Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ» (МГРИ-РГГРУ)

На правах рукописи

БАЯНДИНА Элиза Олеговна

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ИСТИРАНИЯ КЕРНА СИЛЬВИНИТОВ ПРИ РАЗВЕДКЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(том 1)

Специальность 25.00.11.
Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
А.И. Кудряшов

Москва – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Том 1 (текст)

ВВЕДЕНИЕ……..7
1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВКМС…….…..12
1.1. Общие сведения о месторождении……...…12
1.2. Стратиграфия, литология и тектоника…….…15
1.3. Промышленный горизонт калийной залежи……...……28
2. ХАРАКТЕРИСТИКА Н.О. СОЛЕЙ……..….32
2.1. Формы нахождения Н.О. в соляных породах……..…32
2.2. Состав Н.О.…….38
2.3. Генезис нерастворимых примесей солей……...……..43
2.4. Влияние Н.О. на процессы освоения месторождения……...…….46
3. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ……..……52
4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ФАКТОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА……62
4.1. Существующая методика определения содержания Н.О.
в солях ВКМС……62
4.2. Методы решения поставленных задач…….66
4.2.1. Применение стандартных и нормативных методик.……66
4.2.2. Разработка новой методики сопоставления данных……...…….70
4.3. Фактический материал……..…….87
5. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО
ОПРОБОВАНИЯ……..88
5.1. Поиск истинного содержания Н.О.…….……..88
5.2. Исследование расхождения содержаний Н.О. по данным
бороздового опробования и опробования керна скважин
подземного бурения……..……92
5.3. Уравнения для корректировки содержаний Н.О. в сильвинитах

по данным опробования керна подземных скважин…….……97
6. ПРИЧИНЫ РАСХОЖДЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ Н.О.
ПО ДАННЫМ РАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ…….100
6.1. Общая характеристика ГРД пластов сильвинитового состава……100
6.2. Загрязнение проб керна солеразведочных скважин……102
6.3. Начало избирательного истирания керна солей
и динамика процесса..…….105
7. КОРРЕКТИРОВКА ДАННЫХ РАЗВЕДКИ С ПОВЕРХНОСТИ
О СОДЕРЖАНИИ Н.О. В СИЛЬВИНИТАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПЛАСТОВ…….……..111
7.1. Поправочные уравнения…….……...……..111
7.2. Районирование месторождения по введению поправок.……..114
7.3. Оценка влияния корректировки на строение и соотношение
геохимических полей Н.О.……...……..118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..……125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…….127

Том 2 (приложения)

1. Содержание Н.О. в сильвинитах пластов
промышленного горизонта ВКМС по данным разведки…….……4
2. Расчет погрешности обработки проб по содержанию Н.О…….12
3. Сопоставление рядовых и контрольных анализов проб,
использованных для установления погрешности определения
содержаний Н.О……..……13
4. Исходные данные для обработки результатов
экспериментального опробования и расчет уравнений
ортогональной среднеквадратической регрессии……18
5. Вычисление случайных погрешностей

экспериментального опробования…….20
6. Вычисление систематических погрешностей
экспериментального опробования……...…..22
7. Статистики распределения содержаний Н.О. пласта КрII
в пределах участков сопоставления в форме круга……...…25
8. Схемы расположения пунктов эксплуатационного опробования
в пределах УСД……...…33
9. Расчет статистик содержаний Н.О. в пределах УСД……...…47
10. Общая характеристика УСД…….83
11. Содержание Н.О. в пласте КрII и пачке слоев 2-7 пласта КрII…….86
12. Схемы расположения пунктов эксплуатационного опробования
в пределах ЭЯМ……..……..88
13. Расчет статистик содержаний Н.О. в пределах ЭЯМ
по данным эксплуатационного опробования……...……108
14. Исходная выборка значений $Н.О._{К}$ и $Н.О._{И}$……..145
15. Сглаживание рядов значений $Н.О._{И}$ и Δ скользящим окном
размером 7 значений с шагом 1 значение……147
16. Исходные данные и расчет поправочного уравнения
содержаний Н.О. по данным опробования керна восстающих СПБ….150
17. Исходные данные и расчет поправочного уравнения
содержаний Н.О. по данным опробования керна нисходящих СПБ.…152
18. Исходная выборка значений $Н.О._{Р}$ и $Н.О._{И}$…….…..153
19. Сопоставление средних содержаний Н.О. по данным разведки
и эксплуатации для разных частей ГРД……..…….156
20. Сглаживание рядов значений $Н.О._{И}$ и Δ скользящим окном
размером 7 значений с шагом 1 значение……...……..158
21. Сглаживание рядов значений $Н.О._{И}$ и Δ скользящим окном
размером 0,5% с шагом 0,25%.....163
22. Исходные данные и расчет поправочного уравнения в интервале
прогрессирующего избирательного истирания керна…….……166

23. Выписка из протокола заседания секции твердых полезных ископаемых Экспертно-технического совета Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (копия)…….……167

24. Акт о внедрении результатов диссертационного исследования ПАО «Уралкалий» (копия)……...……..169

25. Акт о внедрении результатов диссертационного исследования ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат» (копия)…..……170

26. Отзыв д.г.-м.н., профессора В.И. Раевского на отчет «Разработка методики корректировки содержания нерастворимого остатка в пластах Верхнекамского месторождения солей по данным геологоразведочных скважин» (копия)…..……171

ПЕРЕЧЕНЬ НЕСТАНДАРТНЫХ АББРЕВИАТУР И ОБОЗНАЧЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

БКПРУ – Березниковское калийное производственное рудоуправление;
ВКМС – Верхнекамское месторождение солей;
ГАТ – глинисто-ангидритовая толща;
ГРД – график расхождения данных о содержании Н.О;
КЗ – калийная залежь;
КП – карналлитовая пачка;
Н.О. – нерастворимый в воде остаток солей;
МГ – пласт «Маркирующая глина»;
$Н.О._{И}$ – истинное содержание Н.О., %;
$Н.О._{К}$ – содержание Н.О. по данным опробования керна скважин подземного бурения, %;
$Н.О._{Р}$ – содержание Н.О. по данным бурения скважин с поверхности, %;
$Н.О._{Э}$ – содержание Н.О. по данным эксплуатационного опробования, %;
ПдКС – подстилающая каменная соль;
ПКС – покровная каменная соль;
ПП – переходная пачка;
ПЦТ – пестроцветная толща;
СВП – северо-восточная панель;
СГМ – скопления глинистого материала;
СЗП – северо-западная панель;
СКРУ – Соликамское калийное рудоуправление;
СМТ – соляно-мергельная толща;
СП – сильвинитовая пачка;
СПБ – скважины подземного бурения;
ТКТ – терригенно-карбонатная толща;
УСД – участок сравнения данных;
ЮВП – юго-восточная панель;
ЭЯМ – элементарная ячейка месторождения;
Δ – расхождение содержания Н.О. по сравниваемым данным, %;
S – показатель загрязнения пробы керна по Н.О., %;
D – показатель избирательного истирания керна по Н.О. ($D = |\Delta|$), %.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы

Верхнекамское месторождение солей (ВКМС), открытое П.И. Преображенским в 1925 г., является единственной сырьевой базой действующих производств калийной промышленности России. Ценность калийных месторождений хлоридного типа определяется, главным образом, количеством запасов и качеством сильвинитов, из которых производится калийное удобрение. В перечень параметров кондиций для подсчета запасов сильвинита содержание Н.О., как правило, не входит (исключением являются Палашерский и Талицкий участки ВКМС). Тем не менее, содержание Н.О. в этих рудах сильно влияет на степень извлечения полезного компонента при их обогащении и, в целом, повышает расходы, как на переработку руд, так и на размещение (складирование) глинисто-солевых шламов. Главным же является то, что содержание Н.О. в сильвинитовых рудах определяет способ их обогащения. И не случайно, что в перечне факторов, определяющих эффективность освоения участка ВКМС, содержание Н.О. в рудах промышленных пластов стоит следом за содержанием KCl [47].

Практика освоения ВКМС показала, что содержание Н.О. в сильвинитовых пластах по данным разведки значительно (иногда на целые проценты) ниже, нежели по данным эксплуатационной разведки. Исследованиями В.Ф. Мягкова и В.И. Раевского [65, 72] установлено, что при бурении скважин имеет место избирательное истирание керна, которое ведет к снижению содержания Н.О.

Сопоставление данных разведки и эксплуатации всегда велось по средним значениям содержания Н.О. в пределах отдельных геологических блоков или их серии, по пластам или по шахтному полю в целом. При этом была получена серия различных зависимостей [55, 65, 72, 142 и др.]. Не универсальность этих уравнений не давала возможности использовать их на практике.

При относительно высоких содержаниях Н.О. невозможно и применение разработанной более 40 лет назад нормативной методики корректировки содер-

жаний Н.О. по данным разведки с поверхности [74]. Отсюда следует, что практика остро нуждается в получении обоснованных поправочных уравнений для корректировки данных разведки с поверхности.

Цель работы – исследование геологических условий, результатов и динамики избирательного истирания керна сильвинитов при разведке ВКМС и разработка на этой основе методики корректировки содержания Н.О. по данным бурения.

Научная идея работы

Исследование динамики избирательного истирания керна следует проводить путем сопоставления средних содержаний Н.О. по различным данным, определенным в пределах множества дискретных (элементарных) участков месторождения.

Основные задачи исследований

1. Оценить достоверность эксплуатационного опробования.

2. Разработать методику сопоставления содержаний Н.О. по разным данным.

3. Исследовать динамику избирательного истирания керна.

4. Получить уравнения для корректировки содержаний Н.О. по данным опробования керна.

Научная новизна работы

Динамика избирательного истирания керна сильвинитов не зависит от их разновидностей.

График расхождения данных (ГРД) разведки и эксплуатации неоднороден и представлен четырьмя участками: интервал загрязнения проб, участок отсутствия расхождений, участок прогрессирующего избирательного истирания керна, предел избирательного истирания.

Геологической причиной неоднородности графика расхождений между данными разведки и эксплуатации о содержании Н.О. является различие форм нахождения этого компонента в породе.

Защищаемые положения

1. При содержании нерастворимого остатка в сильвините менее 2% избирательного истирания керна не происходит, что обусловлено нахождением несоляных компонентов в породе в виде включений в кристаллах соляных минералов и вкраплений в межзерновом пространстве.

2. Интенсивность избирательного истирания керна не зависит от разновидностей сильвинитов (красные, полосчатые, пестрые), а связана только с содержанием в них нерастворимого остатка.

3. Избирательное истирание керна имеет место при содержании нерастворимого остатка более 2%, что вызвано наличием в сильвинитовых пластах обособленных прослоев галопелитов, по которым происходит раскалывание керна на столбики.

4. При достижении содержания нерастворимого остатка в сильвинитах более 10% имеет место предел избирательного истирания керна, после которого расхождение между данными разведки и эксплуатации остается постоянным.

5. Выявленные закономерности избирательного истирания керна являются основой для получения корректировочных уравнений данных разведки.

Практическая ценность работы

и реализация результатов исследований

Разработана методика корректировки содержаний Н.О. в сильвинитовых пластах ВКМС по данным геологоразведочных скважин, которая утверждена ГКЗ Роснедра (протокол ЭТС ГКЗ от 26.05.2015 г., прил. 23) и рекомендована для применения с целью уточнения качества руд при составлении ТЭО кондиций и подсчета запасов сильвинитов. Методика использована ПАО «Уралкалий» для корректировки данных разведки при составлении ТЭО временных кондиций Вогульского участка (прил. 24) и ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат» при составлении исходных данных для корректировки проекта строительства Усольского калийного комбината на базе запасов Палашерского и незатопленной части Балахонцевского участков ВКМС (прил. 25).

Публикации и апробация работы

Основные результаты исследований и защищаемые положения опубликованы в тринадцати работах, три из которых опубликованы в изданиях перечня ВАК.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на научных форумах различного уровня, в том числе: на международной научно-практической конференции «Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений» (Екатеринбург, 2015); на семинаре в рамках международной выставки «Рудник – 2015» (Пермь, 2015); на семинаре ПАО «Уралкалий» «Учет запасов. Порядок списания запасов» (Соликамск, 2016); на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Геология и полезные ископаемые Западного Урала» (Пермь, 2016).

Кроме того, результаты проведенных исследований докладывались и были апробированы на заседании секции твердых полезных ископаемых Экспертно-технического совета ГКЗ Роснедра (Москва, 2015, 2016), на технических советах ПАО «Уралкалий» и ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат». Уместно отметить, что практическое значение полученных результатов отмечено и в отзыве д.г.-м.н. В.И. Раевского (прил. 26).

Объем и структура работы

Диссертация состоит из двух томов. Том 1 (текст) содержит: введение, семь глав, заключение и изложен на 145 страницах, включая 60 иллюстраций, 20 таблиц и список литературы из 176 наименований. Том 2, объемом 172 страницы, содержит 26 табличных и текстовых приложений.

Диссертация написана под руководством д.г.-м.н. А.И. Кудряшова, которому автор выражает самую искреннюю признательность и благодарность.

Большую помощь в организации и проведении экспериментальных работ, а также в сборе фактического материала оказали сотрудники ПАО «Уралкалий» – С.Ю. Квиткин, С.В. Глебов, Р.А. Богданов, Ю.М. Елкин, С.Ю. Малышев. Всем им автор выражает глубокую признательность и благодарность.

Автор благодарен сотрудникам ПАО «Уралкалий» (О.Н. Бичуриной, А.Г. Коваленко, В.В. Ковальской, Д.В. Константинову, Е.О. Корочкиной, А.Н. Котельникову, Р.М. Патрикеевой, В.А. Шабакину); ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат» (В.В. Белкину, Л.В. Колчановой); ООО «Верхнекамская калийная компания» (А.Н. Кучеву) и В.А. Шаклеиной за помощь в сборе необходимого материала и ценные консультации.

Отдельная благодарность моим коллегам по работе – сотрудникам ООО «НПФ «Геопрогноз»: Н.К. Клепцовой, В.Д. Тимофееву, Д.С. Кокшаровой, Б.М. Кочневу, В.В. Балмышеву, Ю.А. Ардавичус за их помощь в первичной обработке материала, а также за доброжелательность и постоянную поддержку.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВКМС

1.1. Общие сведения о месторождении

Соляная толща месторождения, имеющая форму линзы площадью около 8,2 тыс. км^2, прослеживается в меридиональном направлении на 206 км, в широтном – до 56 км (рис. 1.1). Внутри контура соляной толщи расположена многопластовая залежь калийно-магниевых солей протяженностью 140 км при ширине около 40 км. Площадь калийной залежи по внешнему контуру составляет 3,75 тыс. км^2.

Месторождение комплексное: на его базе ведется добыча сильвинита (сырье для производства калийных удобрений), карналлитовой породы (получение искусственного карналлита для магниевой промышленности) и рассолов (сырье для производства соды, энергетика и др.). Геологические запасы месторождения огромны и оцениваются по карналлитовой породе в 96 млрд. т, по сильвинитам – 113 млрд. т, по каменной соли – 4,7 трлн. т [47].

На месторождении с поверхности земли пробурено более 1 550 поисковых, разведочных, гидрогеологических, структурных (до кровли солей), контрольно-передовых (стволовых) и других специальных скважин. В настоящее время разведанными на калийно-магниевые соли являются одиннадцать крупных участков (рис. 1.2): четыре в центральной части месторождения (Соликамский, Ново-Соликамский, Половодовский, Боровский) и семь в южной (Березниковский, Дурыманский, Балахонцевский, Быгельско-Троицкий, Талицкий, Палашерский, Усть-Яйвинский). В южной части ВКМС (на северо-запад от Быгельско-Троицкого участка) находится небольшой Южно-Юрчукский участок (1,7 км^2).

К участкам, на которых проводятся геологоразведочные работы, относятся Белопашнинский (65,6 км^2) и Романовский (58,1 км^2) на юго-западе ВКМС. На самом юге калийной залежи расположен Вогульский участок (189,2 км^2) – перспективный для проведения в его пределах геологоразведочных работ.

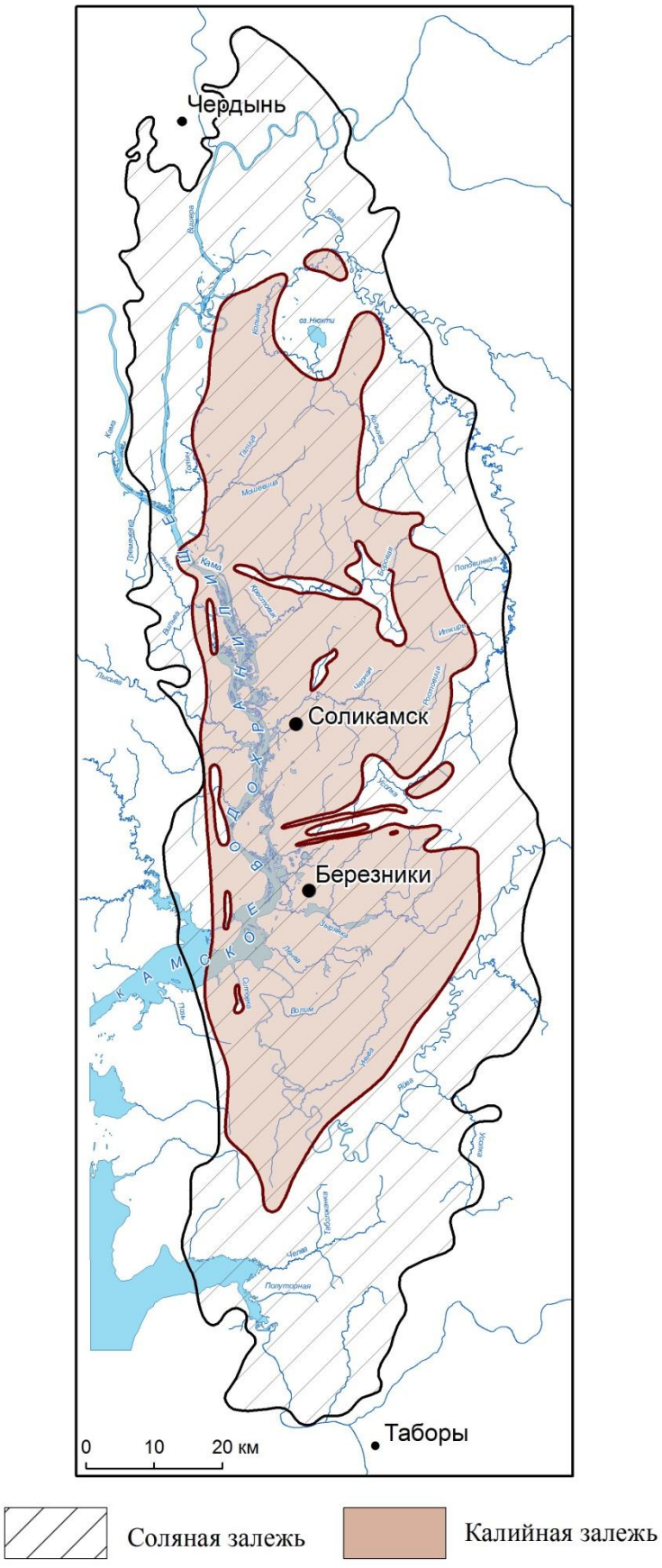

Рис. 1.1. Контуры ВКМС [47]

