 1 км <sup>2</sup> С, тыс.руб. (в ценах 1993 г.)	Геологическая информативность $\gamma$	Геолого- экономическая эффективность L
		Относительные единицы	
<b>Отдельные методы</b>			
Гравиметрия в стандартной обработке (ПГО Уралгеология, 1990)	44,3	78,9	1,8
Гравиметрия в векторной обработке (ГИ УрО РАН, 2001)	74	330,9	4,5
Малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения (ГИ УрО РАН, 1995- 96)	684	3226	4,7
Электроразведка ВЭЗ (ПГО Уралгеология, 1989)	109,8	19,1	0,2
<b>Комплексы методов</b>			
Сейсморазведка Гравиметрия векторная	758	4302	5,7
Сейсморазведка Электроразведка ВЭЗ	793,8	3288	4,1
Гравиметрия векторная Электроразведка ВЭЗ	183,8	364,7	2
Сейсморазведка Гравиметрия векторная Электроразведка ВЭЗ	867,8	4364,3	5,0

На основании полученных результатов по расчёту эффективности применения отдельных геофизических методов и их комплексов в целях геологического изучения на участке проектируемых горных работ можно сделать следующие выводы:

- наиболее эффективным методом является малоглубинная сейморазведка высокого разрешения, незначительно меньше эффективность гравиметрии в векторной обработке;

- использование векторной обработки повышает эффективность гравиразведочных работ, прирост геологической информативности при этом перекрывает дополнительные затраты на выполнение векторной обработки;

- эффективность использования электроразведки ВЭЗ в варианте интерпретации Пермской геологоразведочной экспедиции ПГО «Уралгеология» является низкой; по ряду участков месторождения результаты данной съёмки ВЭЗ переинтерпретированы сотрудниками ГИ УрО РАН, но в связи с отсутствием данных заверки прямыми методами мы не выполняем расчёт эффективности этого вида исследований;

- максимальная эффективность наблюдается при комплексировании сейморазведки и гравиразведки в векторной обработке, оба этих метода позволяют решать основные задачи геологического изучения на участке проектируемых горных работ, использование разнородных физических параметров повышает геологическую информативность.

- введение электроразведки ВЭЗ в оцениваемом варианте исполнения в комплекс любого состава даёт прирост геологической информативности, но за счёт относительно высокой стоимости работ снижает эффективность комплекса.

Данные выводы относятся к составу комплекса при решении задач лишь одного из направлений геофизических исследований - геологического изучения на участке проектируемых горных работ, когда на первый план выходит задача исследования водозащитной толщи. При выполнении

оценочных действий с учётом необходимости решения других видов задач, результаты соответственно изменятся.

Предлагаемая методика позволяет обосновывать наиболее эффективный состав комплекса в пределах затрат, планируемых на решение каких-либо геологических и горно-технических задач. Результативность методики зависит от наличия данных по заверке материалов геофизических работ. Такие данные будут пополняться за счёт геологоразведочного бурения при доразведке или доизучении резервных участков месторождения, возобновлённого в последние годы. Кроме того, желательна организация систематизированного сбора информации по геологическому строению вскрываемых горными работами аномальных зон, предполагаемых по результатам геофизических работ.

Методика не исключает субъективные факторы решения проблемы выбора состава геофизического комплекса, но предоставляет аппарат для получения количественных данных, что ведёт к повышению обоснованности применяемых комплексов и, соответственно, к повышению эффективности геофизических работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований по теме диссертационной работы сводятся к следующему:

1. На основе геоинформационной системы создана информационная модель Верхнекамского калийного месторождения. Данная модель позволяет оценить детальность и качество геофизического обеспечения горного производства. Геоинформационный проект «Геофизическая изученность» является неотъемлемой частью последующих проектов геофизических исследований на территории месторождения.

2. Сформирована иерархия задач геофизических исследований на Верхнекамском калийном месторождении. Задачи ранжированы по степени значимости для горного производства на основе методики анализа иерархий. Полученная классификация позволяет оценить соответствие возможностей составляющих геофизического комплекса ставящимся задачам и уточнить приоритетные направления развития горной геофизики.

3. Разработано понятие геологической информативности геофизических методов при решении задач обеспечения горного производства. Оно включает в себя совокупность следующих данных:

- точность глубинных построений и достоверность геологических заключений по результатам геофизических исследований;
- количество решаемых задач и их относительную важность в рамках поставленных целей;
- количество видов полезной информации.

4. Разработана методика обоснования состава рациональных геофизических комплексов на различных стадиях освоения месторождения полезного ископаемого на основе геолого-экономического анализа их составляющих. Данная методика является составной частью системы проектирования рациональных комплексов геофизических исследований при освоении месторождений полезных ископаемых.

5. Информационная модель месторождения и обоснованный в работе состав рационального комплекса применялись при разработке проектов геолого-геофизических работ по доизучению Усть-Яйвинского участка и по мониторингу северо-восточной части шахтного поля БКПРУ-1.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ:

БКПРУ	- Березниковское калийное производственное рудоуправление
ВЗТ	- водозащитная толща
ВКМКС	- Верхнекамское месторождение калийных солей
ВНИИГ	- Всероссийский научно-исследовательский институт галургии.
ВЦМГС	- Верхнекамский центр мониторинга геологической среды
ВЧР	- верхняя часть разреза
ВЭЗ	- вертикальное электрическое зондирование
ГДЯ	- газодинамическое явление
ГИ УрО РАН	- Горный институт Уральского отделения Российской Академии Наук
ГИС	- географическая информационная система
ГИС	- геофизические исследования скважин
ГП	- государственное предприятие
КМПВ	- корреляционный метод преломленных волн
МАИ	- метод анализа иерархий
МОВ	- метод отражённых волн
МОГТ	- метод общей глубинной точки
МПС	- матрица парных сравнений
МСП	- метод сейсмического просвечивания
МТЗ	- магнитотеллурическое зондирование
НДС	- напряженно-деформированное состояние
НИР	- научно-исследовательская работа
НМСВР	- невзрывная малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения
НПГС	- наземно-подземная гравиметрическая съёмка
НПП	- наземно-подземное просвечивание
ОАО	- открытое акционерное общество
ОГ	- отражающая граница
ПГУ	- Пермский государственный университет
ПдКС	- подстилающая каменная соль
ПКГРЭ	- Пермская комплексная геологоразведочная экспедиция
ПКС	- покровная каменная соль
ПП	- переходная пачка
ППИ, ППУ	- Пермский политехнический институт (университет)
СЗ	- сильвинитовая зона
СКЗ	- сильвинит-карналлитовая зона
СКРУ	- Соликамское калийное рудоуправление
СМТ	- соляно-мергельная толща
СЭП	- симметричное электропрофилирование
ТКТ	- терригенно – карбонатная толща