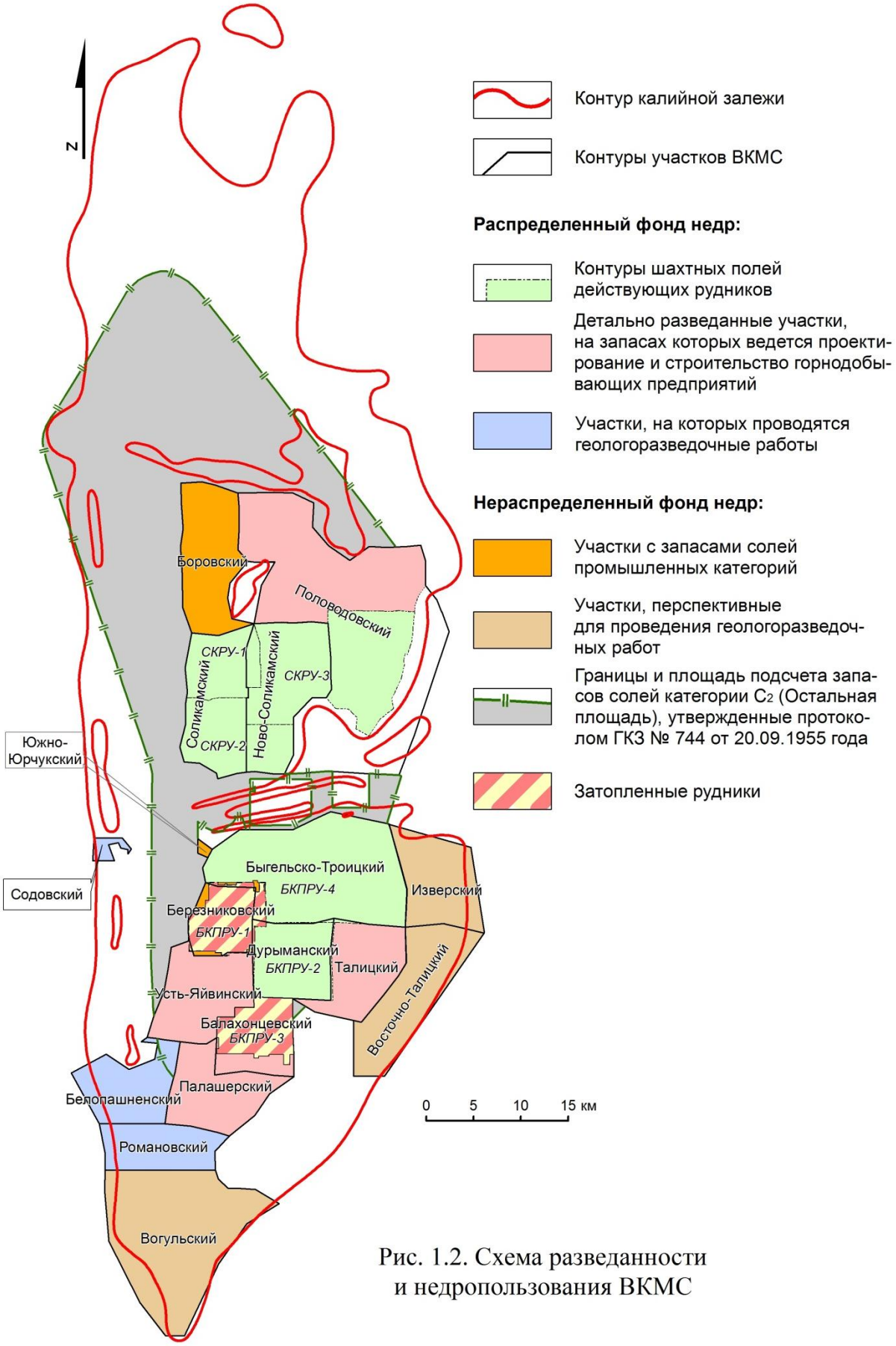

Рис. 1.2. Схема разведанности и недропользования ВКМС

Кроме того, на юго-востоке месторождения расположены Изверский и Восточно-Талицкий участки с оцененными в их переделах ресурсами калийных солей, рекомендованные для дальнейшего изучения (см. рис 1.2).

Общая площадь разведанных участков на калийно-магниевые соли составляет 1,1 тыс. км^2 (около 30% площади калийной залежи). Оставшаяся часть калийной залежи (между контуром калийной залежи и границами детально разведанных участков) разбурена скважинами по сети 4×4 км, с некоторым сгущением на участках со сложным геологическим строением.

Общие запасы калийно-магниевых солей ВКМС приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Запасы солей ВКМС
по состоянию на 01.01.2016 г., млн. т [25]

Полезное ископаемое	Балансовые		Забалансовые
	кат. $A+B+C_1$	кат. C_2	
Сильвинит	10 623 299	33 122 988	14 130 714
Карналлитовая порода	2 556 587	57 563 183	24 092 366
Смешанные хлористые соли	-	-	2 526 241

В западной части месторождения расположен Содовский участок (6,0 км^2) с запасами каменной соли, который передан для освоения ОАО «Березниковский содовый завод».

1.2. Стратиграфия, литология и тектоника

Приведенные ниже сведения о геологическом строении месторождения даются по ряду опубликованных работ [23, 31, 36, 47, 50 и др.].

Стратиграфия и литология

Геологический разрез Соликамской впадины представлен на рис. 1.3, на котором видно, что галогенная формация, включающая соляную линзу месторождения, на западе подстилается глинистыми известняками, мергелями и доломитами дивьинской свиты (P_1dv), а на востоке – терригенными породами (аргиллиты, алевролиты, песчаники, конгломераты) урминской свиты (P_1ur).

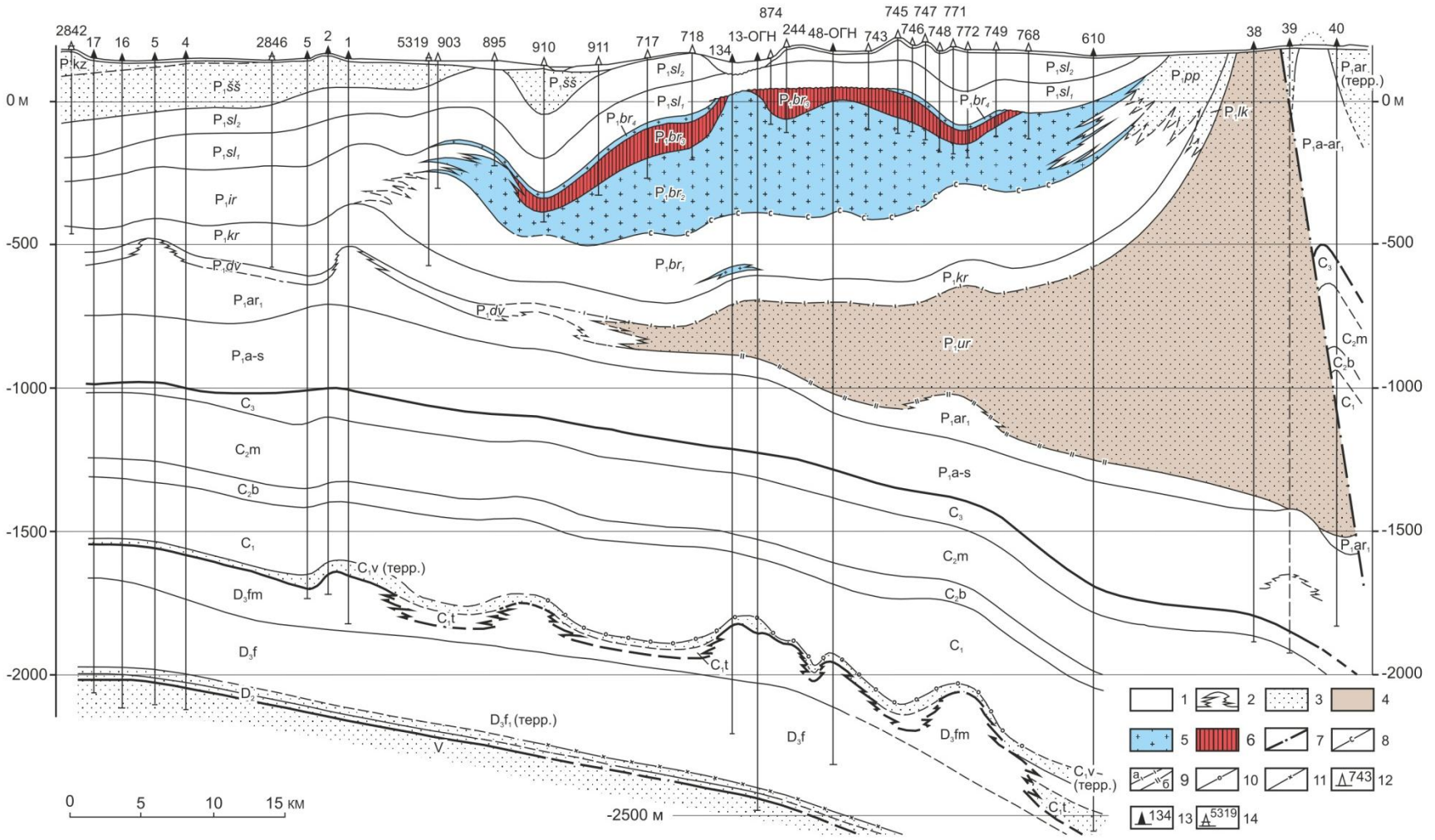

Рис. 1.3. Геологический разрез Соликамской впадины по линии I-I (см. Рис.1.11) [47]

1 – карбонатные и существенно карбонатные отложения; 2 – рифовые постройки; 3 – преимущественно терригенные отложения; 4 – «терригенный клин»; 5 – каменная соль; 6 – калийная залежь; 7 – Всеволодо-Вильвенский надвиг; 8 – по подошве соляной толщи (ОГ С); 9 – по кровле терригенной – а (ОГ $А^{Т}$) и карбонатной – б (ОГ $А^{К}$) толщ артинского яруса; 10 – по кровле терригенной пачки визейского яруса (ОГ II); 11 – по кровле терригенной пачки ти-манского горизонта (ОГ III); скважины и их номера: 12 – солеразведочные; 13 – нефтяные; 14 – структурные

Формация перекрывается породами терригенно-карбонатной толщи (ТКТ – P_1sl_2). Выше залегают породы пестроцветной толщи (ПЦТ – $P_1šš$) и рыхлые отложения кайнозоя.

В состав галогенной формации входят отложения карнауховской и березниковской свит, а также нижнесоликамской подсвиты (рис. 1.4).

Карнауховская свита (P_1kr) представлена четырьмя чередующимися пачками сульфатных и карбонатных пород общей мощностью около 100 м.

Березниковская свита состоит из глинисто-ангидритовой и соляной толщ.

Глинисто-ангидритовая толща (ГАТ – P_1br_1), сложена мергелями и аргиллитами, доломитами и, в меньшей степени, известняками, ангидритами, каменной солью, алевролитами, песчаниками. Мощность этой толщи изменяется от 145 м (на западе) до 325 м (на востоке) [31], составляя в среднем 230 м.

Соляная толща сложена каменной солью, сильвинитами, карналлитовой породой и галопелитами. Общая ее мощность достигает 550 м. Соляная толща подразделяется (снизу вверх) на подстилающую каменную соль (ПдКС – P_1br_2), калийную залежь (P_1br_3) и покровную каменную соль (ПКС – P_1br_4).

Каменная соль слагает ПдКС и ПКС, разделяет продуктивные пласты калийной залежи и пласты мергелей ПП. Ею также сложены зоны замещения продуктивных пластов. Она представляет собой почти мономинеральную породу (рис. 1.5) на 90-98% сложенную галитом.

Каменная соль обычно обладает четкой слоистой текстурой, обусловленной чередованием прослоев галита и галопелитов (глинисто-ангидритового материала). По структурным особенностям галит разделяется на несколько разновидностей: пористый темно-серый, пористый светло-серый, зернистый и шпатовый.

Каменная соль зон замещения имеет те же характеристики, что и обычная каменная соль, но в ней более широко представлен зернистый галит, имеющий чаще всего желтоватый оттенок. Встречаются и реликтовые ксеноморфные зерна сильвина.

Сильвинит – биминеральная порода, сложенная галитом и сильвином. Содержание последнего в сильвините колеблется обычно в пределах 15-45%.

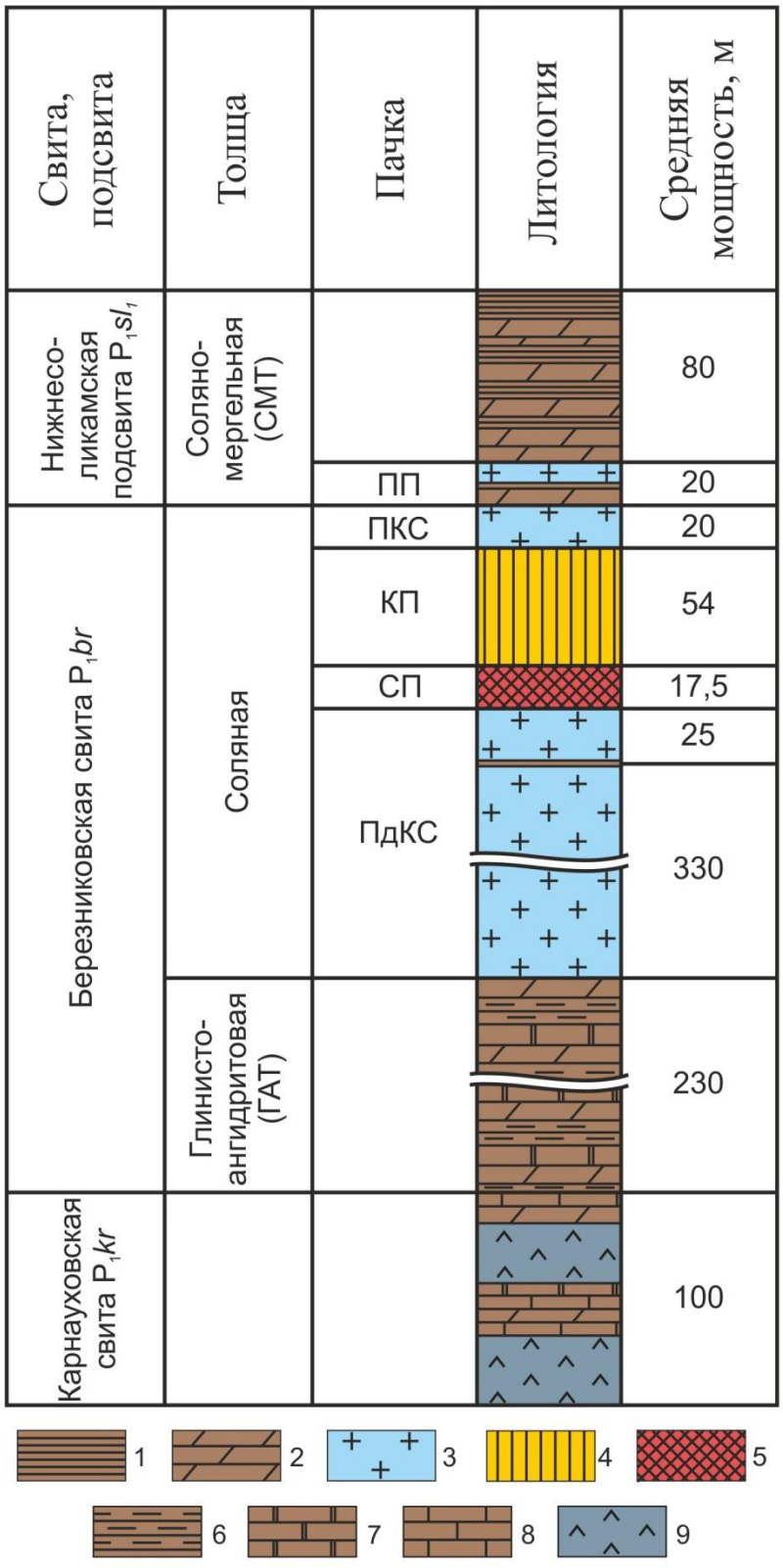

Рис. 1.4. Стратиграфический разрез галогенной формации Соликамской впадины [47]

1 – глина; 2 – мергель; 3 – каменная соль; 4 – карналлитовая порода и каменная соль; 5 – сильвинит и каменная соль; 6 – аргиллит; 7 – доломит; 8 – известняк; 9 – ангидрит

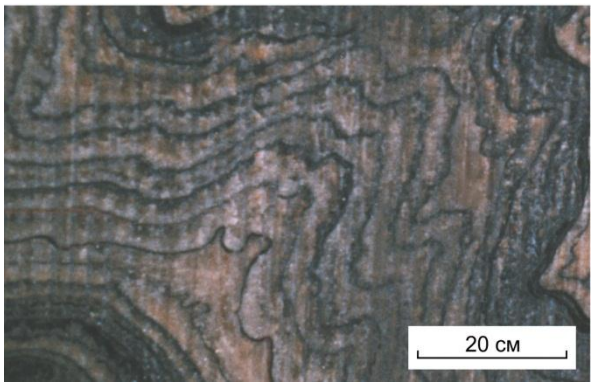

Рис. 1.5. Каменная соль

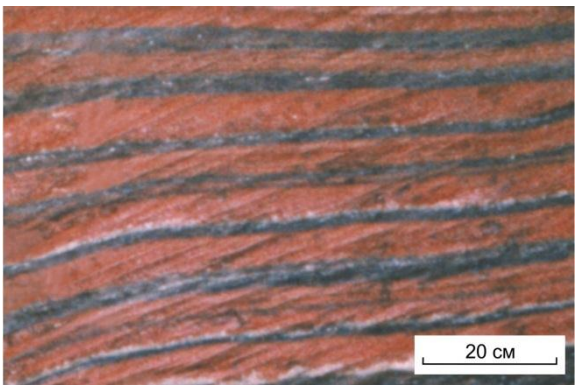

Рис. 1.6. Красный сильвинит

По текстурно-структурным особенностям и цвету среди сильвинитов выделяют красные, полосчатые и пестрые.

Красный сильвинит (рис. 1.6) обладает отчетливой слоистой текстурой. Большая часть прослоев сложена теми же разновидностями галита, что и каменная соль. Присутствуют прослои галопелитового материала мощностью 1-2 мм. Основная часть породы состоит из прослоев мощностью 1-5 см очень богатого сильвинита, содержание сильвина в котором достигает 95%. Сильвин здесь представлен темно-красными, реже светло-красными и розовыми, изометричными (часто вытянутыми) зернами размером 0,5-1,5 мм. Галит, находящийся в промежутках между зернами сильвина, серый, бесцветный, иногда с розоватым оттенком.

Полосчатый сильвинит (рис. 1.7) по составу и текстурно-структурным характеристикам весьма близок к красному, но отличается от него несколько меньшими мощностями слагающих его прослоев, а также изменением соотношения мощностей галитовых и сильвинитовых прослоев в пользу последних. Это самый богатый сильвинит – содержание KCl в нем часто превышает 50%.

Пестрый сильвинит (рис. 1.8) встречается в продуктивных пластах карналлитовой пачки. По текстурным особенностям среди разновидностей этого сильвинита выделяют слоистые и массивные. Слоистые пестрые сильвиниты сложены прослоями галита, богатого сильвинита и галопелитов. Сильвин здесь представлен молочно-белой разновидностью с желтоватым оттенком и красной оторочкой по краям зерен. Молочно-белый цвет этой разновидности сильвина обусловлен

многочисленными мельчайшими пузырьками газа и ксеноморфными микровключениями галита. Размер зерен молочно-белого сильвина колеблется от 3 до 5 мм, реже до 1 см. Форма зерен обычно неправильная. Границы между прослоями, слагающими эту разновидность сильвинита, не столь контрастны, как у красного сильвинита, но достаточны для того, чтобы придать породе явно слоистую текстуру.

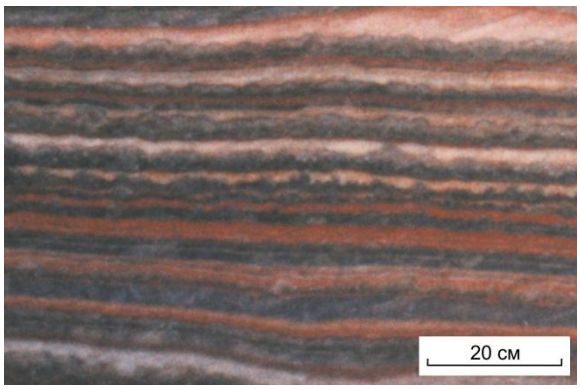

Рис. 1.7. Полосчатый сильвинит

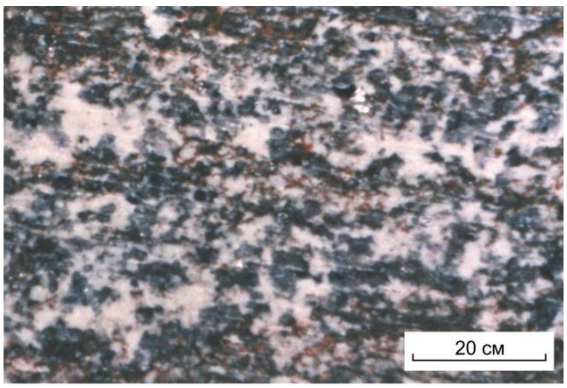

Рис. 1.8. Пестрый сильвинит

Пестрый сильвинит с массивной текстурой имеет тот же состав, что и его слоистая разновидность, однако отличается яркими чистыми цветами слагающих его минералов (сильвин – молочно-белый, галит – бесцветный, голубой, часто синий). Структура породы – гигантокристаллическая (размер кристаллов сильвина обычно превышает 1 см, часто достигая 2-3 см в поперечнике).

Карналлитовая порода (рис. 1.9) слагает пласты карналлитовой пачки. Она состоит из карналлита и галита.

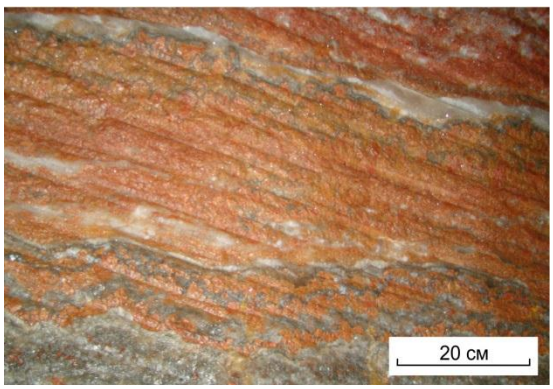

Рис. 1.9. Карналлитовая порода

В качестве примесей карналлитовая порода содержит сильвин и галопелиты. Окраска этой породы самая разнообразная, но чаще всего имеет темно-красный, реже желтовато-бурый и еще реже лимонно-желтый цвет. Слоистость породы выражена значительно слабее, нежели в красных сильвинитах. Прослои представлены почти мономинеральным карналлитом, галитом и галопелитом.

Структура карналлитовых прослоев средне- и крупнозернистая (размер зерен 2-5 мм), зерна неправильной формы, немного вытянуты вдоль слоистости. Реже встречается крупнозернистая структура породы, которая обусловлена присутствием субвертикально ориентированных зерен карналлита размером 1-2 см, иногда до 3 см. Мощность прослоев галита составляет 1-3 см.

Галопелиты – соленосная порода в естественных условиях представляет собой насыщенную рассолами (до 25%) многофазную и полидисперсную систему, сложенную, в основном, растворимыми в воде солями (до 10%), сульфатами кальция (до 15%), карбонатами (до 25%), силикатами (до 50%) и органическим веществом (до 2%) [101].

Подстилающая каменная соль (ПдКС) делится на три пачки (горизонта [31]). Нижняя пачка сложена чередующимися пластами каменной соли и терригенно-хемогенных пород. Последние представлены глинисто-(мергельно)-ангидрито-доломитовыми, глинисто-(мергельно)-гипсово-ангидритовыми и доломито-ангидритовыми разностями, а также алевролитами и песчаниками. Количество пластов терригенно-хемогенных пород колеблется от 1 до 5, а их мощность изменяется от 0,5 до 43 м. Мощность нижней пачки ПдКС составляет 60-100 м.

Средняя пачка представлена мощной, относительно однородной каменной солью, в которой встречаются прослои галопелитов мощностью от 0,05 до 0,5 м. Суммарная мощность этих прослоев 5-10 м. Общая мощность средней пачки ПдКС колеблется от 50 до 440 м.

В основании верхней пачки ПдКС находится пласт «маркирующая глина» (МГ), залегающий с угловым несогласием на каменной соли средней пачки [23].

Этот пласт является самым надежным маркирующим горизонтом соляной толщи месторождения. Мощность пласта МГ изменяется от 0,8 до 1,4 м.

Мощность верхней пачки ПдКС колеблется от 8 до 66 м (средняя – 25 м [31]). Общая мощность ПдКС изменяется от 0 до 515 м, при средней около 330 м.

Калийная залежь представлена серией продуктивных пластов, разделенных каменной солью (рис. 1.10). По составу продуктивных пластов залежь делится на сильвинитовую (СП) и карналлитовую (КП) пачки.

Сильвинитовая пачка сложена чередующимися пластами красных сильвинитов (КрIII, КрII и КрI), полосчатого сильвинита (А) и разделяющих их пластов каменной соли (КрII-КрIII, КрI-КрII, А-КрI). Пласт КрIII разделен двумя пластами каменной соли мощностью 0,2-4,5 м на три самостоятельных пласта – КрIII^{а}, КрIII^{б}, КрIII^{в}. Мощность сильвинитовой пачки меняется от 3,3 до 30 м (средняя – 17,4 м).

Карналлитовая пачка сложена чередующимися пластами калийно-магниевых солей (девять пластов, которые индексируются снизу вверх буквами от Б до К) и каменной соли (восемь пластов – от Б-В до И-К). В основании пачки, непосредственно на пласте А, залегает пласт Б (см. рис. 1.10).

На части площади карналлитовые породы замещаются пестрыми сильвинитами, которые, в свою очередь, могут замещаться каменной солью. Средние мощности пластов пестрых сильвинитов приблизительно в два раза меньше мощности карналлитовых пород. Общая мощность карналлитовой пачки изменяется от 38 до 80 м, составляя в среднем почти 55 м (53,8 м).

Средняя мощность калийной залежи составляет около 75 м.

Покровная каменная соль (ПКС) распространена на преобладающей площади месторождения, но отсутствует на сводах некоторых поднятий. ПКС разделяется на две почти равные по мощности пачки [36]: нижнюю (светлая соль) и верхнюю (темная соль). Граница между пачками проходит в основании маркирующего горизонта «галопелитовая пара», который представляет собой пакет каменной соли мощностью от 19,5 до 33,5 см с двумя (4,5-17,5 см) галопелитовыми прослоями

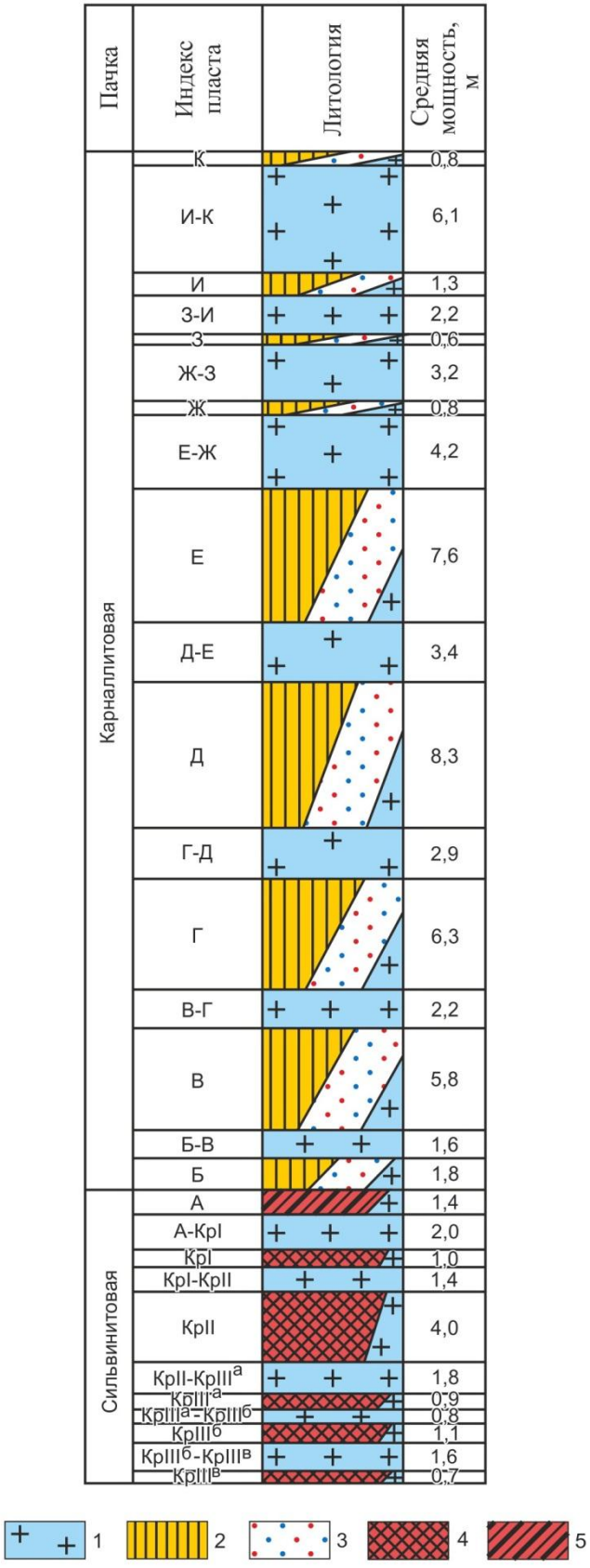

Рис. 1.10. Литолого-стратиграфический разрез калийной залежи ВКМС [47]

1 – каменная соль; 2 – карналлитовая порода;

сильвиниты: 3 – пестрые, 4 – красные, 5 – полосчатые

в почве и кровле. Мощность ПКС меняется незначительно (16-22 м) и в среднем равна 20 м.

Нижнесоликамская подсвита (P_1sl_1) представлена соляно-мергельной толщей (СМТ), которая распространена на всей площади месторождения. Средний состав толщи: мергели и глины – 65%, каменная соль – 30%, гипсы и ангидриты – 5%. Нижняя часть СМТ, содержащая пласты каменной соли, носит название переходной пачки (ПП). Мощность пластов каменной соли ПП – от первых дециметров до 10 м. Кровля ПП проводится по первому сверху пласту каменной соли, т.е. не является стратиграфическим уровнем, т.к. представляет собой соляное зеркало. Мощность ПП достигает 88 м, составляя в среднем 20 м.

Общая мощность СМТ изменяется от 15 до 160 м и в среднем близка к 100 м.

ТКТ разделена В.И. Копниным [39] на две литозоны: нижнюю – плитняковую (мергельно-доломито-известняковую) и верхнюю – известково-терригенную. Плитняковая зона средней мощностью 65-70 м сложена известняками, доломитами и тонкослоистыми мергелями. Известково-терригенная литозона мощностью 52-64 м представлена аргиллитами, алевролитами, мелкозернистыми песчаниками и известняками. Общая мощность ТКТ колеблется от 90 до 170 м.

Шешминская свита ($P_1šš$) представлена пестроцветной толщей (ПЦТ). Толща сложена песчаниками и алевролитами бурыми, зеленовато-серыми и серыми, иногда с маломощными пропластками мергеля и известняка. Песчаники и алевролиты известковистые, косослоистые, нередко с медистыми соединениями в виде малахита и азурита (медистые песчаники). Наблюдается загипсованность в виде линзовидных прослоев, согласных и секущих прожилков гипса. В пределах ВКМС мощность шешминского горизонта изменяется от 0 до 675 м. Максимальные мощности приурочены к Дуринской площади месторождения.

Кайнозойские отложения палеогена и неогена на площади месторождения развиты фрагментарно.

К палеогеновым отложениям А.А. Иванов [31] условно отнес цветные глины (белые, желтые и др.) и кварцевые песчано-гравийно-галечные отложения,

вскрытые в северной части Дуринской площади. Мощность этих отложений – до 17,4 м.

Неогеновые (верхнемиоценовые) отложения обнаружены в переуглублениях ложа древнего русла р. Пракамы. Они представлены глинами, песками и суглинками с прослоями торфа и лигнита. Возраст отложений установлен по растительным остаткам и пыльце. Мощность неогеновых отложений – 20-36 м.

Отложения четвертичной системы имеют разное происхождение. Это аллювиальные пески, глины и галечники мощностью до 30 м, озерно-аллювиальные (до 25 м) и перегляциальные (до 10 м) супеси, суглинки, глины. Местами (переуглубления палеодолин, зоны выщелачивания солей и др.) мощность четвертичных отложений достигает 80 м.

Тектоника

В тектоническом отношении месторождение приурочено к Соликамской впадине Предуральского краевого прогиба (рис. 1.11), который представляет собой крупную синклинальную структуру, переходную от Русской платформы к складчатому Уралу. Большая часть прогиба, в том числе Соликамская впадина, характеризуется более глубоким залеганием докунгурских отложений, чем на платформе и складчатом Урале, а также развитием солей в кунгурских отложениях.

Соликамская впадина представляет собой меридионально вытянутую структуру протяженностью около 240 км и шириной до 70-75 км (см. рис. 1.11). С севера она ограничена Колвинской седловиной (КС), которая выделяется по выходам артинских и более древних отложений среди кунгурских. Ограничивающая впадину на юге Косьвинско-Чусовская седловина (КЧС) отличается повышенным уровнем залегания кунгурских и артинских отложений.

Пликативные структуры. В морфоструктурном отношении соляная залежь месторождения представляет собой сложное геологическое тело. При относительно ровной подошве, по ее кровле прослеживаются пологие валообразные структуры, в основном, субмеридионального простирания, осложненные брахиантиклинальными и куполовидными поднятиями, чередующимися с синклинальными прогибами и мульдами.

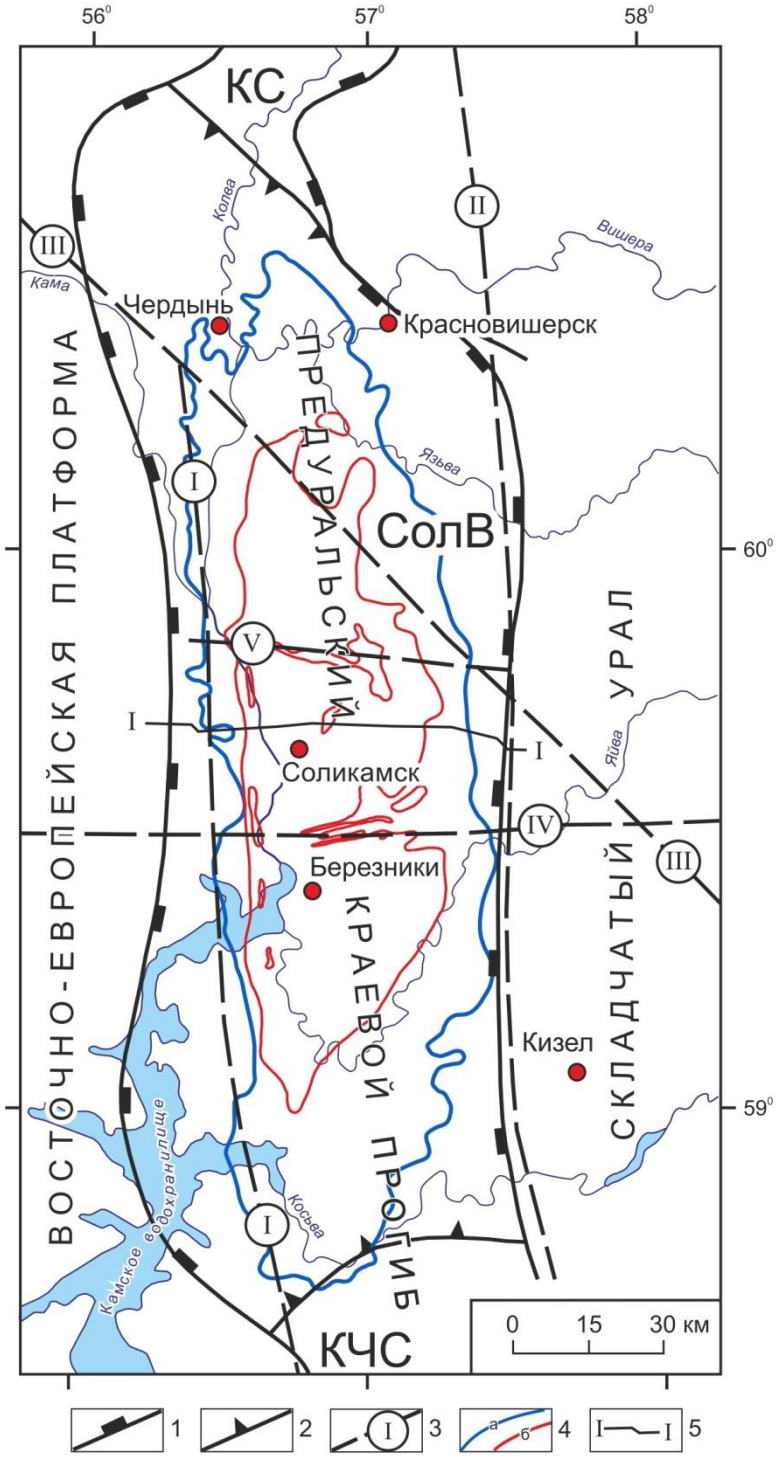

Рис. 1.11. Структурно-тектоническое положение Соликамской впадины [47]

1 – границы Предуральского краевого прогиба; 2 – границы седловин и впадин: КС – Колвинская седловина, СолВ – Соликамская впадина, КЧС – Косьвинско-Чусовская седловина, СылВ – Сылвенская впадина; 3 – региональные разломы: Красноуфимский (I), Западно-Уральский (II), Предтиманский (III), Дуринский (IV), Боровицкий (V); 4 – контуры распространения соляной толщи (а) и калийной залежи ВКМС (б); 5 – линия геологического разреза (см. рис. 1.3)

На двух участках месторождения (Дуринская и Боровицкая площади) пликативные структуры имеют субширотную ориентировку. Амплитуда соляных структур изменяется от нескольких десятков до 400 м и более. Боровицкая и Дуринская системы субширотных структур являются сложными сооружениями. Они имеют кулисообразное расположение в плане и асимметричные поперечные профили (южные борта прогибов круче северных). Зонами этих структур калийная залежь разделяется на три примерно одинаковые части – северную, центральную и южную.