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андрейко С.С. Основные направления и результаты исследований в решении проблемы газодинамических явлений в калийных рудниках // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2000 году. Пермь, 2001, С. 80-83.
2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. - М.: Финансы и статистика, 2000.
3. Андрейчук В.Н. Березниковский провал. Пермь: Изд-во УрО РАН, 1996.
4. Асанов В.А., Барях А.А., Кудряшов А.И., Санфиоров И.А. Взаимосвязь физико-механических свойств соляных пород с особенностями геологического строения массива // Проблемы безопасности и совершенствования горных работ: Тез. докл. междунар. конф. Пермь, 1999. С. 8-9.
5. Бабкин А.И. Система локального прогноза сейсморазведкой МОГТ газонасыщенных участков в соляной толще // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2000 году. Пермь, 2001, С. 137-141.
6. Бабкин А.И. Шахтная сейсмоакустика по методике многократных перекрытий. Автореф. ... канд. техн. наук. Пермь, 2001, 19 с.
7. Барях А.А. Геомеханические аспекты защиты калийных рудников от затопления // Изв. ВУЗов. Горный журнал. Уральское горное обозрение, № 6, 1995.
8. Барях А.А., Санфиоров И.А., Еремина Н.А., Бабкин А.И., Сабиров Р.Х., Гилев М.В., Мынка Ю.В. Контроль за развитием аварийных ситуаций на калийных рудниках // Горный журнал, 1997, № 12.
9. Барях А.А., Санфиоров И.А., Кудряшов А.И., Квиткин С.Ю. Региональный прогноз осложнений строения и геодинамического состояния соляной толщи в пределах ВКМКС // Мониторинг геологической среды на объектах горнодобывающей промышленности: Тез. докл. 1-го Всеросс. сов-я. Березники, 1999. С. 71-72.
10. Белоликов А.И., Сапегин Б.И. Верхнекамское калийное месторождение // Проблемы прогноза, поисков и разведки горнохимического сырья СССР. М.: Недра, 1971, С. 193-209.
11. Бельтюков Г.В. Надсолевые рассолы Верхнекамского соленосного бассейна // Формирование подземных вод артезианских бассейнов. Л., 1968, С. 57-59.
12. Бельтюков Г.В. Техногенный карст в условиях Верхнекамского соляного бассейна // Проблемы изучения техногенного карста. Кунгур, 1988.
13. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. М.: 1997. - 64 с.
14. Бродовой В.В. Геофизические исследования в рудных провинциях. - М.: Недра, 1984.



15. Бродовой В.В. Комплексование геофизических методов. М.: Недра, 1991.

16. Вахромеев Г.С. Основы методологии комплексования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1973. - 152 с.

17. Вишняков Э.Х. Роль геофизических исследований в калийном горнодобывающем и обогатительном производстве // Использование методов прикладной геофизики в калийной промышленности: Л., ВНИИГ, 1986, - С. 5-21.

18. Геофизические методы исследования / Под ред. В.К.Хмелевского.- М.: Недра, 1988.

19. Гершанок В.А., Чадаев М.С. Районирование гравитационных аномалий на территории Пермского Прикамья по глубине залегания их источников // Вестник Пермского ун-та, вып. 4, Геология. – Пермь, 1997. С.193-198.

20. Гершанок Л.А. Особенности строения кристаллического фундамента Соликамской впадины по магнитным съёмкам различных масштабов // Геофизика и математика: Мат-лы Второй Всероссийской конференции, Пермь, 2001.

21. ГИС для геологических исследований. М: Наука, 2000. – 257 с.

22. Глебов С.В. Анализ геофизической изученности Верхнекамского месторождения солей // Проблемы комплексного мониторинга на месторождениях полезных ископаемых: Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. – Пермь, 2002. - С. 101-104.

23. Глебов С.В. Анализ достоверности геофизических исследований северной части Быгельско-Троицкого участка ВКМС // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов: Материалы международной научно-практической конференции и научной сессии Горного института УрО РАН. – Пермь, 2003. - С. 159-163.

24. Глебов С.В. Геофизическое обеспечение разработки Верхнекамского месторождения солей // Горный информационно-аналитический бюллетень: М., 2004. - №9. - С. 89-92.

25. Глебов С.В. Обоснование исходных данных для оценки информативности геофизических методов при разработке Верхнекамского месторождения солей // Горный информационно-аналитический бюллетень: М., 2005. - №9. - С. 72-75.

26. Глебов С.В. Техничко-экономические подходы к изучению возможностей комплексования геофизических исследований. // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. – Пермь, 2004.- С.174-177.

27. Глебов С.В., Квиткин С. Ю., Санфиров И.А. Комплекс геофизических работ при ведении мониторинга геологической среды на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. // 1 Всероссийское совещание по мониторингу геологической среды на объектах горнодобывающей промышленности: Тезисы докладов. – Березники. - 1999. – С. 75 – 76.

28. Глебов С.В., Квиткин С.Ю., Миронов С.А. Развитие комплекса шахтных геофизических методов на рудниках ОАО «Уралкалий» // Кунгурская ледяная пещера. 300 лет научной и туристической деятельности: Материалы международной научно-практической конференции. – Кунгур, 2003. - С. 314-320.

29. Голубев Б.М. Геологическое строение Дуринской депрессионной структуры Верхнекамского месторождения калийных солей и вопросы комплексного недропользования этой территории // Геология, разработка, бурение и эксплуатация нефтяных месторождений Пермского Прикамья. Вып. 1. Пермь: ОАО ПермНИПИНефть, 1999. - С. 75-89.

30. Голубев Б.М. Особенности внутреннего строения соляной толщи Верхнекамского калийного месторождения // Проблемы соленакопления. Тр. всесоюзн. солев. совещ., т. 2. Новосибирск: Наука, 1977. - С. 115-118.

31. Голубовский В.А., Кучин Е.А. ГИС «Геофизическая Изученность РФ» // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. №3, 2000. - С. 4.

32. Горюшина С.А., Нужденова Е.М. и др. ГИС "Природные ресурсы России" // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. №3, 2000. - С. 5.

33. Гридин В.И. Денисенко В.Е., Дон А.М., Кондратов Л.С., Ручнов В.И., Стадник Е.В. Сопряженная интерпретация геофизической, геохимической и системно-аэрокосмической информации // Сб. докладов Международной науч. конф. "Геофизика и современный мир". М.: ВИНТИ, 1993. - С. 251-252.