Внутрисоляные деформации – это преимущественно складчатые дислокации. Складки отличаются не только по размерам, но и по глубине распространения. Складки внутри соляной толщи, независимо от их порядка и положения в пределах поднятий, имеют одну общую характерную черту: все они построены асимметрично – западные крылья у них более крутые, чем восточные, а осевые поверхности опрокинуты в той или иной степени только в одном направлении – на запад. В плане складки сочетаются кулисообразно. Длинные оси складок, в общем, параллельны между собой и осям соляных поднятий.

В крупном плане общая пликативная структура надсолевого комплекса пород соответствует структуре кровли соленосной толщи.

Разрывные структуры. Внутриформационные разрывные нарушения на месторождении развиты слабо. Среди них наиболее распространены трещины, которые разделяются на две большие группы – открытые (иногда сомкнутые) и залеченные [45]. Разновидностью залеченных трещин являются будинажные отрывы, которые встречаются в относительно мощных прослоях галопелитов и, особенно широко, в пласте МГ. В Тверитинской впадине этот пласт разорван на отдельные блоки размером от 4,0 до 12,0 м [44]. Широкие отрывы между блоками обычно выполнены вмещающей каменной солью. Секущие трещины разделяются на трещины складок, трещины разлома и трещины неопределенного генезиса.

Наличие и характер крупных дизъюнктивных дислокаций (разломов) на ВКМС являются предметом острых дискуссий. По мнению группы геологов ЗАО «ВНИИГ», возглавляемой д.г.-м.н. Н.М. Джиноридзе [26], главными элементами

разрывной тектоники ВКМС являются три субмеридиональных региональных надвига – Усольский, Соликамский и Троицкий. Результаты анализа признаков выделения региональных надвигов, теоретических положений и следствий этой концепции с учетом конкретного фактического материала свидетельствует об одном – в структуре ВКМС региональных надвигов нет [47, 50].

По мнению многих исследователей [47, 99, 112, 113, 125, 144 и др.] в пределах ВКМС достаточно широко развиты крупные разрывные субвертикальные нарушения иного генезиса. Подавляющее большинство этих разрывных нарушений выявлено геофизическими, дистанционными и морфометрическими методами. Малая надежность этих методов в платформенных условиях общеизвестна, поэтому практически все выявленные на месторождении разломы являются предполагаемыми.

1.3. Промышленный горизонт калийной залежи

Промышленным горизонтом калийной залежи ВКМС считается интервал разреза от подошвы пласта КрIII^{б} до кровли пласта В, средней общей мощностью около 24 м. Он состоит из четырех промышленных пластов КрIII$^{а+б}$, КрII, АБ, В и трех технологических междупластий. Практика освоения месторождения показала, что пласт КрIII$^{а+б}$ в большинстве случаев не удовлетворяет требованиям кондиций по качеству, и его запасы, как правило, относятся к группе забалансовых. Поэтому ниже приводится характеристика трех основных промышленных пластов сильвинитового состава (КрII, АБ и В) и двух технологических междупластий (КрII-АБ и АБ-В).

Промышленные пласты

Пласт КрII разделен П.С. Гольдберг-Захаровой [24] на семь слоев (нумерация сверху вниз), из которых нечетные сложены богатым (содержание KCl более 18%) красным сильвинитом, а четные – бедным (содержание KCl 5-18%). Мощность нечетных сильвинитовых слоев в 3-5 раз больше мощности галитовых. Общая мощность пласта изменяется от 0,8 до 11,9 м и в среднем составляет 4,1 м

[47]. В сильвинитах имеются галопелитовые прослойки. Их мощность варьируется от нескольких миллиметров до 2-3 см (реже более). По данным работы [40] наиболее мощные и часто расположенные прослои галопелитового материала пласта КрII наблюдаются в слоях 1-4.

Пласт АБ состоит из двух пластов – в нижней части залегает пласт А, представленный полосчатым сильвинитом, в верхней части – пласт Б, представленный пестрым сильвинитом. В 0,15-0,25 м ниже подошвы пласта А расположен слой-спутник А′, сложенный красным сильвинитом, мощность его в среднем составляет 0,25 м. Слой А′ вместе с каменной солью А-А′ часто включается в состав промышленного пласта АБ. Средняя мощность пласта АБ составляет 3,2 м. Галопелитовые прослои в пласте АБ более редкие и маломощные по сравнению с пластом КрII.

Содержание Н.О. в пласте АБ по разрезу распределено неравномерно, более богатым по содержанию этого компонента является пласт Б, а для пласта А характерно более низкое содержание нерастворимых примесей (прил. 1).

Пласт В разделен Н.Г. Шешуковым [93] на шесть слоев. Нумерация слоев (снизу вверх) от B_1 до B_6: четные слои – это богатые карналлитовые породы и пестрые сильвиниты, нечетные – преимущественно галитовые. Средняя мощность пласта В сильвинитового состава составляет 2,85 м [31].

Технологические междупластья

Междупластье КрII-АБ включает три элемента: два пласта межпластовой каменной соли КрI-КрII и КрI-А′ и залегающий между ними сильвинитовый пласт КрI. Средняя мощность технологического междупластья КрII-АБ составляет 4,6 м [31].

Междупластье АБ-В состоит из одного элемента – межпластовой каменной соли Б-В. В верхней части пласта каменной соли Б-В располагается слой-спутник пласта В – слой В′, как правило сложенный пестрым сильвинитом (средняя мощность 0,25 м), и гораздо реже – карналлитовой породой. Средняя мощность междупластья равна 2,2 м.

«Коржи» промышленных пластов

«Коржи» пласта КрII. Пласт каменной соли КрI-КрII имеет ритмичное строение. В основании каждого ритма залегает более или менее мощный прослой галопелитов, который вместе с прослоем каменной соли образует так называемый «корж» (далее по тексту для удобства слово «корж» будет использоваться без кавычек).

В пласте каменной соли КрI-КрII выделяется четыре коржа (нумерация снизу вверх). Для практики наиболее важное значение имеют 1-й и 2-й коржи, которые, как правило, при очистных работах попадают в отбитую руду.

Корж 1 залегает непосредственно на кровле слоя 1 пласта КрII. В основании коржа расположен наиболее мощный, по сравнению с другими коржами, прослой галопелита. Мощность коржа изменяется от 0,1 до 0,5 м, а мощность галопелитового прослоя может достигать 0,1-0,15 м.

Корж 2 средней мощностью 0,25 м (от 0,1 до 0,6 м) вызывает интерес многих исследователей. Это связано с тем, что строение данного коржа несколько отличается от остальных. Часть прослоя глинисто-ангидритового материала коржа 2 представлена тонкослоистой пачкой глинисто-ангидрито-доломитовой породы (2-5 см), в практике именуемой «книжечкой».

По данным [52] «книжечка» макроскопически представляет собой тонкое чередование темно- и светло-серых прослоев (рис. 1.12). В ней выделяются семнадцать прослоев, девять из которых имеют темно-серый цвет и восемь – светло-серый. Мощность темно-серых прослоев увеличивается в юго-восточном направлении от 0,75-2,0 до 3-4 мм.

Под микроскопом [52] темно-серые прослои «книжечки» представляют собой глинисто-карбонатный материал с пелитоморфной или неясно выраженной микро- и реже мелкозернистой структурой. Светло-серые прослои на 60-70% представлены кристаллами ангидрита призматической и игольчатой форм. Промежутки между кристаллами ангидрита выполнены галитом, содержащим включения карбонатов в виде неправильных пелитоморфных скоплений.

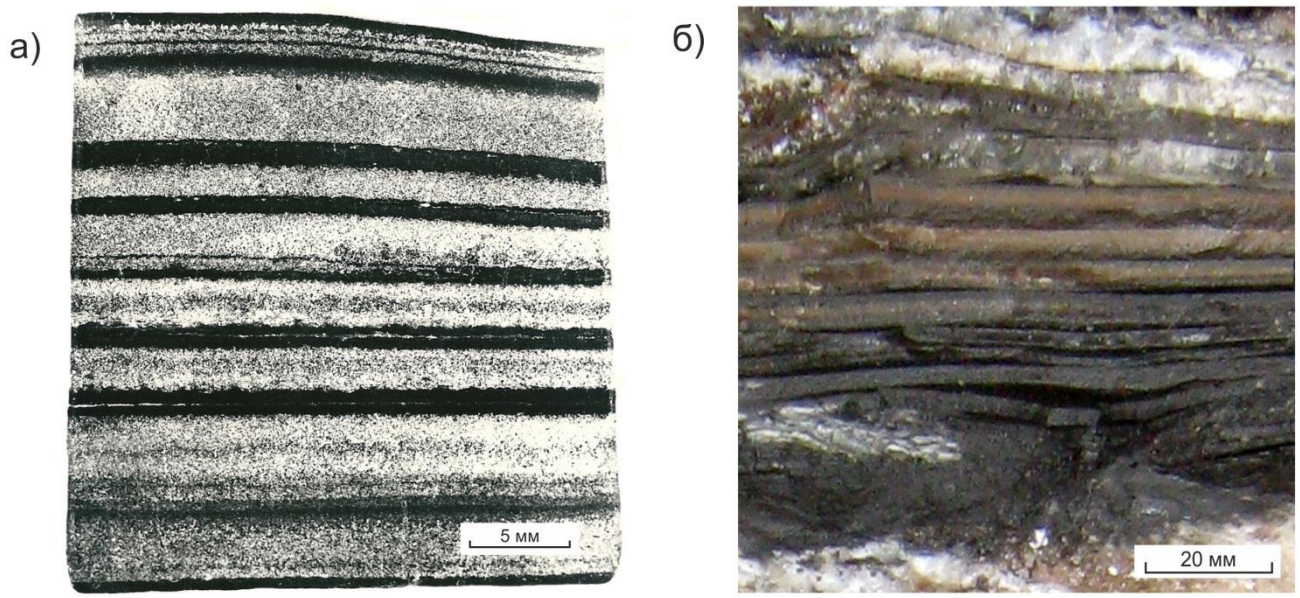

Рис. 1.12. Фото «книжечки»
а) Срез «книжечки» (рудник СКРУ-1), ×4 [140]
б) Выход «книжечки» на стенке горной выработки
(устье правого хода кам. 146, 12 ЗП, рудник БКПРУ-2)

Корж пласта АБ. В каменной соли пласта Б-В выделяется один корж. Мощность его может изменяться от 0,1 м в северо-западных частях месторождения и до 0,5-0,6 м (реже более) – в юго-восточных, в среднем составляя 0,2-0,3 м. Содержание Н.О. изменяется в пределах 20-40%.

Корж пласта В. В каменной соли пласта В-Г выделяется один корж. Мощность его редко достигает 0,5 м (в юго-восточных частях ВКМС) и в среднем составляет 0,1-0,2 м. Галопелитовый прослой, залегающий в основании коржа, в большинстве случаев имеет мощность до 5 см.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА Н.О. СОЛЕЙ

2.1. Формы нахождения Н.О. в соляных породах

По форме нахождения водонерастворимый остаток солей ВКМС подразделяется на четыре типа: включения в кристаллах соляных минералов, вкрапления в межзеренном пространстве, прослои галопелитов и скопления глинистого материала [51].

Включения в кристаллах соляных минералов представлены в виде мелких включений ангидрита, доломита, кальцита, глинистых и других минералов. В сильвине красных и оранжевых тонов типичными минералами-узниками являются гематит и гетит (рис. 2.1а). Пример включений другого состава приведен на рис. 2.1б.

Содержание нерастворимых примесей в кристаллах солей составляет, как правило, менее 1%, что видно на примере галита (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Среднее содержание Н.О. в кристаллах галита [47]

Разновидность	Масс. %	Разновидность	Масс. %
перистый темно-серый	4,24	зернистый	0,10
перистый светло-серый	0,12	шпатовый	0,06

Вкрапления в межзеренном пространстве представлены мелкими кристаллами ангидрита, карбонатов, калиевых полевых шпатов, листочками хлорита, глинистым материалом, гипсом и железистыми пленками. Кроме того, встречаются зерна кварца и халцедона (рис. 2.1в). Расположение Н.О. в межзеренном пространстве наиболее характерно для пестрых сильвинитов массивной текстуры.

Ангидрит микро- и тонкозернистый, встречается в виде рассеянных тонкопризматических кристалликов. Зерна гипса ксеноморфные и пластинчатые до 2-5 мм в длину, часто имеют волокнистое строение.

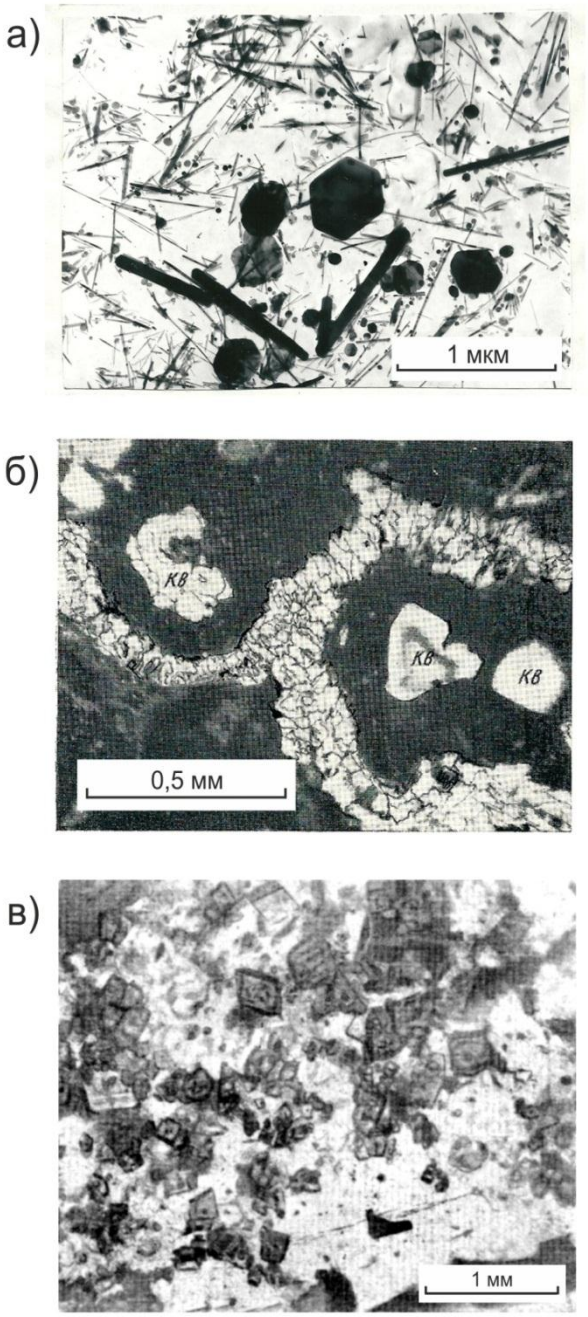

Рис. 2.1. Микрофотографии включений водонерастворимых примесей в соляных минералах и породах.

а) Микровключения гематитовых чешуек и гетитовых игл в зернах сильвина пласта КрII, сл. 1 (по [150]).

б) Кварц-халцедоновые образования (светлое) вокруг зерен галита (черное), в которых находятся зерна и группы зерен кварца (Кв.). Ник. +, ×59 (из [97]).

в) Ромбоэдры доломита в промежутках между зернами галита. Скв. 588, гл. 449,20 м, ник. II, ×25 (по [31]).

Карбонаты присутствуют в виде отдельных зерен и ромбоэдров до 0,1 мм в поперечнике. В основном это доломиты, но нередко встречаются зерна магнезита.

Прослои галопелитов. Как уже отмечалось, в состав всех соляных пород входят галопелиты в виде прослоев и слоев. Характерны два типа прослоев галопелитов. Прослои первого типа мощностью до 1-2 мм регулярно повторяются по разрезу. Очень часто прослои этого типа не имеют видимой мощности и представлены в виде «припорошенности» на границе сильвинитового и галитового прослоев, проявляясь в керне лишь поясками темного цвета.

Галопелитовые прослои второго типа имеют повышенную мощность (до 20 см), развиты реже (обычно в межпластовой каменной соли) и не столь регулярно. В разрезах таких слоев часто видно, что они состоят из большого числа тонких (порядка 1 мм) прослоев, каждый из которых состоит из пары микропрослоев светло-серой и темной окраски.

Прослои галопелитов наряду с рассеянной примесью ангидрита нередко (особенно в каменной соли – рис. 2.2) содержат округлые желваки до 3-5 мм в поперечнике, сложенные его микрозернистой разновидностью. В сильвините желваки и кристаллики ангидрита часто оконтурены буро-красными каемками.

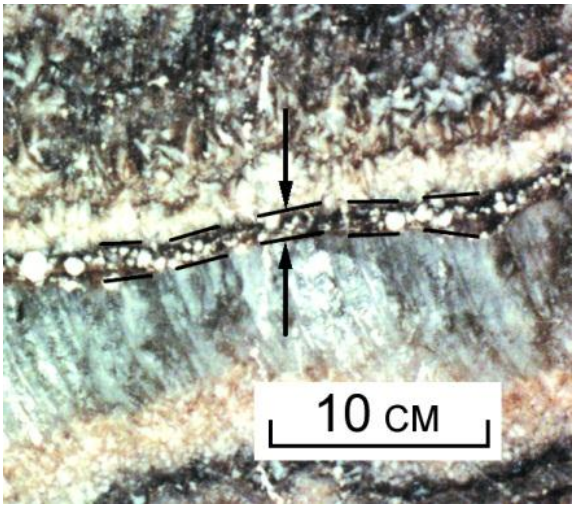

Рис. 2.2. Округлые стяжения в галопелитовом прослое (маркер «Форель») ПдКС

Вполне понятно, что чем мощнее прослои галопелитов и чем чаще они встречаются, тем выше содержание Н.О. в соляной породе. Сопоставление цветных фотографий соляного керна с результатами химического анализа геологических проб, отобранных с этих же интервалов, являются ярким подтверждением сказанного (рис. 2.3).

В междупластьях относительно мощные прослои галопелитов вместе с прослоями каменной соли образуют коржи. Как уже было отмечено выше, наибольшее практическое значение имеют коржи, залегающие над промышленными пластами.

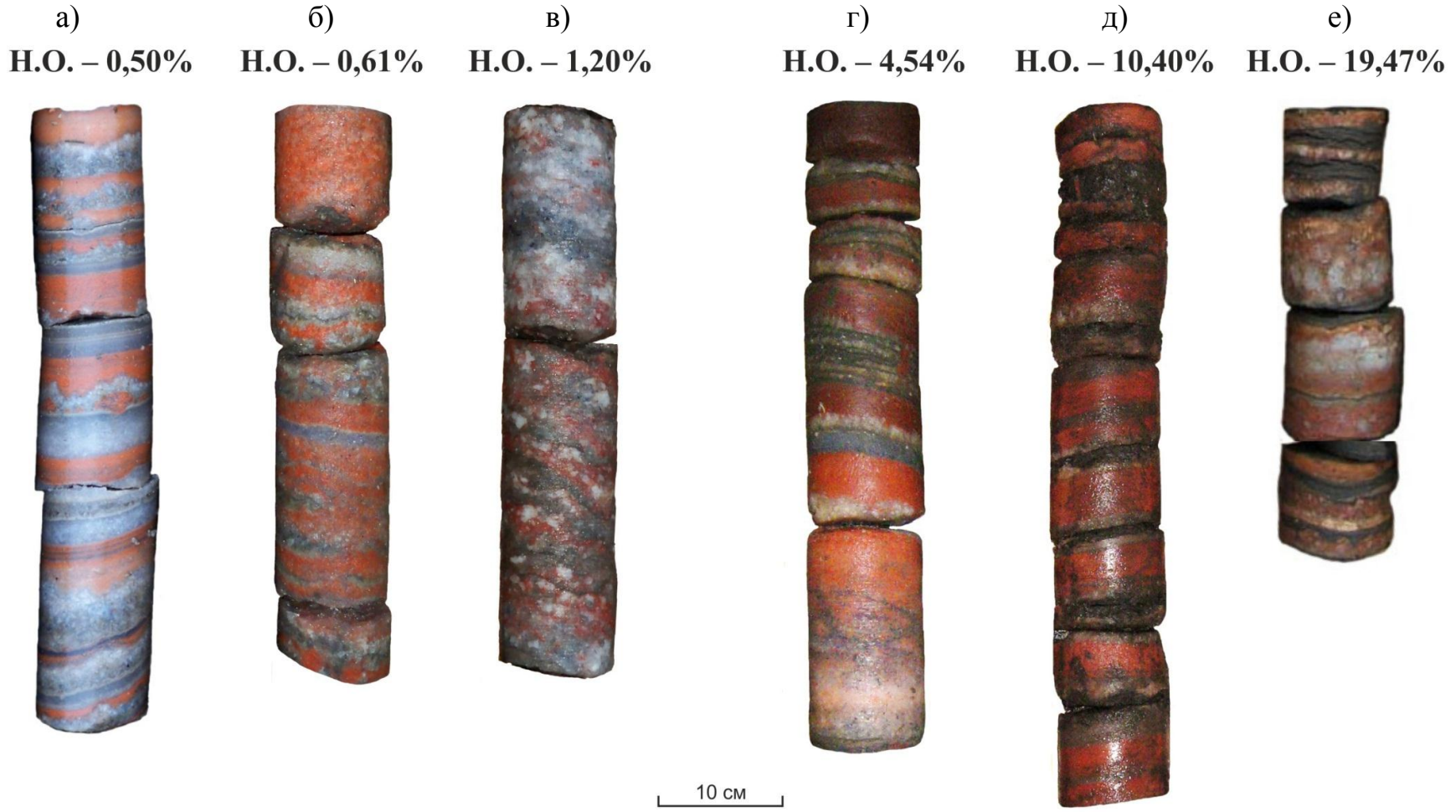

Рис. 2.3. Фрагменты керна с разным содержанием Н.О.

а) полосчатый сильвинит пласта А, фрагмент пробы № 33050 (инт. 209,67-210,18 м), скв. 33, Половодовский участок;
б) красный сильвинит пласта КрII, проба № 16125 (инт. 327,41-327,86 м), скв. 16, Половодовский участок%;
в) пестрый сильвинит пласта Б, фрагмент пробы № 6051 (инт. 339,70-340,15 м), скв. 6, Половодовский участок;
г) полосчатый сильвинит пласта А, фрагмент пробы № 59х/а (инт. 312,43-312,95 м), скв. 3дт, Талицкий участок;
д) красный сильвинит пласта КрII, фрагмент пробы № 16х/а (инт. 373,05-373,62 м), скв. 107г-3, Палашерский участок;
е) пестрый сильвинит пласта Б, фрагмент пробы № 3х/а (инт. 356,50-356,86 м), скв. 107г-1, Палашерский участок.

Скопления глинистого материала (СГМ). Под скоплениями глинистого материала понимаются тела галопелитов, форма, размеры и положение которых не характерны для соляной толщи месторождения. Наиболее часто они встречаются в пределах юго-восточной части месторождения, т.е. в зоне повышенного содержания Н.О. По форме тела СГМ делятся на локальные утолщения, линзы, пластообразные тела, изометричные тела и тела сложной формы [47].

Локальные утолщения характерны как для глинистых прослоев, так и для относительно мощных пачек соленосных глин междупластий (коржевых глин). Обычно утолщения глинистых прослоев приурочены к локальным складкам (рис. 2.4а). В отдельных случаях складки подобно диапиру внедряются в пространство расположенных выше слоев соляных пород, образуя резкие угловые несогласия. Утолщение коржевых глин наблюдается реже. Нередко они сопровождаются уменьшением мощности перекрывающих и (или) подстилающих соляных слоев. Степень утолщения довольно значительна и может достигать 10-15 раз. Иногда это настоящие раздувы глинистых прослоев и слоев.

Линзы встречаются, главным образом, в продуктивных пластах, часто в местах, где карналлитовая порода замещается пестрым сильвинитом, а сильвиниты – каменной солью (рис. 2.4б). Видимые размеры линз невелики: по мощности они не превышают 10-20 см, а в длину – 1-3 м.

Пластообразные тела. Так же как и линзы, эта форма СГМ обычно встречается на участках полного замещения продуктивных пластов и значительно реже – в междупластьях. Тела этой формы, как правило, занимают весь разрез продуктивного пласта (рис. 2.4в). В межпластовой каменной соли пластообразные тела СГМ занимают часть разреза пласта. По простиранию тела этой формы прослежены на расстояние до 40 м. Боковые контакты этих тел с вмещающими породами секущие, часто крутые и обычно имеют извилистый характер.

Изометричные тела. Тела этой формы довольно редки. Размер их в поперечнике составляет 1-2 м, но иногда выходит за эти пределы (рис. 2.4г). Изометричные тела СГМ располагаются как в пределах одного пласта, так и в объеме двух и более пластов. Контакты изометричных тел с вмещающими породами резкие и часто неровные.

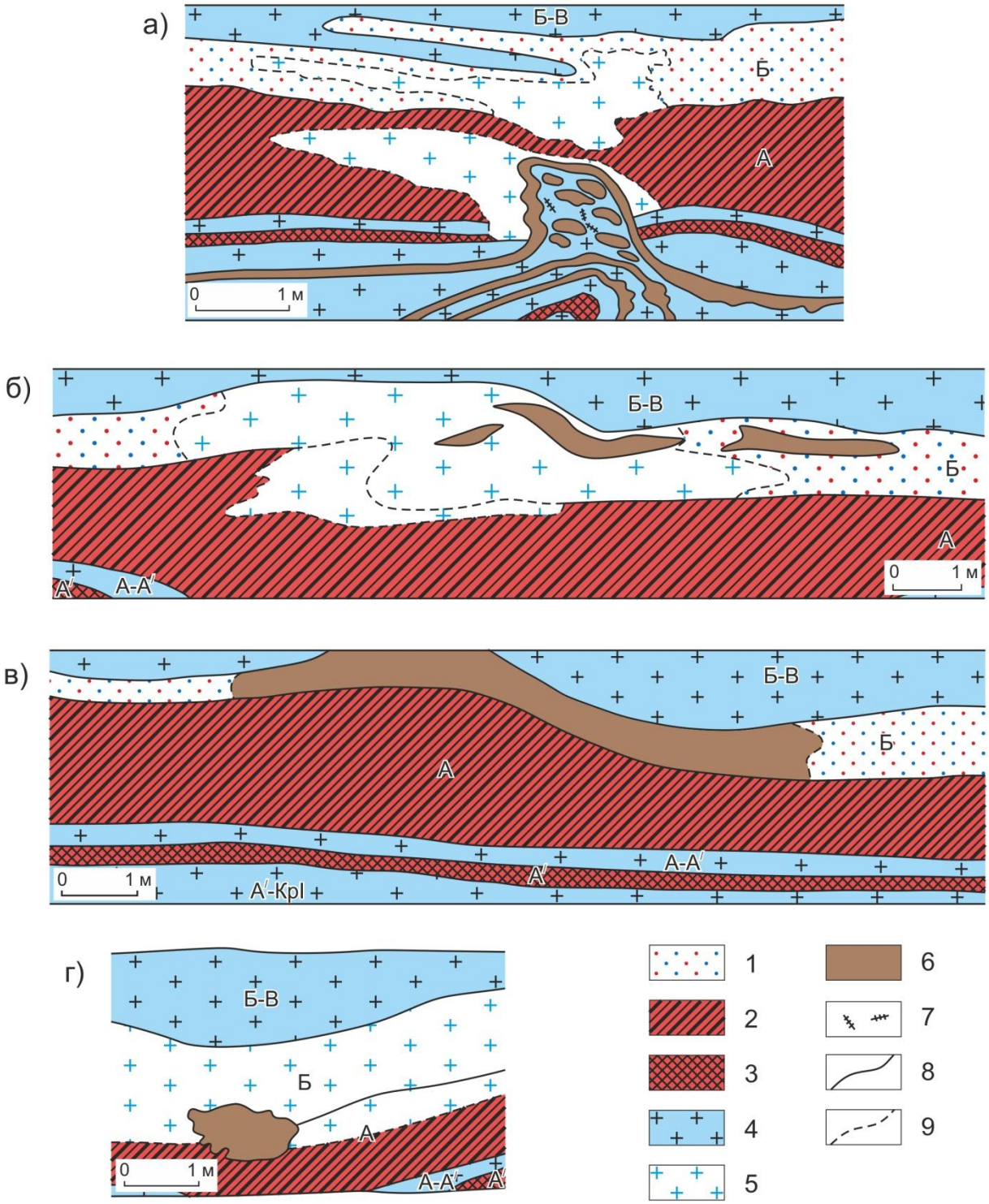

Рис. 2.4. Скопления глинистого материала (пояснения в тексте) (по [47])

1 – пестрый сильвинит; 2 – полосчатый сильвинит; 3 – красный сильвинит; 4 – каменная соль нормальной садки; 5 – каменная соль замещения; 6 – глинистый материал; 7 – трещины, залеченные волокнистыми разностями галита и сильвина; 8 – границы пластов и слоев; 9 – внутрипластовые литологические границы.

Тела сложной формы характерны для большей части СГМ. Они представляют собой сочетание ранее рассмотренных форм с самыми различными размерами и положением. Важно отметить, что участки обнаружения тел СГМ сложной формы обладают многими признаками вторичного образования (секущие контакты, парагенезис с зонами замещения продуктивных пластов каменной солью, наличие гигантокристаллических разностей соляных минералов и др.).

2.2. Состав Н.О.

Гранулометрический состав

Размер частиц Н.О. соляных и соленосных пород ВКМС изучался многими исследователями [26, 31, 37, 43, 95, 101, 116, 173 и др.]. Вследствие различия методики и мест отбора проб, их подготовки и исследованных фракций результаты этих работ трудно сопоставимы. Отобрав наиболее полные и достоверные сведения (сумма содержаний фракций ≈ 100%), были определены средние содержания фракций Н.О., которые приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Средний гранулометрический состав Н.О.
соляных пород ВКМС

Фракция, мм	[95]	[37]	[31]	Среднее
Песчаная (>0,1)	4,0	13,5	0,2	5,9
Алевритовая (0,01-0,1)	7,8	26,0	20,5	18,1
Пелитовая (<0,01),	88,2	60,0	79,0	75,3
в т.ч. глинистая (<0,001)	*28,2*	*н.д.*	*22,9*	*25,6*
Сумма	100,0	99,5	99,7	99,3

Из этой таблицы следует, что примерно четверть Н.О. представлена песчано-алевритовой фракцией и еще четверть – глинистой.

Изучение гранулометрического состава Н.О. межпластовой каменной соли показало, что в целом он близок к среднему составу Н.О. солей ВКМС. Особенно это касается самой тонкой (глинистой) фракции (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Гранулометрический состав Н.О.
межпластовой каменной соли [31]

Фракция (мм)	В-Г	А′-КрI	КрI-КрII	КрIII^{б}-КрIII^{в}	Среднее
Песчаная (>0,1)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Алевритовая (0,01-0,1)	29,1	18,0	17,2	17,8	20,5
Пелитовая (<0,01)	70,7	81,8	82,6	82,1	79,3
в т.ч. глинистая (<0,001)	*22,6*	*21,4*	*23,9*	*23,9*	*23,0*
Сумма	100	100	100	100	100

Как известно, гранулометрический состав вещества тесно связан с его удельной поверхностью ($S_{уд}$), которая, в свою очередь, сильно влияет на процессы обогащения калийных руд и, особенно, при их флотации [87]. Зная значение $S_{уд}$, можно рассчитать средний (эквивалентный этой величине) размер частиц Н.О.

Удельная поверхность диспергированного вещества обычно определяется двумя методами – методом сорбции метиленового голубого и методом тепловой десорбции (МТД). Второй из них определяет истинную (геометрическую) удельную поверхность наиболее точно [101]. По данным Вишнякова А.К. с соавторами [116] удельная поверхность Н.О. солей Боровского участка, определенная методом МТД, колеблется в пределах 0,71-12,9 м^2/г и в среднем составляет 4,87 м^2/г.

Как известно, кристаллы минералов глин имеют форму слегка вытянутых пластин. Обозначим толщину такой пластины буквой a, ее ширину – 3a, а длину – 5a. Следовательно, общая поверхность частиц этого размера в 1 г вещества (S_o) составит $46a^2 \cdot n$, где n – количество частиц.

Объем глинистой частицы принятого размера составляет $15a^3$, а общая масса этих частиц (M) равна $15a^3 \cdot \rho \cdot n$, где ρ – плотность минерала, г/см^3 (средняя плотность глинистых минералов = 2,7 г/см^3).

Таким образом, $S_o/M = 46a^2 \cdot n/15a^3 \cdot \rho \cdot n = 48700$ см^2/г. Подставляя значение ρ, находим, что $a = 0{,}0000234$ см $\approx 0{,}00023$ мм. Следовательно, средний размер чешуек глинистого минерала Н.О. Боровского участка составляет 0,00023 × 0,0007 × 0,0001 мм. Даже взяв самый большой размер этих частиц, можно сделать заклю-

чение, что по удельной поверхности Н.О. Боровского участка (очевидно и для всего ВКМС) соответствует тонкой части глинистой фракции.

Вещественный состав

При написании этой части были использованы опубликованные результаты исследований Н.О. [3, 4, 19, 26, 32, 37, 60-64, 66, 69, 71, 73, 76, 77, 80, 81, 89, 90, 95, 96 и др.], а также фондовые материалы [100, 101, 170, 171, 174 и др.].

В составе Н.О. соляных и соленосных пород выделяются две основные фазы – минеральная и рентгеноаморфная (РАФ) [100, 171].

Состав минеральной фазы Н.О. соляных пород ВКМС по различным данным приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Качественный состав
минеральной фазы Н.О. соляных пород ВКМС

Минерал	Все соляные породы		Сильвинит		Галопелит коржей [101]
	[95]	[170]	[26]	[171]	
1	2	3	4	5	6
Ангидрит	♦	♦	♦	♦	♦
Гидрослюды	♦	♦	♦	♦	♦
Доломит	♦	♦	♦	♦	♦
Полевые шпаты	♦	♦	♦	♦	♦
Гипс	♦	♦	♦	♦	♦
Хлорит	♦	♦	♦	♦	♦
Кварц	♦	♦	♦	♦	-
Пирит	♦	♦	♦	♦	-
Кальцит	-	-	♦	♦	♦
Гидроокислы Fe	♦	♦	♦	-	-
Целестин	♦	-	♦	-	-
Циркон	♦	-	♦	-	-
Эпидот	♦	-	♦	-	-
Гранаты	♦	-	♦	-	-
Магнезит	♦	-	-	-	♦
Турмалин	♦	-	♦	-	-
Гематит	-	♦	-	-	♦
Амфиболы	-	-	♦	♦	-
Рутил	♦	-	-	-	-
Гидромагнезит	-	-	-	-	♦
Иматит (?)	-	-	-	-	♦
Лейкоксен	-	-	♦	-	-
Магнетит	-	-	♦	-	-

Окончание табл. 2.4

1	2	3	4	5	6
Марказит	-	-	♦	-	-
Малахит	-	-	♦	-	-
Пироксен	-	-	♦	-	-
Пирротин	-	-	♦	-	-
Самородное Au	-	-	♦	-	-
Сидерит	-	-	♦	-	-
Титаномагнетит	-	-	♦	-	-
Халькопирит	-	-	♦	-	-
Шпинель	-	-	♦	-	-
Апатит	-	-	♦	-	-
Барит	-	-	♦	-	-
Биотит	-	-	♦	-	-
Лепидокрокит	-	♦	-	-	-
Тальк	-	♦	-	-	-
Ярозит	-	♦	-	-	-

Из таблицы следует, что наиболее распространенными минералами Н.О. солей являются ангидрит, гидрослюды, доломит, полевые шпаты, гипс, хлорит, кварц и пирит. Однако их содержание колеблется в очень широких пределах: сульфаты кальция (ангидрит, гипс) – 7-21%; карбонаты (преимущественно доломит) – 14-36%; силикаты – 57-72%. По минеральному составу Н.О. продуктивных пластов существенно не отличается от Н.О. галопелитов коржей [101]. Нет отличия и в соотношении минералов. Однако установлено, что соотношение минералов Н.О., находящегося в форме включений в кристаллах галита и сильвина, резко отличается по этому параметру от других форм, объединенных в так называемый «свободный» Н.О. (табл. 2.5).

По данным [79] силикаты Н.О. соляных пород и галопелитов ВКМС в подавляющем большинстве сосредоточены в его глинистой фракции и представлены преимущественно гидрослюдистыми минералами и хлоритом. На отдельных участках разреза с ними ассоциирует монтмориллонит. Повсеместно присутствуют кварц (5-20%) и полевые шпаты (до 50%) (рис. 2.5).