34. Губайдулин М.Г. Геоэкологические условия освоения минерально-сырьевых ресурсов европейского севера России. Архангельск: Поморский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 2002. - 309 с.

35. Джиноридзе Н.М., Аристаров М.Г., Поликарпов А.И. и др. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. СПб-Соликамск: ОГУП Соликамская типография, 2000. - 400 с.

36. Джиноридзе Н.М., Киселева О.В., Мелкова Н.В. и др. Зоны разрывных и флексурно-складчатых дислокаций на Верхнекамском месторождении калийных солей: парагенез с аномальным типом строения и состояния пород водозащитной толщи, природа и время образования // Тектоника, минералообразование и их значение в решении проблемы безопасной эксплуатации месторождений калийных солей. - С.-Пб.: ВНИИГ, 1992. - С. 55-98.

37. Джиноридзе Н.М., Мелкова Н.В., Павленский А.Н. и др. К проблеме происхождения зон «замещения» в пределах Верхнекамского месторождения // Условия образования месторождений калийных солей. – Новосибирск: Наука, 1990. - С. 165-174.

38. Джиноридзе Н.М., Павленский А.Н., Плотников Ю.А. и др. Геологические аспекты проблемы безопасной эксплуатации калийных

рудников // Геофизические аспекты изучения геологического строения калийных солей. - Л.: ВНИИГ, 1989. - С. 23-52.

39. Дягилев Р.А. Концепция работ по сейсмологическому контролю на калийных рудниках // Материалы научной сессии Горного института по результатам НИР в 2000 году. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. С. 212-217.

40. Иванов А.А. Пермские соленосные бассейны Печоро-Камского Предуралья // Новосибирск, Сиб. отд. АН СССР, 1965. - 98с.

41. Иванов А.А., Воронова М.Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. Л., Недра, 1975.

42. Инструкция по защите рудников от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных горных разработок в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей. Союз производителей и экспортёров калия. С.-Пб, 1994.

43. Кассин Г.Г., Филатов В.В. Геодинамический анализ Верхнекамского месторождения калийных солей по геофизическим данным // Геофизические аспекты изучения геологического строения калийных солей. - Л.: ВНИИГ, 1989. - С. 75-84.

44. Кассин Г.Г., Филатов В.В. Методика и результаты изучения трещиноватости осадочных пород Верхнекамского месторождения калийных солей // Известия УГГГА, вып. 15. Сер. Геология и геофизика, 2002. - С. 214-219.

45. Квиткин С.Ю. Об анизотропии геологических полей Верхнекамского калийного месторождения // Состав и условия образования морских и континентальных галогенных формаций. Новосибирск: Наука, 1991. С. 108-110.

46. Кемени Дж., Дж. Снелл. Кибернетическое моделирование. — М.: Советское радио, 1972. - 192 с.

47. Кирмасов А.Б. Анализ пространственных данных средствами ArcView // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. № 2, 2002. - С.13.

48. Колесников В.П. Автоматизированная система интерпретации электрических зондирований: принципы и методы реализации, опыт решения геологических задач. Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Тезисы докладов Международной школы-семинара. Апатиты, 2002. С.42-43.

49. Колесников В.П., Татаркин А.В. Опыт применения шахтной электрометрии в условиях Верхнекамского месторождения солей. Вестник Горного института УрО РАН «Горное эхо», 2003.

50. Комплексование геофизических методов при решении геологических задач. Под редакцией Никитского В.Е. и Бродового В.В.-М.: Недра, 1987.

51. Комплексование методов разведочной геофизики. Справочник геофизика.-М.: Недра, 1984.

52. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений.- М.: Недра, 1990.

53. Константинова С.А., Аникин Н.Ф., Чернопазов С.А., Квиткин С.Ю., Глебов С.В. Геомеханический мониторинг напряжённо-деформированного состояния водозащитной толщи как элемента геологической среды региона ВКМКС. // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях: Материалы шестого Международного симпозиума. – Белгород: ВИОГЕМ. – 2001.

54. Константинова С.А., Кассин Г.Г., Глебов С.В. О Геодинамическом районировании недр и земной поверхности на Верхнекамском месторождении калийных солей. // Геомеханика в горном деле – 2000: Доклады международной конференции. – Екатеринбург: Институт горного дела УрО РАН. - 2000

55. Константинова С.А., Марakov В.В., Аникин Н.Ф., Копнин В.И., Кузнецов Н.В., Глебов С.В. Эндогенные, экзогенные и техногенные процессы на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. // Проблемы формирования и комплексного освоения месторождений солей: Материалы международной конференции. – Пермь: Горный институт УрО РАН. – 2001. – С.55-63.

56. Константинова С.А., Мустафин Д.Г., Глебов С.В. Закладка выработанного пространства отходами производства как способ снижения техногенных нагрузок на недра при разработке пластового калийного месторождения. // Геотехнологии: проблемы и перспективы: Сборник трудов Второй Международной научно-практической конференции. – Москва-Тула: Тульский госуниверситет. 2001. - С. 225-226.

57. Копнин В.И. Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевых и каменной солей и природных рассолов // Изв. вузов. Горный журнал, 1995, № 6. - С. 10-43.

58. Копнин В.И. Строение водозащитной толщи Верхнекамского месторождения и вопросы её формирования // Проблемы изучения водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных солей: Мат-лы II рег. сов-я. Березники: АО «Уралкалий», 1991.- С. 56-65.

59. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. -М.: СП "Дата+", 1998. - 118 с.

60. Корочкина О.Ф., Кудряшов А.И. Системы трещин в соляной толще Верхнекамского месторождения калийных солей // Мат-лы III рег. совещ. Пермь, 1991.- С. 16-24.

61. Кошев Г.Я, Глебов С.В. Методы прогноза и предупреждения техногенных и природных катастроф на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. // Геомеханика в горном деле – 2000: Доклады международной конференции. – Екатеринбург: Институт горного дела УрО РАН. - 2000. – С. 306 –313.

62. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей// Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. - 429с.

63. Кудряшов А.И. Флюидогеодинамика и горно-геологические условия разработки Верхнекамского месторождения калийных солей // Комплексное освоение недр Западного Урала. - Свердловск: УрО РАН, 1991. - С. 3-7.

64. Кудряшов А.И., Васюков В.Е., Фон-дер-Флаасс Г.С. и др. Разрывная тектоника Верхнекамского месторождения солей. ГИ УрО РАН. Пермь, 2004.

65. Кузнецов Н.В. Проблемы изучения водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных солей // Пробл. формирования и освоения м-ний полезн. ископ. солеродных бассейнов. (Тез. докл. V Междунар. солевого совещ.). СПб.: Изд-во РАН, 1994. - С. 74.