Таблица 2.5

Минеральный состав Н.О. красных сильвинитов в зависимости от его формы нахождения, масс. % (по материалам [171])

Минерал	Н.О. включений в кристаллах солей	«Свободный» Н.О.	
		С учетом РАФ	Без учета РАФ
Ангидрит	34,0-60,0 (47,0)*	1,0-10,0 (3,9)	1,4-13,8 (5,4)
Доломит	13,0-35,0 (22,6)	8,0-19,0 (12,2)	11,1-26,3 (16,9)
Санидин	4,0-16,0 (10,5)	20,0-27,0 (22,3)	27,7-37,4 (30,9)
Гидрослюда	2,0-10,0 (6,3)	3,0-21,0 (15,2)	4,2-29,1 (21,0)
Кальцит	0,5-6,0 (4,5)	2,0-11,0 (7,2)	2,8-15,2 (10,0)
Гипс	1,0-8,0 (4,0)	0-1,0 (0,2)	0-1,4 (0,3)
Кварц	1,5-4,5 (3,2)	2,0-8,0 (6,1)	2,8-11,1 (8,4)
Хлорит	0,5-2,0 (1,2)	2,0-5,0 (2,9)	2,8-6,9 (4,0)
Пирит	0-1,5 (0,7)	1,0-2,5 (1,7)	1,4-3,5 (2,4)
Амфибол	0	0-1,5 (0,5)	0-2,1 (0,7)
Сульфаты + карбонаты	78,1	23,5	32,6
Силикаты	21,2	47,0	65,0
РАФ	0	18,0-37,0 (27,8)	-

* – в круглых скобках – среднее содержание

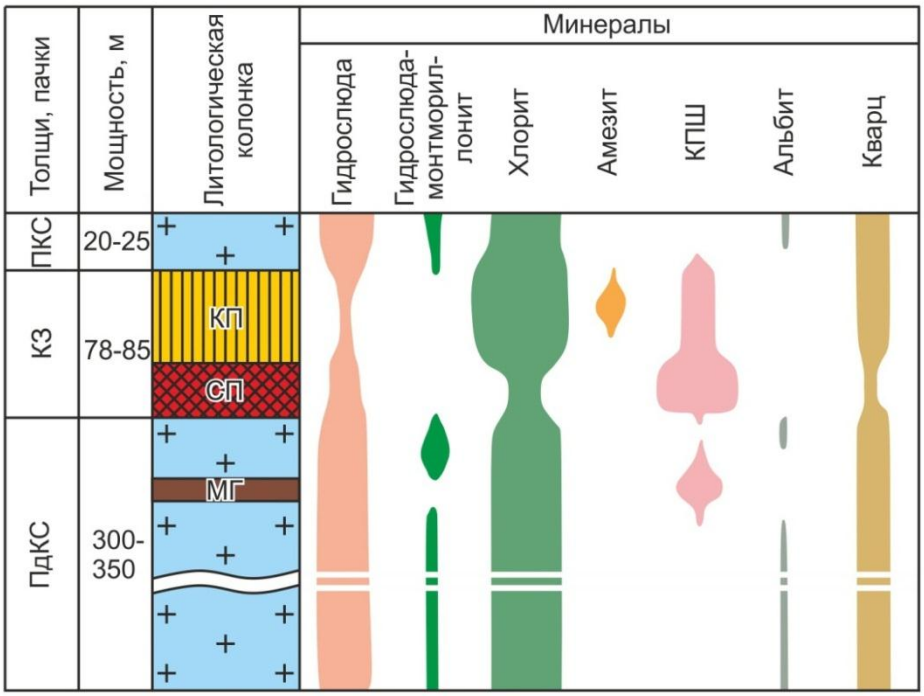

Рис. 2.5. Относительное изменение содержаний основных силикатных минералов по разрезу соляной толщи ВКМС (фрагмент рис. 2 из [79])

Рентгеноаморфная фаза присутствует только в формах «свободного» Н.О. [171]. По-видимому, какая-то часть этой фазы сложена органическим веществом (ОВ). В свою очередь ОВ соляной толщи ВКМС имеет несколько форм нахождения. Наиболее распространенной из них является растительный детрит, состоящий из спор, пыльцы и мелких фрагментов растений. Последние видны под микроскопом в шлифах соляных пород, содержащих прослойки галопелитов, и называются углистым веществом. Менее распространенной, но довольно часто встречающейся формой ОВ в солях месторождения являются древесные остатки. Еще реже ОВ встречается в форме нефтепроявлений, которые в стенках горных выработок определяются визуально и по характерному запаху углеводородов (керосина) при измельчении пород [47].

2.3. Генезис нерастворимых примесей солей

Н.О. солей – полигенный компонент. Его составляющие могут быть аутигенными и аллотигенными, а также первичными и вторичными. Карбонаты и сульфаты являются постоянными аутигенными образованиями солеродных бассейнов и генетически связаны между собой. Эти две группы минералов массово выпадают в осадок на начальных стадиях сгущения океанической (морской) воды, но их осаждение не прекращается даже на самых высоких стадиях ее осолонения (рис. 2.6). Особенностью верхнекамского солеродного бассейна являлось то, что на карбонатной стадии шло в основном осаждение доломита и в меньшей степени – кальцита. Первоначальной формой осаждающихся сульфатов являлся гипс, который на стадии диагенеза переходил в ангидрит. Таким образом, основная часть карбонатно-сульфатного компонента Н.О. солей и соленосных пород Верхнекамского месторождения является аутигенной.

Основой другой обширной группы минералов Н.О., представленной силикатами, является терригенная составляющая. Дискуссионными являются вопросы о характере транспортировки этого материала в солеродный бассейн и его преобразования.

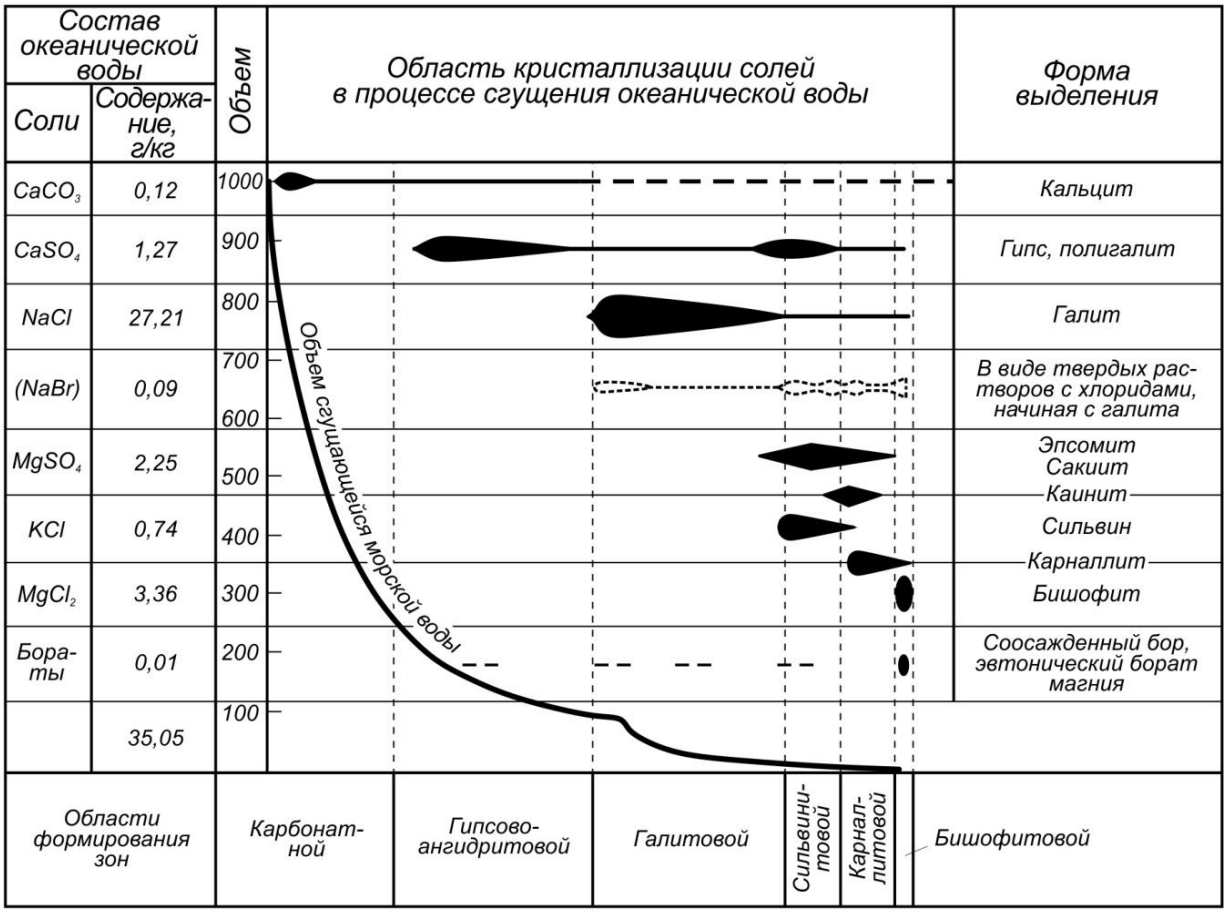

Рис. 2.6. Изменение объемов сгущающейся океанической воды, выделяющихся из нее солей и области кристаллизации отдельных минералов (по [21] с упрощениями)

Многие геологи [38, 41, 98 и др.] считают, что увеличение содержания Н.О. в солях месторождения, в направлении к юго-восточной границе калийной залежи, можно объяснить существованием речных притоков в солеродный бассейн. Однако анализ огромного геологического материала показал [47, 54, 136, 137], что факты, подтверждающие мнение о привносе терригенного материала в Верхнекамский солеродный бассейн реками, отсутствуют.

Ряд исследователей [30, 64, 83, 92] не исключает возможность привноса терригенного материала в солеродный бассейн эоловым путем, но отводят, однако, этому фактору весьма скромную роль. Но есть и другое мнение [17, 20, 27, 34, 57, 94 и др.]: количество материала, транспортируемого ветром, уступает лишь его количеству, переносимому реками, а в аридных условиях эоловый фактор переноса выходит на первое место.

По данным палинологического анализа [1] время формирования соляной залежи Верхнекамского месторождения характеризуется стабильностью аридных климатических условий, следовательно, скорость поступления терригенного материала в солеродный бассейн была постоянна. Кроме того, следует учесть, что значительная часть терригенного материала Н.О. ВКМС представлена пелитовой фракцией (<0,01 мм), которая легко переносится ветром на огромные расстояния.

Постоянное продуцирование рапой бассейна карбонатов и сульфатов вместе с непрерывным поступлением терригенного материала формируют фон седиментации хлоридных солей. Известно, что основными факторами, влияющими на скорость накопления солей в солеродном бассейне, являются интенсивность испарения и поступление морских вод. Схема влияния этих факторов на количество галопелитов в солях приведена на рис. 2.7.

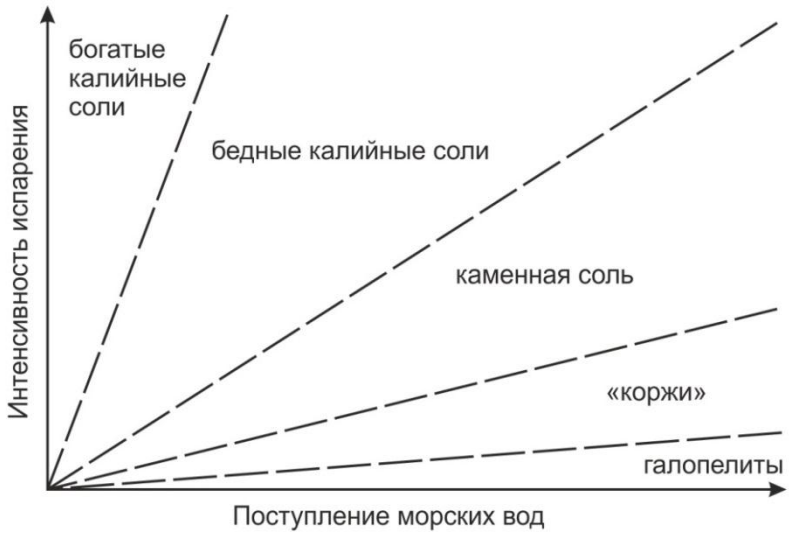

Рис. 2.7. Принципиальная схема зависимости
формирования состава пород от условий их накопления [136]

Состав выпавшего в осадок терригенного материала не остается постоянным, а при взаимодействии с материнской рапой трансформируется в более устойчивые минералы (кварц, некоторые слоистые силикаты, калиевый полевой шпат [21]). Состав этих устойчивых минералов зависит как от первоначального терригенного материала, так и состава рапы. Конкретный ход этих преобразований является весьма дискуссионным [3-5, 79, 80].

Вторичными аутигенными минералами являются также гипс, халцедон, пирит, пирротин и многие другие минералы.

2.4. Влияние Н.О. на процессы освоения месторождения

Н.О. оказывает отрицательное влияние на многие процессы освоения месторождения (извлечение руды из недр, обогащение руд, безопасность ведения горных работ, количество отходов производства и др.). Причем это влияние может быть, как прямым (например, при обогащении руд), так и косвенным (в частности, через снижение прочности соляных пород).

Влияние на процессы обогащения. Как уже отмечалось, качество добытой руды, в том числе и содержание Н.О. в сильвинитовых рудах, определяет способ ее обогащения, что отражено на рис. 2.8. В переходной зоне положение границы между способами обогащения зависит от конкретной схемы обогащения.

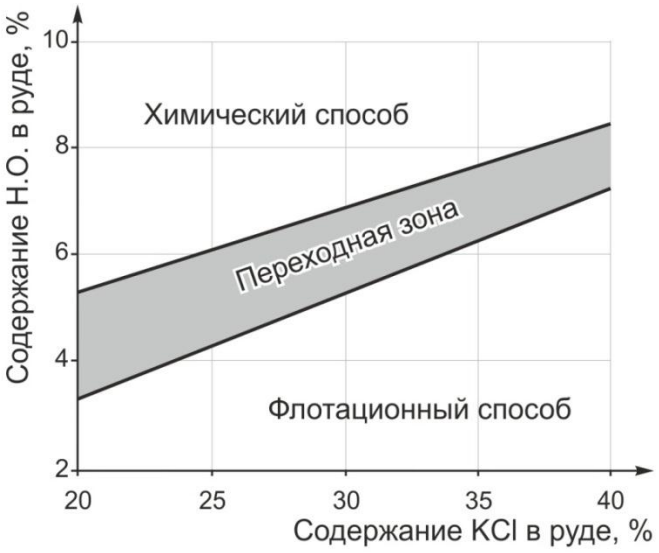

Рис. 2.8. Области экономического применения
способов обогащения сильвинита в зависимости от его состава [172]

Количество Н.О. в руде наиболее существенно влияет на процесс флотации, т.к. содержит глинистые минералы, имеющие большую удельную поверхность, поглощающие органические реагенты [87]. Пример ухудшения показателей сильвиновой флотации (в частности товарного извлечения) при увеличении Н.О. в ру-

де иллюстрируется рис. 2.9. Увеличение этого компонента в руде также влечет за собой ухудшение качества готовой продукции, что видно на примере руд Талицкого участка (рис. 2.10).

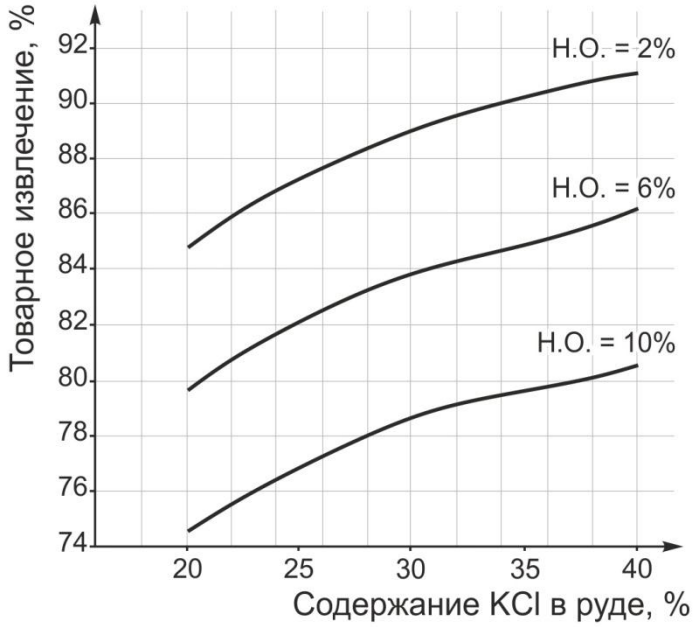

Рис. 2.9. Зависимость товарного извлечения KCl от состава сильвинита (флотационные фабрики СКРУ-2, БКПРУ-1, БКК-4 [172])

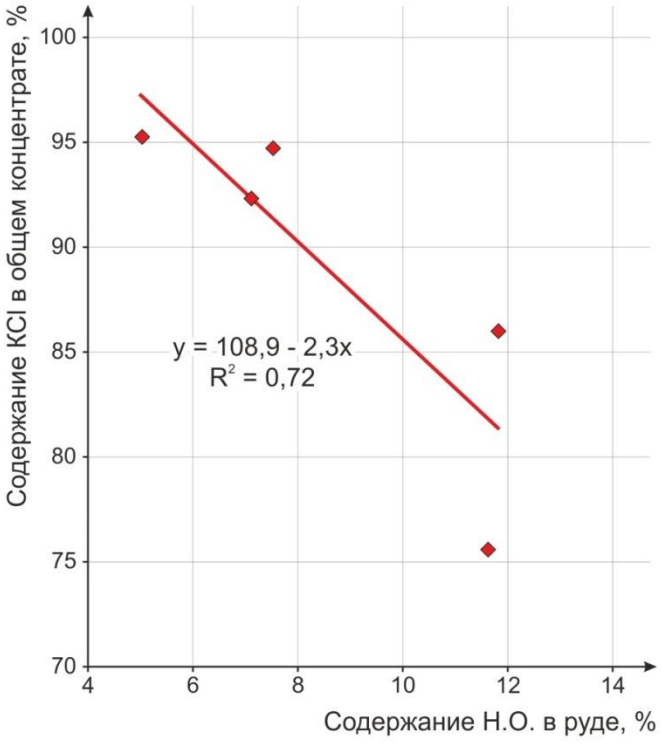

Рис. 2.10. График зависимости содержания KCl в общем концентрате от содержания Н.О. в руде [171]

Малые содержания Н.О. упрощают технологию флотации калийных руд. В частности, при содержании Н.О. менее 2% их переработку можно осуществлять без проведения предварительного обесшламливания [100].

Снижение прочности соляных пород при увеличении содержания в них Н.О. неоднократно отмечалось в публикациях.

Как известно, снижение прочности соляных пород и руд ведет к уменьшению коэффициента извлечения полезного ископаемого из недр. Статистическая обработка результатов 268 испытаний показала [48, 49], что коэффициент корреляции между прочностью на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$) каменной соли и содержанием в ней Н.О. составляет минус 0,56. Проскуряков Н.М. с соавторами [82] установил, что увеличение содержания «глины» (Н.О.) в каменной соли с 1 до 3% в среднем снижает ее $\sigma_{сж}$ с 350 до 225 кгс/см^2 (рис. 2.11).

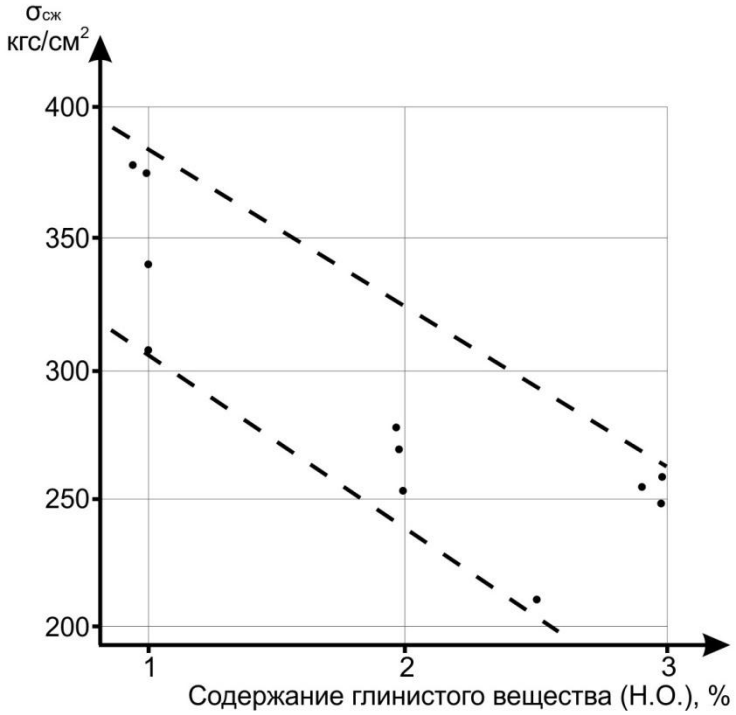

Рис. 2.11. Зависимость прочности каменной соли на одноосное сжатие от содержания в ней глины (Н.О.) [82]

Более детально влияние содержания Н.О. (вместе с содержанием $CaSO_4$) на $\sigma_{сж}$ каменной соли показано на рис. 2.12. Особенно четко это влияние прослеживается в интервале содержания Н.О. более 6%.

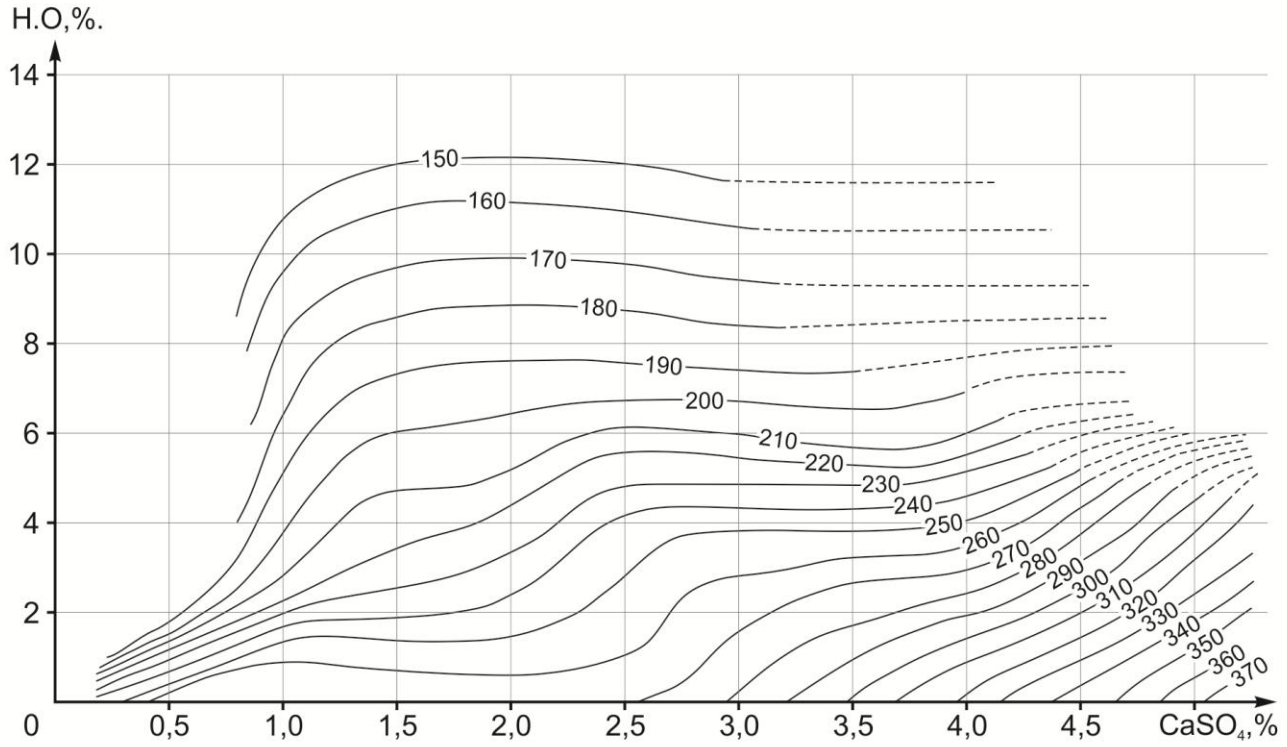

Рис. 2.12. Номограмма определения значений $\sigma_{сж}$ каменной соли по содержанию в ней Н.О. и $CaSO_4$ [48]

Влияние содержания Н.О. на прочностные свойства красных сильвинитов несколько сложнее. Так, в работах [48, 49] показано, что при содержаниях Н.О. менее 2% корреляция между $\sigma_{сж}$ этой породы и Н.О. практически отсутствует (r = +0,25; n = 74), а при содержаниях этого компонента более 2,0% – коэффициент корреляции (при n = 37) составляет минус 0,64. С учетом содержаний других компонентов, имеющих отрицательную связь с прочностью красного сильвинита, $\sigma_{сж}$ этой породы (в кгс/см^2) может быть оценена по эмпирической формуле [49]:

$$\sigma_{сж} = 267 - 79 \cdot \lg[\text{Н.О.} \times CaSO_4 \times MgCl_2].$$

Влияние мощности (толщины) прослоев глины на механические свойства красного сильвинита изучено в работе [6]. Исследованию подвергались составные цилиндрические образцы (h/d = 1), в средней части которых имелся прослой глины разной толщины. Результаты этих испытаний приведены в табл. 2.6.

В качестве примера на рис. 2.13 показана зависимость $\sigma_{сж}$ составных образцов красного сильвинита от толщины глинистого прослойка.

Таблица 2.6

Зависимость механических свойств
составных образцов красного сильвинита
от толщины глинистого прослойка (по [6])

Общая высота образца, мм	Толщина прослойка глины, мм	Доля глины, %	Предел прочности на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$), МПа	Предел длительной прочности на одноосное сжатие ($\sigma_{дл}$), МПа	Разрушающая деформация ($\varepsilon_{пр}$), %	Предел упругости ($\varepsilon_{у}$), %	Модуль деформации на пределе прочности ($D_{пр}$), ГПа	Модуль упругости (E), ГПа	Модуль спада (M), ГПА
45,0	2,0	4,44	21,16	12,50	5,13	2,77	0,41	5,84	0,27
46,0	2,5	5,43	18,63	11,60	5,90	4,10	0,32	6,45	0,19
47,0	4,0	8,51	16,20	10,00	5,93	3,64	0,27	6,03	0,37
49,0	5,0	10,20	16,27	9,15	5,54	3,15	0,29	7,06	0,37
50,0	6,0	12,00	13,29	9,16	7,02	4,80	0,19	1,79	0,48
51,0	7,0	13,73	9,40	8,25	6,81	5,00	0,14	2,42	0,28
51,5	8,0	15,53	9,12	8,43	5,97	6,03	0,15	1,67	0,24
52,0	9,0	17,31	7,79	6,24	10,13	8,00	0,08	1,25	0,13
53,0	10,0	18,87	7,91	7,40	9,32	8,00	0,08	1,25	0,12
56,0	13,0	23,21	7,13	-	12,00	-	0,06	0,69	0,13

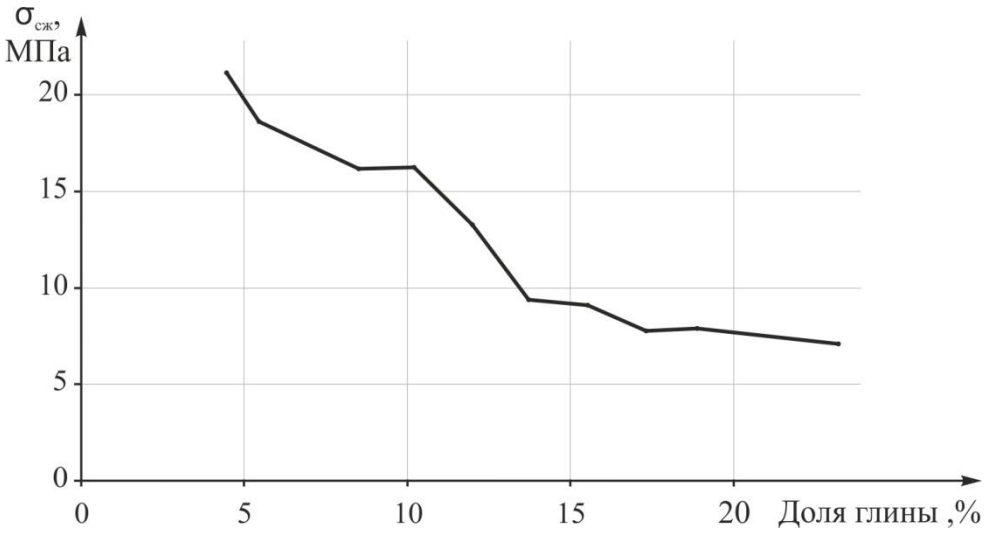

Рис. 2.13. Зависимость $\sigma_{сж}$ сильвинита от относительной мощности глинистого прослоя в образце (по материалам [6])

Косвенно, через снижение прочности соляных пород, содержание Н.О. влияет на устойчивость кровли очистных камер. Согласно [91], время устойчивого

состояния кровли камер *t* (лет) рассчитывается по формуле:

$$t = \tau \frac{b}{a \cdot K \cdot C_{\text{Н.О.}}},$$

где τ – эмпирический коэффициент; a – ширина очистной камеры, м; b – ширина межкамерного целика, м; K – показатель интенсивности складчатости, м; $C_{\text{Н.О.}}$ – средневзвешенное содержание Н.О. в породах кровли пласта, %.

Увеличение количества отходов калийного производства и, в частности, глинисто-солевых шламов напрямую связано с содержанием Н.О. в руде, поступающей на обогатительную фабрику. С фабрики глинисто-солевые шламы поступают в шламохранилища, которые состоят из рабочих карт и прудов-отстойников. Это довольно дорогостоящие сооружения, строительство и эксплуатация которых связаны с большими капитальными затратами. Шламохранилища занимают значительные площади и, являясь крупным источником загрязнения окружающей среды, требуют создания защитных полиэтиленовых экранов для предотвращения засоления почв и проникновения рассолов в подземные воды. Кроме того, шламохранилища требуют постоянного наблюдения.

3. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Анализ результатов предыдущих исследований, касающихся темы диссертации, проведен в отношении трех взаимосвязанных направлений, а именно: достоверность эксплуатационного опробования, сопоставление содержаний Н.О. по данным разведки и эксплуатации месторождения и выяснение причин расхождения этих данных, а также уравнения для корректировки данных разведки о содержании Н.О.

Достоверность эксплуатационного опробования

С самого начала освоения ВКМС (СКРУ-1, 1934 г.) эксплуатационное опробование осуществлялось бороздовым и керновым способами. В подавляющем числе работ, посвященных методике эксплуатационной разведки (например, [2, 42, 56 и др.]), рассматривается только обоснование плотности сети опробования. Современные требования к обоснованию достоверности способов опробования [88] предполагают выполнение необходимого объема экспериментальных работ на самой ранней стадии освоения месторождения. К сожалению, сейчас трудно сказать что-то определенное в отношении экспериментальных работ по причине отсутствия в библиотеках и фондах рудников самых первых работ этого направления. Некоторые рукописные работы были банально утеряны в ходе многочисленных реорганизаций и переездов. Часть публикаций (например, работы [29, 84 и др.]) исчезли навсегда по причине организованного изъятия экземпляров специализированного журнала «Калий» из всех государственных библиотек страны и их последующего уничтожения. Сведения об обосновании достоверности бороздового и кернового опробования на рудниках Верхнекамского бассейна, почерпнутые из имеющихся послевоенных источников, весьма неполны, а в некоторых случаях, и противоречивы. Используемые на ранних этапах освоения ВКМС способы опробования солей при эксплуатационной разведке (бороздовый и керновый), вероятнее всего, были приняты по аналогии с подобными месторождениями Германии.

В 1958 г. В.Ф. Мягковым было отобрано 63 пары сопряженных бороздовых проб с сечениями 6×3 и 3×2 см. Обработка результатов химического анализа этих проб показала, что все отклонения содержания KCl являются случайными: т.е. борозды разного сечения являются идентичными [67]. Поскольку между двумя сериями сопряженных проб нет систематических расхождений, то это опробование можно принять в качестве экспериментального обоснования достоверности бороздового опробования в целом. Однако, вопрос о достоверности бороздового опробования в отношении такого важного компонента солей как Н.О., в то время вообще не рассматривался, поскольку действующей «Инструкцией по методике рудничного опробования……, 1958 г.» этот компонент был отнесен к второстепенным, т.е. к тем, которые при рудничной разведке не оказывают влияния на оценку качества руд [66]. Таким образом, достоверность бороздового опробования в отношении содержания Н.О. до сих пор остается неопределенной.

Определение достоверности опробования керна скважин подземного бурения осуществлялось предшественниками двумя методами. Один из них – сравнение содержаний Н.О. в керне и буровой муке (шламе), другой – сравнением средних содержаний этого же компонента в пределах какого-либо участка ВКМС, рассчитанных по данным бороздового и кернового опробования. Первый метод был применен В.Ф. Мягковым и В.И. Раевским [72] при обработке результатов экспериментального бурения подземных скважин и опробования, как керна, так и буровой муки. Ими было установлено, что керновые пробы по содержанию Н.О. непредставительны.

Чуть позже в 1973 г. в работе [83] без приведения каких-либо доказательств отмечено, что бороздовые и керновые пробы на ВКМС считаются равноправными. В другой крупной работе [145], выполненной под эгидой ГКЗ, на основе сопоставления средних содержаний Н.О. в пласте КрII в пределах шахтного поля СКРУ-1 по данным бороздового опробования (30 сечений) и опробования керна скважин подземного бурения (144 сечения) показано, что они отличаются друг от друга на 0,06%. На этом основании авторы отчета делают вывод, что это расхождение случайное [145]. Основываясь на этом выводе и учитывая, что отчет был

апробирован ГКЗ, до настоящего времени в практике было принято, что содержания Н.О., полученные этими способами опробования, являются равнозначными и представляют собой единую совокупность.

В последнее время сотрудниками ООО «НПФ «Геопрогноз», в том числе и автором диссертации [12, 16, 105], были систематизированы данные эксплуатационного опробования на шахтных полях южной части ВКМС, где сильвиниты в отличие от соликамских участков содержат большее количество Н.О. При этом оказалось, что разница содержаний этого компонента, например, в основном рабочем пласте КрII при разных способах опробования статистически значима (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Статистики распределения содержания Н.О. пласта КрII
(по данным эксплуатационного опробования
в пределах рудников ПАО «Уралкалий»)

Способ опробования	Количество сечений	Среднее содержание, %	Стандартное отклонение, %
БКПРУ-2			
Бороздовый	959	4,52	1,14
Пробы керна	80	3,63	1,44
$t_{расч} = 5,56$; $t_{табл} = 1,96$. Расхождение значимо			
БКПРУ-3			
Бороздовый	245	5,61	1,56
Пробы керна	145	5,23	1,27
$t_{расч.} = 2,71$, $t_{табл.} = 1,96$. Расхождение значимо			
БКПРУ-4			
Бороздовый	543	5,06	1,75
Пробы керна	490	3,21	1,51
$t_{расч.} = 18,32$, $t_{табл.} = 1,96$. Расхождение значимо			

Таким образом, вопрос о достоверности эксплуатационного опробования на ВКМС так и остался открытым. Поэтому не случайно в протоколе заседания секции твердых полезных ископаемых ЭТС ГКЗ Роснедра от 26.05.2015 г. недропользователям ВКМС было рекомендовано: «Выполнить специальные исследования по обоснованию достоверности данных эксплуатационной разведки…» (прил. 23).

Сопоставление содержаний Н.О. по данным разведки и разработки

В связи с невозможностью планового совмещения точек наблюдения (опробования) при разведке и последующего изучения месторождения (вокруг скважин, пройденных с поверхности земли, оставляют охранные целики радиусом до 120 м), ранее проведенные сопоставления велись по средним значениям содержания Н.О. в пределах отдельных геологических блоков или их серии, по пластам или по шахтному полю в целом.

В ходе изучения и освоения ВКМС было составлено множество отчетов, в которых изложены результаты сопоставления данных его разведки и эксплуатации (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Сопоставление содержаний Н.О. в сильвинитах
по данным разведки и разработки ВКМС

Участок	Шахтное поле	Пласт	Содержание Н.О. (масс. %) по данным:		Расхождение содержаний, %		Год, источник
			разведки	разработки	абс.	относ.	
Соликамский	СКРУ-1	КрII	1,42	1,04	+0,38	+36	1982 [145]
			1,30	1,04	+0,26	+25	1990 [131]
			1,42	0,99	+0,43	+43	2006 [146]
		АБ	1,24	1,08	+0,16	+15	1990 [131]
			1,11	1,09	+0,02	+2	2006 [146]
	СКРУ-2	КрII	1,19	1,24	-0,05	-4	1990 [131]
		АБ	1,57	1,07	+0,50	+47	
Ново-Соликамский	СКРУ-3	КрII	0,90	1,11	-0,21	-19	2014 [104]
		АБ	1,26	1,26	0	0	
Березниковский	БКПРУ-1	КрII	1,37	1,85	-0,48	-26	1982 [145]
			1,28	1,87	-0,59	-32	2010 [154]
		АБ	1,59	1,99	-0,40	-20	1982 [145]
			1,59	1,82	-0,23	-34	2010 [154]
Дурыманский	БКПРУ-2	КрII	2,11	4,42	-2,31	-52	1982 [145]
			2,36	4,07	-1,71	-42	2007 [120]
			2,51	4,39	-1,88	-43	2015 [35]
		АБ	4,60	6,80	-2,20	-32	1982 [145]
			4,60	6,33	-1,73	-27	2007 [120]
			4,52	6,88	-2,36	-34	2015 [35]
Балахонцевский	БКПРУ-3	КрII	3,95	5,69	-1,74	-30	1982 [145]
			3,80	6,23	-2,43	-39	1984 [153]
		АБ	7,36	8,55	-1,19	-14	1982 [145]
			6,33	8,55	-2,22	-26	1984 [153]

Даже беглый обзор этой таблицы дает возможность выделить три типа площадей, отличающихся характером расхождения данных разведки и эксплуатации. Первый тип представлен северной частью Соликамского участка (шахтное поле СКРУ-1), в пределах которого содержания Н.О. по данным разведки превышают таковые по данным эксплуатации: абсолютные расхождения колеблются в пределах от +0,02 до +0,43% (среднее +0,24%).

Второй тип площадей ВКМС представлен южной частью Соликамского участка (шахтное поле СКРУ-2) и Ново-Соликамским участком (шахтное поле СКРУ-2). Здесь абсолютные расхождения данных разведки и эксплуатации знакопеременны и составляют от минус 0,21 до +0,50% (среднее близко к 0).

Все участки (шахтные поля) южной части ВКМС представляют собой третий тип площади, в пределах которой абсолютные расхождения имеют отрицательный знак и колеблются от минус 0,23 до минус 2,43% (среднее минус 1,53%).

Выяснение причин расхождения данных разведки и эксплуатации

Причиной существенного расхождения содержаний является избирательное истирание керна солей при проходке скважин с поверхности земли, являющееся неизбежным негативным процессом, который присущ колонковому бурению [65, 72].

Несмотря на то, что эта проблема стояла перед геологами Верхнекамского месторождения довольно продолжительное время, работ, посвященных изучению причин и самой природы этого явления, очень мало. В 60-х годах прошлого века этой проблемой занимались В.Ф. Мягков и В.И. Раевский, результатом этих исследований явились две опубликованные работы [65, 72].

В работе В.Ф. Мягкова [65] высказано мнение, что при бурении скважин имеют место два процесса избирательного разрушения керна, которые ведут к искажению истинных содержаний компонентов в калийных рудах, в том числе и Н.О. Первый – механическое истирание керна, ведущее к потере Н.О., а второй – выщелачивание сильвина буровым раствором, что ведет к повышению содержания Н.О.

Позднее В.Ф. Мягковым и В.И. Раевским [72] на основании обработки результатов экспериментального бурения подземных скважин были подтверждены и конкретизированы основные выводы работы [65]. Частные результаты этой работы заключались в следующем.

1. Керн сильвинита в процессе бурения скважин всухую раскалывается на столбики, основания которых более или менее перпендикулярны их оси. При этом разрывы чаще всего приурочены к глинисто-ангидритовым прослоям. Эти столбики при бурении трутся основаниями, в результате чего керн обедняется Н.О. Характер процесса истирания прогрессивный, т.е. с увеличением концентрации Н.О. в солях количество вынесенного из керна этого компонента увеличивается.