66. Кузнецов Н.В., Котельников А.Н. Анализ причин затопления рудника БКРУ-3 на Верхнекамском месторождении // Тектоника, минералообразование и их значение в решении проблемы безопасной эксплуатации месторождений калийных солей. СПб.: ВНИИГ, 1992.- С. 135-145.

67. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н., Статистика в науке и бизнесе. Практическое руководство. ООО «МОРИОН». Киев, 2002.

68. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Баранов Ю.В. Мониторинг природной и техногенной сейсмичности на территории За-падно-Уральского региона // Геофизика и математика. Материалы Второй всероссийской конференции (под ред. Страхова В.Н.). Пермь: ГИ УРО РАН, 2001.- С. 367-370

69. Методические основы кадастровой оценки земли, выделенной для добычи полезных ископаемых. Пермь: ГИ УРО РАН, 2001. -155 с.

70. Молев А.М., Молев М.Д. Техничко-экономические аспекты организации геоэкологического мониторинга на угольных шахтах // Проблемы экономики и организации производственных и социальных систем: Сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. - С. 80-84.

71. Молев М.Д. Методологические аспекты выбора комплекса геофизических методов исследования массива горных пород // ГИАБ: М., 1999. - №6. - С.153-156.

72. Молев М.Д. Прогнозирование горно-геологических условий подземной разработки угля на основе комплексных геофизических исследований. Автореф. ... д-ра техн. наук. - М., 2001.- 41 с.

73. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексование геофизических методов. М., 2004.

74. Новоселицкий В.М. и др.. Проблемы, направления и результаты гравиметрических исследований в Соликамской впадине // Проблемы формирования и комплексного освоения месторождений солей (VI солевое совещание): Материалы междунар. конф. Соликамск, 2000.

75. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилова А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Уральского Поволжья. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. - 131 с..

76. Новоселицкий В.М., Санфиоров И.А., Щербинина Г.П., Юзвак В.П. Геофизическое обеспечение разработки Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный журнал. Уральское горное обозрение №6. 1995.

77. Новоселицкий В.М., Щербинина Г.П., Погадаев С.В., Плотникова Н.Ю. О латеральной неоднородности плотностных свойств толщ осадочного чехла на территории Верхнекамского месторождения калийных солей // Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: Тез. докл. Междунар. симпозиума SPM-95, Москва-Пермь. Пермь, 1995.

78. Нужденова Е.М., Кужелева А.И. и др. Создание цифровых карт геологического содержания // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. №3, 2000.- С.5.

79. Писеев Н.А., Молев М.Д. Опыт планирования горных работ на основе шахтной геофизики. // "Уголь".-1995.-N 1.-С.60-61.

80. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые) // Министерство природных ресурсов РФ. - М., 1999.

81. Пригара А.М. Прогноз строения и свойств горного массива на основе сейсмо моделирования. Автореф. ... канд. техн. наук. Пермь, 2004 г.

82. Раевский В.И., Фивег М.П., Герасимова В.В. и др. Месторождения калийных солей СССР. Методы их поисков и разведки. Л.: Недра, 1973. - 344 с.

83. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993.- 316 с.

84. Санфиоров И. А., Бабкин А. И., Голуб Д. Г. Малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения – как инструмент оценки напряженно-деформированного состояния // Напряжения в литосфере: Тезисы докладов. – Москва, 1994.- С. 157-159.

85. Санфиоров И. А., Прийма Г. Ю., Семерикова И. И., Пригара А. М. Достоверность интерпретационных выводов малоглубинной сейсморазведки // Проблемы горного недроведения и системологии: Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. – Пермь, 1999.- С. 3-5.

86. Санфиоров И.А. Организация сейсморазведочных исследований на ВКМКС // Тезисы докладов Всероссийского совещания “Мониторинг геологической среды на объектах горнодобывающей промышленности”, Березники, 1999.

87. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. Екатеринбург: УрО РАН, 1996.

88. Санфиоров И.А., Прийма Г.Ю., Бабкин А.И., Квиткин С.Ю., Ярославцев А.Г. Прогноз локальных тектонических нарушений водозащитной толщи невзрывной сейсморазведкой МОГТ // Горные науки на рубеже XXI века: Тез. докл. междунар. конф., Москва-Пермь. Пермь, 1997. - С 164-165.

89. Санфиоров И.А., Семерикова И.И. Отображение в сейсмических волновых полях геологических моделей разрывно-складчатых зон на

Верхнекамском месторождении калийных солей // Построение физико-геологической модели и системный подход при истолковании результатов геофизических исследований. - Пермь: ПермГУ, 1993.

90. Сапегин Б.И., Янин В.Н. Основные черты тектоники Верхнекамского месторождения // Строение и условия формирования месторождений калийных солей. Новосибирск, Наука, 1981.- С.118-124.

91. Сидоров В.К. Сейсмические границы в водозащитной толще по материалам акустического каротажа // Проблемы комплексного изучения водозащитной толщи на месторождениях калийных солей: Тез.докл.рег.сов-я. Пермь: ГИ УрО АН СССР, 1989. - С. 31-32.

92. Степанов Ю.И. Краткая геоэлектрическая характеристика ВЧР Пермского Прикамья по результатам наземных наблюдений методом ВЭЗ. // Межвуз. сб.научн. трудов Пермского ун-та «Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа». Пермь, 2001. - С.94-97.

93. Тархов А.Г., Бондаренко В.М., Никитин А.А. Комплексирование геофизических методов. М.: Недра, 1991.

94. Титлинов В.С., Журавлева Р.Б., Вязникова О.Н. Возможности и некоторые результаты комплексных частотных зондирований на Верхнекамском месторождении калийных солей // Геофиз. аспекты изучения геол. строения месторождений калийных солей. Л.: ВНИИГ, 1989. - С. 84-94.

95. Тиханов П.М., Власов Д.А., Усманов Р.И. Опыт применения послонного сейсмоскоростного профилирования при детальном изучении геологического разреза // Проблемы комплексного изуч. водозащитной толщи на месторождениях калийных солей. Пермь, 1989.

96. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых, М., МПР РФ, 2000.

97. Указания по охране сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок Верхнекамского калийного месторождения и по охране калийных рудников от затопления. ВНИИГ, Л., 1972.

98. Указания по охране зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок и по охране рудников от затопления в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей. Л.: ВНИИГ, 1985. - 323 с.

99. Указания по защите рудников от затопления в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей. ВНИИГ, Л., 1990.

100. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей. ВНИИГ. Санкт-Петербург, 2004 г.

101. Усиков Ю.Т. Достоверность геолого-разведочной информации. М.: Недра, 1988. - 119 с.

102. Фивег М.П. Верхнекамский калийный бассейн // Месторождения калийных солей СССР. Методы их поисков и разведки. Л.: Недра, 1973.- С. 104-142.

103. Филатов В.В., Кассин Г.Г., Попов Б.А. Геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей // Изв. ВУЗов. Горный журнал, 1995 № 6. - С. 150-162.

104. Филиппов С.А., Корочкина О.Ф. Проявления дизъюнктивной тектоники в продуктивной толще Верхнекамского месторождения калийных солей // Геотектоника, 1990, № 1. - С. 64-67.

105. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 1.- Дубна: Международный университет природы, общества и человека "Дубна", 1997.

106. Хронусов В.В., Панькова Е.А., Касимова О.В., Глебов С.В., Вареных Е.Г. Программное обеспечение мониторинга геологической среды Верхнекамского месторождения калийных солей. // 1 Всероссийское совещание по мониторингу геологической среды на объектах горнодобывающей промышленности: Тезисы докладов. – Березники. - 1999. – С. 38 – 39.

107. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. Серия "Диалог с компьютером". -М.: Финансы и статистика, 1998. - 286 с.

108. Чадаев М.С., Гершанок В.А. Система глубинных разломов Пермского Приуралья на основе совместного анализа гравитационного и магнитных полей // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз.сб. Перм. ун-т. Пермь, 1998. - С.48-59.

109. Чадаев М.С., Новоселицкий В.М., Маргулис А.С. Методические рекомендации по применению векторной градиентной съемки с гравиметрами. Пермь: КамНИИКИГС, 1991.

110. Шайтура С.В. Геоинформационные системы и методы их создания. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 1997. - 253 с.

111. Шиман М.И. Предотвращение затопления калийных рудников. М: Недра, 1992. - 175 с.

112. Щербинина Г.П. Новый подход к выявлению участков, опасных для разработки Верхнекамского месторождения калийных солей // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2000 году. Пермь, 2001. - С. 99-106.

113. Щербинина Г.П. О латеральной изменчивости свойств каменной соли Верхнекамского месторождения // Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: Мат-лы междунар. Симпозиума SPM-95, Москва-Пермь. Екатеринбург: ГИ УрО РАН, 1997. - С. 93-98.

114. Шокин Ю.П. Анализ причин затопления калийных рудников ГДР и ФРГ подземными водами и рассолами // Тр. ВНИИГ. 1969. Вып. 51. - С. 23-40.

115. Элашвили М., Годоладз Т. Использование ГИС для анализа сейсмической активности в Грузии // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. №3, 2000. - С.13.

116. Anatomy of Crisis // Can. Mining J. 1985. Vol. 106, № 12. - P. 10-11.



117. Gendzwill D.J., Stead D. Rock mass characterization around Saskatchewan potash mine openings using geophysical techniques: a review // Canadian Geotechnical Journal, 1992, vol. 29, № 4. - P. 666-674.

118. Getting to Know ArcView GIS 3.x. ESRI Press. 1999. - 660 p.

119. Michael S. Pesowski, P.Geoph., Ronald K. Larson, P.Geoph. Surface Seismic Applied to Potash Mining in Canada – Historical Perspective. 101st Annual General Meeting of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum and CIM Tradex '99. CALGARY, 1999.

#### ФОНДОВАЯ:

120. Барях А.А. и др. Геофизические исследования Соликамской впадины. Отчёт о НИР ГИ УрО РАН. Пермь, 2002. Фонды ГИ УрО РАН.

121. Барях А.А. и др. Мониторинг геологической среды в северо-восточной части шахтного поля рудника БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий». Отчет о НИР ГИ УрО РАН. Пермь, 2002. Фонды ГИ УрО РАН.

122. Барях А.А., Белкин В.В., Глебов С.В. и др. Программа работ по организации и ведению мониторинга геологической среды в северо-восточной части шахтного поля рудника Первого Березниковского калийного рудоуправления ОАО «Уралкалий». ГИ УрО РАН. ОАО «Уралкалий». Пермь-Березники, 2002. Фонды ОАО «Уралкалий».

123. Барях А.А., Санфиоров И.А. Сейсморазведочные исследования состояния околоствольного пространства соляного массива в пределах юго-восточной части промплощадки БКПРУ-3. ГИ УрО РАН. Пермь, 2004.

124. Барях А.А., Санфиоров И.А., Еремина Н.А. и др. Переинтерпретация сейсморазведочных материалов в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей. Отчет о НИР ГИ УрО РАН. Пермь, 1996. Фонды ГИ УрО РАН.

125. Белкин В.В., Глебов С.В. Дополнение к Генеральному проекту «Мониторинг геологической среды южной части Верхнекамского соленосного бассейна». Шахтный геофизический мониторинг состояния ВЗТ в пределах аномальных зон рудников ОАО «Уралкалий». ОАО «Уралкалий». Березники, 2003. Фонды ОАО «Уралкалий».

126. Белкин В.В., Глебов С.В. и др. Генеральный проект «Мониторинг геологической среды южной части Верхнекамского соленосного бассейна». ОАО «Уралкалий», Березники, 2003. Фонды ОАО «Уралкалий».

127. Белкин В.В., Глебов С.В. и др. Мониторинг геологической среды Верхнекамского солеродного бассейна. Сводный отчет за 1998-2002 гг. ОАО «Уралкалий». Березники, 2003. Фонды ОАО «Уралкалий».

128. Беляев В.П. и др. Отчет о геофизических работах на Верхнекамской площади за 1987-1989 г.г. УПГО, 1989. Фонды ОАО «Уралкалий».

129. Букин Б.Ю. Отчет о результатах геофизических работ, проведенных в 1970-1972 г.г. на Талицко-Быгельском участке в Усольском районе Пермской области. УПГО, 1972. Фонды ОАО «Уралкалий».

130. Васильев С.В. Отчёт о бурении и опробовании структурных скважин с целью уточнения верхней границы водозащитной толщи на Быгельско-Троицком участке ВКМКС. Уралгеология. Березники, 1992. Фонды ОАО «Уралкалий».

131. Васильев С.В., Квиткин С.Ю. Отчет о бурении двух специальных скважин в районе геофизических аномалий во втором блоке 1 юго-восточной панели рудника Четвертого строящегося Березниковского завода. Пермская ГРЭ. 1988. Фонды ОАО «Уралкалий».

132. Вишняков Э.Х. Заключение по результатам шахтных геофизических работ на опытном участке БКЗ-4. С-Петербург. ВНИИГ. 1992. Фонды ОАО «Уралкалий».

133. Временная инструкция по проведению наземных и подземных электроразведочных работ с целью обеспечения безопасной отработки Верхнекамского месторождения калийных солей / авт. Колесников В.П. и др./ Пермь, ГИ УрО РАН, 2002. Фонды ОАО «Уралкалий».

134. Временная инструкция по шахтной электрической разведке водозащитной толщи калийных рудников Верхнекамского месторождения. Ленинград, 1988. Фонды ОАО «Уралкалий».

135. Глебов С.В. и др. Мониторинг геологической среды Верхнекамского солеродного бассейна. Информационный отчет за 2005 год. ОАО «Уралкалий». Березники, 2006. Фонды ОАО «Уралкалий».

136. Глебов С.В., Ковальская В.В., Миронюк С.Н. Проект на геологическое доизучение северной части Усть-Яйвинского участка. УПиБГРР ОАО «Уралкалий». Березники, 2004. Фонды ОАО «Уралкалий».

137. Денисов М.И., Никитин А.Г., Мартемьянов В.В. Отчет по геологическому доизучению м-ба 1:200000 групповым методом листов Р-40-XXXIII (южная половина), Р-40-XXXIV (юго-западная часть), О-40-III, О-40-IV (западная половина), О-40-IX (северная половина), О-40-X (северо-западная часть) в бассейнах рек Камы, Яйвы, Глухой Вильвы на среднем Урале за 1977-1980 гг. Пермь, 1980. Фонды ФГУ Пермского ТФГИ.

138. Ефимова О.М. и др. Материалы по геофизической изученности. ПГРП, Березники, 1990. Фонды ОАО «Уралкалий».

139. Ефимова О.М. Отчёт по производству опытно-методических опытно-промышленных подземных сейсмо- и гравиразведочных работ. УПиБГРР. Березники, 1998. Фонды ОАО «Уралкалий».

140. Задорожная В.Ю., Перевалова Ю.В. Отчёт об опытных работах методом ЗСБ на Березниковском месторождении. Саратов. 1992. Фонды ОАО «Уралкалий».

141. Инструкция по шахтной сейсморазведке (применительно к условиям Верхнекамского месторождения калийных солей). ГИ УрО РАН. ОАО «Уралкалий». Пермь - Березники. 2003. Фонды ОАО «Уралкалий».

142. Кассин Г.Г., Филатов В.В., Суворов В.В. Геологическая интерпретация результатов детальных гравиметрических и магнитных съемок. Отчет о НИР УГИ по теме 62-203-89. Свердловск, 1991. Фонды ОАО «Уралкалий».

143. Колесников В.П. и др. Отчет о НИР "Проведение опытно-методических работ по использованию методов электрометрии для изучения строения и состояния соляного массива". Пермь, 2000. Фонды ГИ УрО РАН.

144. Колесников В.П. и др. Отчет о НИР "Проведение подземных и наземных работ методом становления поля с целью изучения физического состояния ВЗТ". Пермь, 2001. Фонды ГИ УрО РАН.

145. Колесников В.П. Проведение мониторинговых электроразведочных работ на участке обрушения пород шахтного поля СКРУ-2. 1999. Фонды ГИ УрО РАН.

146. Меньшиков Ю.П. Отчёт по опытно-методическим работам по изучению сейсморазведкой соляной тектоники ВКМКС в 1990-1992 гг. Шеелит. 1995. Фонды ОАО «Уралкалий».

147. Новоселицкий В.М. Гравиметрические исследования на участке сейсмического явления 1997г. на БКПРУ-2. 1999. Фонды ОАО «Уралкалий».

148. Новоселицкий В.М. Гравиметрический мониторинг на участке обрушения пород в горных выработках СКРУ-2. 1999. Фонды ГИ УрО РАН.

149. Новоселицкий В.М. и др. Гравиметрические исследования на Шершнёвской площади. Отчет о НИР ГИ УрО РАН. Пермь, 2001. Фонды ФГУ Пермского ТФГИ.

150. Новоселицкий В.М. и др. Методические указания по геофизическому обеспечению разработки Верхнекамского месторождения калийных солей. Пермь. 1994. Фонды ОАО «Уралкалий».

151. Новоселицкий В.М. и др. Разработка методики проведения и интерпретации наземно-подземных гравиметрических и сейсмических работ на Верхнекамском месторождении калийных солей (второй этап). ГИ УрО РАН. Пермь 1988. Фонды ГИ УрО РАН.

152. Новоселицкий В.М. и др. Результаты комплексных геофизических исследований на территории Верхнекамского месторождения калийных солей. ППИ. Пермь. 1987. Фонды ОАО «Уралкалий».

153. Новоселицкий В.М., Колесников В.П. и др. Комплексная переинтерпретация материалов электроразведочных и гравиразведочных работ на Усть-Яйвинском участке, ГИ УрО РАН.: Пермь, 2004. Фонды ОАО «Уралкалий».

154. Новоселицкий В.М., Сидоров В.К. и др. Расчёт положения сейсмических и акустических эффективных границ. ГИ УрО РАН. Пермь. 1991. Фонды ОАО «Уралкалий».

155. Новоселицкий В.М., Щербинина Г.П. и др. Создание полигона для разработки рационального комплекса и адаптации геолого-геофизических наземных и подземных методов изучения ВЗТ на Верхнекамском месторождении калийных солей. ГИ УрО РАН. Пермь. 1992. Фонды ОАО «Уралкалий».

156. Новоселицкий В.М., Щербинина Г.П. и др. Создание полигона для разработки рационального комплекса и адаптации геолого-геофизических наземных и подземных методов изучения ВЗТ на

Верхнекамском месторождении калийных солей. ГИ УрО РАН. Пермь. 1995. Фонды ОАО «Уралкалий».

157. Новоселицкий В.М., Щербинина Г.П. Результаты изучения Дуринского прогиба по материалам градиентной обработки гравиметрической съёмки., 1991г. Фонды ОАО «Уралкалий».

158. Нояксова А.Д., Шваб С.В. и др. Отчет о результатах гравиметрической съёмки м-ба 1:25000 Верхнекамской площади, проведенной в 1986-1990 гг. ПГО «Уралгеология». Свердловск, 1990. Фонды ОАО «Уралкалий».

159. Петрик А.И. и др. Сопряженная инвентаризация природных ресурсов на базе обработки системно-аэрокосмической и подземно-наземной информации в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей (на территории деятельности ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит») в масштабе 1:50000. «Агрохимбезопасность». С.-Пб., 1998. Фонды ОАО «Уралкалий».

160. Петрик А.И. Ретроспективный мониторинг геологической среды Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей методами сопряженной инвентаризации природных ресурсов и техногенных образований на базе обработки системно-аэрокосмической и подземно-наземной информации. М., Агрохимбезопасность, 2002. Фонды ОАО «Уралкалий».

161. Петров А.Н., Мельников В.Ф., Цыганков В.А.. Отчёт о результатах гравиметровой съёмки масштаба 1:25000, выполненной в северной, северо-восточной и западной частях ВКМКС в 1974-1979 гг., 1979г. Фонды ОАО «Уралкалий».

162. Плотников Ю.А. и др. Отчет о доразведке северной части Быгельско-Троицкого, южных частей Соликамского и Ново-Соликамского участков Верхнекамского месторождения калийных солей, выполненной в 1991-1999 гг. Березники, 2002. ВГФ.

163. Санфиоров И.А. и др. Опережающие сейсморазведочные исследования 3-D в северо-восточной части СП БКПРУ-1. ГИ УрО РАН. Пермь, 2001. Фонды ОАО «Уралкалий».

164. Титлинов В.С., Журавлева Р.В. Методика и результаты работ методом индукционного частотного зондирования на аварийном участке Верхнекамского месторождения калийных солей в 1986 г. ИГ УрО АН СССР, 1986. Фонды ОАО «Уралкалий».

165. Улитин Р.В., Пьянков В.А., Иваев М.Г. Разработка комплексной геофизической методики с целью выявления и изучения динамики проницаемых зон в пределах шахтных полей. ИГ УрО АН СССР, 1987.

166. Усманов Р.И. О проведении сейсморазведочных работ методом ПССП в 1988г. Казань. 1988. Фонды ОАО «Уралкалий».

167. Харитонов Т.В., Оборин В.В., Беляев В.П. Отчет о геологическом доизучении м-ба 1:50000 Верхнекамской площади с общими поисками в Соликамском, Усольском, Березниковском районах Пермской области,

выполненных в 1988-1992 гг. Пермь, ПГГСП «Геокарта», 1992. Фонды ФГУ Пермского ТФГИ.

168. Цыганков В.А., Басиева М.Л., Торсунов А.В. и др. Обобщение и переинтерпретация геофизических материалов по Верхнекамскому месторождению калийно-магниевых солей с целью выбора методики геофизических работ при крупномасштабном (1:50000) комплексном геологическом, гидрогеологическом и инженерно-геологическом изучении площади //Пермь: Пермская ГРЭ, 1988. Фонды ОАО «Уралкалий».

**ЭКСПЕРТНАЯ АНКЕТА  
«РАНЖИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НА СТАДИИ ОСВОЕНИЯ ВКМКС ПО СТЕПЕНИ ВАЖНОСТИ»**

**Сравнение важности групп задач**

**Обеспечение рационального и безопасного освоения ВКМКС**

<i>1. Обеспечение строительства калийного предприятия и экологической безопасности производства</i>					<b>Какая из групп задач имеет большее значение для достижения выделенной цели?</b>					<i>2. Обеспечение безопасной эксплуатации калийных рудников</i>				
									V					
абсолютно большее		значительно большее		существенно большее	умеренно большее		равноценно		умеренно большее		существенно большее		значительно большее	абсолютно большее

**Обеспечение рационального и безопасного освоения ВКМКС**

<i>1. Обеспечение строительства калийного предприятия и экологической безопасности производства</i>					<b>Какая из групп задач имеет большее значение для достижения выделенной цели?</b>					<i>3. Обеспечение эффективности ведения горных работ</i>				
									V					
абсолютно большее		значительно большее		существенно большее	умеренно большее		равноценно		умеренно большее		существенно большее		значительно большее	абсолютно большее

**Обеспечение рационального и безопасного освоения ВКМКС**

<i>2. Обеспечение безопасной эксплуатации калийных</i>					<b>Какая из групп задач имеет большее значение для достижения выделенной цели?</b>					<i>3. Обеспечение эффективности ведения горных работ</i>				
									V					
абсолютно большее		значительно большее		существенно большее	умеренно большее		равноценно		умеренно большее		существенно большее		значительно большее	абсолютно большее

## Сравнение важности подгрупп задач

### 1. Обеспечение строительства калийного предприятия и экологической безопасности производства

<i>1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ</i>					Какая из подгрупп задач имеет большее значение в выделенной группе?					<i>1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности</i>					
<i>V</i>								<i>V</i>							
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

### 2. Обеспечение безопасной эксплуатации калийных рудников

<i>2.1. Определение геологического строения горного массива</i>					Какая из подгрупп задач имеет большее значение в выделенной группе?					<i>2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов</i>					
								<i>V</i>							
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

### 3. Обеспечение эффективности ведения горных работ

<i>3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд</i>					Какая из подгрупп задач имеет большее значение в выделенной группе?					<i>3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов</i>					
								<i>V</i>							
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## Сравнение важности задач в подгруппах

### 1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ

<i>1.1.1. Оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ»</i>					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					<i>1.1.2. Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи</i>					
														<i>V</i>	
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

### 1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ

<i>1.1.1. Оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ»</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.1.3. Оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов</i>						
																V
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ

<i>1.1.1. Оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ»</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.1.4. Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов</i>						
									V							
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ

<i>1.1.1. Оценка состава, структуры и свойств пород интервала разреза «земная поверхность - кровля ВЗТ»</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.1.5. Оценка гидрогеологических условий</i>						
														V		
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ

<i>1.1.2. Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.1.3. Оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов</i>						
									V							
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше



**1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ**

<i>1.1.2. Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи</i>					<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>					<i>1.1.4. Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов</i>					
V															
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно			умеренно больше		существенно больше	значительно больше	абсолютно больше

**1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ**

<i>1.1.2. Оценка состава, структуры и свойств пород водозащитной толщи</i>					<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>					<i>1.1.5. Оценка гидрогеологических условий</i>					
					V										
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно			умеренно больше		существенно больше	значительно больше	абсолютно больше

**1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ**

<i>1.1.3. Оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов</i>					<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>					<i>1.1.4. Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов</i>					
V															
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно			умеренно больше		существенно больше	значительно больше	абсолютно больше

**1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ**

<i>1.1.3. Оценка состава, структуры и свойств пород промышленных горизонтов</i>					<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>					<i>1.1.5. Оценка гидрогеологических условий</i>					
				V											
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно			умеренно больше		существенно больше	значительно больше	абсолютно больше

**1.1 Геологическое изучение на участке проектируемого рудника или проектируемых горных работ**

<i>1.1.4. Оценка состава, структуры и свойств пород ниже промышленных горизонтов</i>					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					<i>1.1.5. Оценка гидрогеологических условий</i>								
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		V		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

**1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности**

<i>1.2.1. Определение состава, свойств и строения верхней части разреза на промплощадке и вдоль линейных элементов инфраструктуры</i>					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					<i>1.2.2. Изучение состояния элементов строительных объектов</i>								
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		V		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

**1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности**

<i>1.2.1. Определение состава, свойств и строения верхней части разреза на промплощадке и вдоль линейных элементов инфраструктуры</i>					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					<i>1.2.3. Определение состояния гидротехнических сооружений и селеотвалов</i>								
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		V		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

**1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности**

<i>1.2.1. Определение состава, свойств и строения верхней части разреза на промплощадке и вдоль линейных элементов инфраструктуры</i>					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					<i>1.2.4. Выявление и контроль ореолов засоления подземных вод (в районе шламохранилищ и селеотвалов)</i>								
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		V		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

## 1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности

<i>1.2.1. Определение состава, свойств и строения верхней части разреза на площадке и вдоль линейных элементов инфраструктуры</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.2.5. Определение положения и оценка технического состояния подземных коммуникаций</i>					
								V							
абсолютно большее		значительно большее		существенно большее		умеренно большее		равноценно		умеренно большее		существенно большее		значительно большее	абсолютно большее

## 1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности

<i>1.2.2. Изучение состояния элементов строительных объектов</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.2.3. Определение состояния гидротехнических сооружений и солеотвалов</i>					
								V							
абсолютно большее		значительно большее		существенно большее		умеренно большее		равноценно		умеренно большее		существенно большее		значительно большее	абсолютно большее

## 1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности

<i>1.2.2. Изучение состояния элементов строительных объектов</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.2.4. Выявление и контроль ореолов засоления подземных вод (в районе шламохранилищ и солеотвалов)</i>					
								V							
абсолютно большее		значительно большее		существенно большее		умеренно большее		равноценно		умеренно большее		существенно большее		значительно большее	абсолютно большее

## 1.2 Инженерно-геологические, инженерно-технические задачи, и обеспечение экологической безопасности

<i>1.2.2. Изучение состояния элементов строительных объектов</i>						<b>Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?</b>				<i>1.2.5. Определение положения и оценка технического состояния подземных коммуникаций</i>					
								V							
абсолютно большее		значительно большее		существенно большее		умеренно большее		равноценно		умеренно большее		существенно большее		значительно большее	абсолютно большее





## 2.1. Определение геологического строения горного массива

2.1.2. Выявление разрывных дислокаций (зон трещиноватости) в ВЗТ					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.1.5. Выявление ослабленных зон (зон трещиноватости) в надсоляной толще					
				V											
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 2.1. Определение геологического строения горного массива

2.1.3. Выявление флексурных складок в ВЗТ					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.1.4. Картирование кровли ВЗТ					
				V											
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 2.1. Определение геологического строения горного массива

2.1.3. Выявление флексурных складок в ВЗТ					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.1.5. Выявление ослабленных зон (зон трещиноватости) в надсоляной толще					
		V													
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 2.1. Определение геологического строения горного массива

2.1.4. Картирование кровли ВЗТ					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.1.5. Выявление ослабленных зон (зон трещиноватости) в надсоляной толще					
				V											
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов

2.2.1. Контроль состояния охранных и предохранительных целиков					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.2.2. Мониторинг техногенной и природной сейсмичности					
		V													
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов

2.2.1. Контроль состояния охранных и предохранительных целиков					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.2.3. Контроль изменения физических свойств среды над выработанным пространством						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

## 2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов

2.2.1. Контроль состояния охранных и предохранительных целиков					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.2.4. Выявление полостей в закрепном пространстве шахтных стволов в интервале ВЗТ						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

## 2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов

2.2.2. Мониторинг техногенной и природной сейсмичности					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.2.3. Контроль изменения физических свойств среды над выработанным пространством						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

## 2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов

2.2.2. Мониторинг техногенной и природной сейсмичности					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.2.4. Выявление полостей в закрепном пространстве шахтных стволов в интервале ВЗТ						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

## 2.2. Контроль состояния горного массива, вызванного отработкой запасов

2.2.3. Контроль изменения физических свойств среды над выработанным пространством					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					2.2.4. Выявление полостей в закрепном пространстве шахтных стволов в интервале ВЗТ						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.1. Прогнозирование зон замещения каменной солью						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.2. Прогнозирование положения контактов «сильвинит – карналлитовая порода»						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.1. Прогнозирование зон замещения каменной солью						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.3. Прогнозирование характера складчатости рабочих пластов						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.1. Прогнозирование зон замещения каменной солью						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.4. Выявление скоплений внутрисолевых вод						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.1. Прогнозирование зон замещения каменной солью						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.5. Экспресс-опробование руд						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше



### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.2. Прогнозирование положения контактов «сильвинит – карналлитовая порода»						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.3. Прогнозирование характера складчатости рабочих пластов						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		V		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.2. Прогнозирование положения контактов «сильвинит – карналлитовая порода»						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.4. Выявление скоплений внутрисолевых вод						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		V		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.2. Прогнозирование положения контактов «сильвинит – карналлитовая порода»						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.5. Экспресс-опробование руд						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		V		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

### 3.1. Прогнозирование особенностей состава и строения рабочих пластов, оценка качества руд

3.1.3. Прогнозирование характера складчатости рабочих пластов						Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?				3.1.4. Выявление скоплений внутрисолевых вод						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		V		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше



## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.1. Оценка состояния кровли горных выработок					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.4. Прогнозирование очагов внезапных выбросов соли и газа						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		V		значительно больше		абсолютно больше

## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.1. Оценка состояния кровли горных выработок					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.5. Определение качества закладки						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		V		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.2. Контроль состояния охранных целиков					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.3. Определение путей перетекания рудничных рассолов между горизонтами						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		V		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше		абсолютно больше

## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.2. Контроль состояния охранных целиков					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.4. Прогнозирование очагов внезапных выбросов соли и газа						
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		V		значительно больше		абсолютно больше

## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.2. Контроль состояния охранных целиков					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.5. Определение качества закладки					
				V											
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.3. Определение путей перетекания рудничных рассолов между горизонтами					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.4. Прогнозирование очагов внезапных выбросов соли и газа					
													V		
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.3. Определение путей перетекания рудничных рассолов между горизонтами					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.5. Определение качества закладки					
													V		
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше

## 3.2. Оценка горно-технических условий отработки рабочих пластов

3.2.4. Прогнозирование очагов внезапных выбросов соли и газа					Какая из задач имеет большее значение в выделенной подгруппе?					3.2.5. Определение качества закладки					
			V												
абсолютно больше		значительно больше		существенно больше		умеренно больше		равноценно		умеренно больше		существенно больше		значительно больше	абсолютно больше