2. В процессе бурения скважин с промывкой рассолом керн систематически занижает содержание Н.О., если содержание его в породе менее 1%. При больших количествах, что обычно, пробы керна показывают завышенные данные. Авторы объясняют это процессами, протекающими в равновесных системах – удалением растворимых компонентов, так как при бурении коронка и керн в местах соприкосновения нагреваются. Следовательно, нагревается и рассол, который разлагает керн. За счет удаления растворимой части (KCl) увеличивается относительное содержание Н.О.

Первый вывод вполне логичен и, видимо, имеет место не только при бурении всухую. Керн скважин, пробуренных с промывкой хлормагниевофосфатным буровым раствором, так же раскалывается по галопелитовым прослоям, что иллюстрируется фотографиями керна скважин пройденных в период с 2008-2013 гг. (см. рис. 2.3). В этом случае тоже происходит избирательное истирание керна, т.е. вынос Н.О. в буровой раствор.

Со вторым выводом авторов работы [72] согласиться нельзя, так как результаты многочисленных сопоставлений данных разведки и разработки, проведенные ранее (см. табл. 3.2), говорят об обратном – при бурении с промывкой происходит потеря Н.О. из керновых проб, причем наибольшие расхождения характерны, именно, для сильвинитов с высоким содержанием этого компонента.

Таким образом, это явление требует дальнейшего изучения, что и рекомендовано ГКЗ Роснедра при рассмотрении запасов солей Половодовской площади ВКМС в 2014 г. [151].

Поиск поправочных уравнений для корректировки данных разведки

В работе [72] на основании результатов экспериментальных данных бурения подземных скважин по красным сильвинитам, авторами было предложено уравнение для корректировки содержаний Н.О., полученных при бурении скважин с поверхности:

$$y = 0{,}74x + 0{,}29, \quad (3.1)$$

где y – истинное содержание Н.О. в пласте, масс. %; x – содержание Н.О. в пласте по данным разведки, масс. %.

Графическое выражение этого уравнения приведено на рис. 3.1. На этом рисунке видно, что занижение содержаний Н.О. по данным разведки имеет место, только в том случае, если содержание этого компонента в породе составляет менее 1%. При более высоких содержаниях Н.О. опробование керна скважин показывает завышенные данные. Вполне очевидно, что это уравнение неудачно, так как противоречит многим фактическим данным (см. табл. 3.2).

В 1972 г. Пермский госуниверситет выпустил отчет о НИР [143], в котором на основании сопоставления данных разведки и эксплуатационного опробования в пределах трех шахтных полей (СКРУ-1, БКПРУ-1, БКПРУ-2) было предложено поправочное уравнение второго порядка (см. рис. 3.1):

$$y = 2{,}25x - 0{,}14x^2 - 0{,}56. \quad (3.2)$$

Это уравнение легло в основу «Методики переоценки качества сильвинитов при проектировании рудников на Верхнекамском месторождении», утвержденной Союзгорхимпромом 26.07.1974 г. и в последствии (1975 г.) вошло в нормативный документ [74]. Анализ этого уравнения свидетельствует, что оно полноценно «работает» только при значении $x < 5{,}0\%$. При значении x в интервале 5,0-8,5%, поправка быстро уменьшается, а при значении $x > 8{,}5\%$ поправка идет уже со знаком минус, что противоречит прямому назначению уравнения.

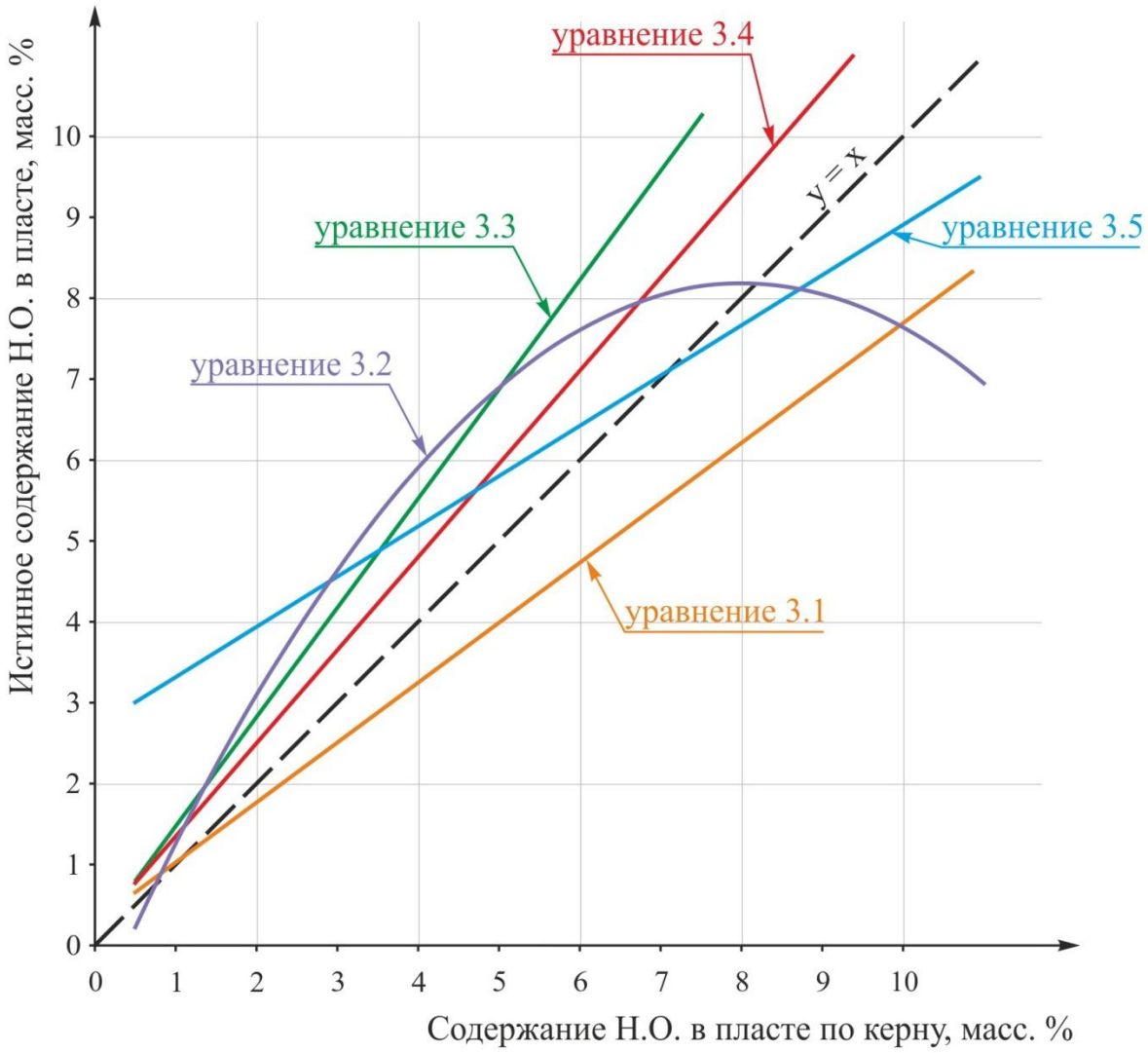

Рис. 3.1. Графики уравнений 3.1-3.5
(пояснения в тексте)

Следует отметить, что на значительной площади южной части калийной залежи поправка содержания этого компонента по данным бурения с поверхности невозможна, т. к. содержания Н.О. в этой части ВКМС достигают значений порядка 10-15% и выше.

Позднее вышел в свет отчет о НИР [142], в котором на основании данных геологоразведочных работ с поверхности и эксплуатационной разведки, проведенных в пределах Березниковского участка (шахтное поле БКПРУ-1), были получены уравнения для корректировки данных разведки о содержаниях Н.О. в двух рабочих пластах (см. рис. 3.1):

для пласта КрII: $y = 1{,}36x + 0{,}12,$ (3.3)

для пласта АБ: $y = 1{,}16x + 0{,}20.$ (3.4)

В 1978 г. вышла в свет небольшая статья [55], в которой на основе обработки данных 19 разведочных скважин и 567 бороздовых проб, составляющих 81 полное сечение пласта КрII, было получено уравнение для корректировки содержания Н.О. в этом пласте в пределах шахтного поля БКПРУ-2 (см. рис. 3.1):

$$y = 2{,}7 + 0{,}62x. \quad (3.5)$$

Недостатками уравнений 3.3-3.5 являются:

- малый объем фактического материала, на основании которого были получены поправочные уравнения;

- не определена зависимость динамики избирательного истирания керна от «истинного» содержания Н.О.: априори было принято, что процесс избирательного истирания является прогрессирующим на всем интервале содержания Н.О.

- в уравнении 3.4 пласты А и Б, характеризующиеся разной концентрацией Н.О. (см. разд. 1.3 и прил. 1), объединены в один пласт.

Приведенный анализ ранее полученных поправочных уравнений свидетельствует о том, что в настоящее время отсутствует обоснованная методика корректировки содержаний Н.О., полученных при разведке ВКМС с поверхности.

Задачи исследований

Изложенные выше недостатки ранее проведенных исследований, неопределенность и, отчасти, противоречивость их результатов, а также рекомендации ГКЗ Роснедра позволили определить основные задачи настоящей диссертации.

1. Оценить достоверность эксплуатационного опробования.

2. Разработать методику сопоставления содержаний Н.О. по разным данным.

3. Исследовать динамику избирательного истирания керна.

4. Получить уравнения для корректировки содержаний Н.О. по данным опробования керна.

4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ФАКТОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА

4.1. Существующая методика определения содержания Н.О. в солях ВКМС

Опробование и обработка проб

Опробование продуктивных пластов и вмещающих их пород на ВКМС осуществляется двумя способами: путем опробования керна скважин и бороздового опробования стенок подземных горных выработок. На поисковой, оценочной и разведочной стадиях (названия стадий ГРР даются в соответствии с действующим нормативным документом [78]) используется керновое опробование скважин, пройденных с поверхности земли. В период эксплуатационной разведки – керновое (скважины подземного бурения) и бороздовое. Несмотря на то, что геологоразведочные работы на месторождении проводились в различные временные периоды, методика геологического опробования оставалась практически неизменной.

Керн соленосного интервала разреза, вскрытого скважиной, подвергался сплошному секционному опробованию. Длина секций по пересечениям калийной залежи принималась равной мощности пласта (слоя), при условии, если она не превышает 3,0-3,5 м. Слои несоляных пород (галопелитов) при мощности 5 см и более опробовались отдельно. При опробовании керна СПБ в пробу поступал весь материал, а при проходке скважин с поверхности отбор осуществлялся, как правило, путем раскалывания (в последние годы – распиливания) керна по его оси на две части, одна из которых шла в пробу [129, 131, 157-160, 163, 166, 175 и др.]. Иногда отбор проб из керна производился путем высверливания по его оси отверстия постоянного диаметра (8-16 мм) и сбора образующегося порошка [104, 129, 132, 166 и др.]. Методом высверливания опробовались в основном сильвиниты при хорошей сохранности керна. Сопоставление проб, отобранных путем раскалывания и путем высверливания, свидетельствует о достаточной представительности проб, отобранных обоими способами [132, 166 и др.].

Как уже отмечалось, бороздовым способом опробовались промышленные пласты, вскрываемые горными выработками, а также коржи. Сечение борозд составляло 6×3 см или 3×2 см. При невозможности отбора борозды на полную мощность пласта (слоя) в одном пересечении допускалось смещение места отбора, при этом расстояние между крайними пробами не превышало 50 м.

Обработка материала всех геологических проб на ВКМС одинаковая и заключается в последовательном его измельчении и сокращении (рис. 4.1). Пробы сильвинита, отобранные путем высверливания, обрабатывались по той же схеме, начиная с IV стадии, минуя предыдущие (см. рис. 4.1). Коэффициент неоднородности K в формуле $Q = K \times d^2$ для каменной соли и сильвинитов принимался равным 0,1, для карналлитовой породы – 0,2, для галопелитов (глинисто-ангидритового материала) – 0,3. Конечный размер зерен в сильвинитовых пробах составляет не более 0,25 мм.

Соответствие схемы обработки проб с характером распределения компонентов в руде учитывается уравнением Ричардса-Чечотта в виде коэффициента «K». На ранних этапах освоения ВКМС (30-е – 60-е гг. прошлого века) величина этого коэффициента принималась равной 0,5 и была принята по аналогии с рудами других месторождений [69]. В 60-х годах прошлого столетия В.Ф. Мягковым были проведены экспериментальные исследования по уточнению коэффициента неоднородности в применяемой на ВКМС схеме обработки проб. По результатам этих работ автором было определено, что оптимальное значение коэффициента «K» для схемы обработки сильвинитовых проб составляет 0,1 [69]. Установленное В.Ф. Мягковым значение этого коэффициента используется и в настоящее время, а процедура проведенного им эксперимента полностью соответствуют ныне существующему порядку проведения экспериментальных работ, регламентированных нормативным документом [88]. Однако до настоящего времени работ по определению качества обработки геологических проб на ВКМС не проводилось.

Методика и погрешность химического анализа

Методика определения содержания Н.О. на ВКМС с момента его открытия и по настоящее время не претерпела серьезных изменений и заключается в следующем.

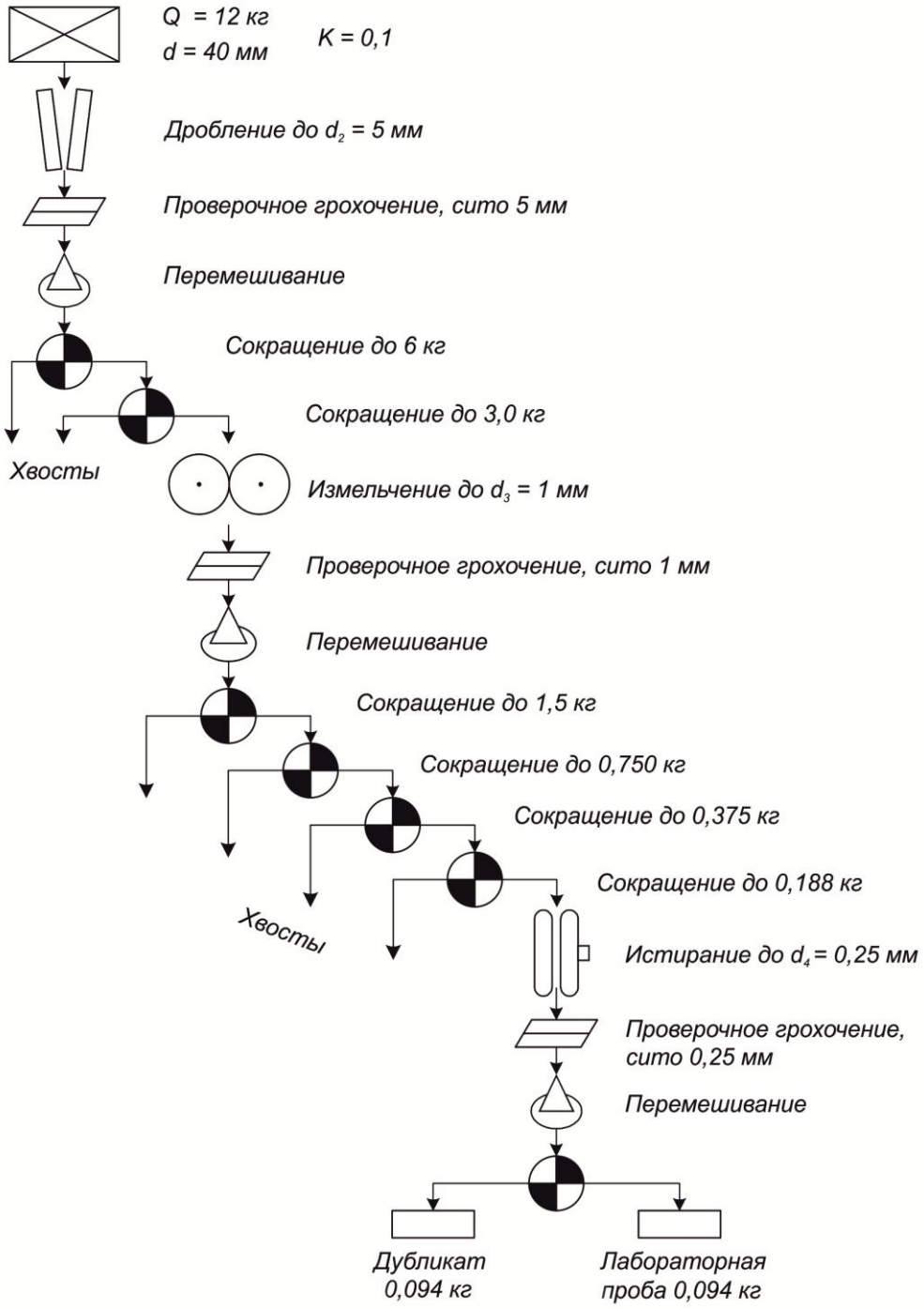

Рис. 4.1. Схема обработки геологических проб сильвинита и каменной соли

От подготовленной пробы отбирается навеска массой 10 г. Навеска помещается в мерный стакан и растворяется в дистиллированной воде при температуре 40-50°С. Раствор фильтруется через высушенный до постоянного веса бумажный фильтр (синяя лента). Фильтр с остатком промывается горячей водой до отрицательной реакции промывных вод на хлор-ион (проба раствором азотнокислого се-

ребра), высушивается в сушильном шкафу при температуре 100°С до постоянной массы (не менее часа), охлаждается в эксикаторе и взвешивается. После чего вычисляется содержание Н.О. в пробе.

В начальный период освоения ВКМС (1925-1959 гг.) нормативного документа, в котором бы была приведена допустимая погрешность химического анализа при определении содержания Н.О., не существовало. В 1959 г. были утверждены «Временные нормы допустимых расхождений между результатами рядовых и контрольных анализов водных вытяжек солей», в которых допустимая погрешность приводится не для Н.О., а для суммы содержаний Н.О. и $CaSO_4$. При всех значениях этой суммы допустимое расхождение между рядовыми и контрольными анализами колеблется от 0,3 до 0,6%.

Впоследствии вышел ряд нормативных документов, касающихся геологического контроля. Однако во всех них, и даже в действующем ОСТ 41-08-272-04 [75], не указаны допустимые отклонения при определении содержания Н.О. Таким образом, в практике геологи до сих пор пользуются прежними «Временными нормами…, 1959 г.».

По-видимому, эта ситуация обусловлена вполне объективной причиной. Дело в том, что при производстве химического анализа проб с относительно высоким содержанием $CaSO_4$ и вследствие его малой растворимости в водную вытяжку переходит только часть этого компонента. Количество $CaSO_4$, переходящего в водную вытяжку, зависит от трудно учитываемых условий растворения и промывания. Другая оставшаяся в твердой фазе часть $CaSO_4$ попадает в Н.О. Тем не менее, в некоторых работах при решении геологических задач геологи вынуждены задаваться какой-то погрешностью определения содержания Н.О. Например, в работе [72] за уровень допустимых отклонений в производстве химических анализов для содержания Н.О. принимается 0,1%. К сожалению, авторы работы не поясняют, почему именно это значение является допустимым, и не приводят ссылки на какие-либо другие источники информации.

Работ, в которых рассматривается оценка точности химического анализа при определении содержания Н.О., почти нет. Счастливым исключением является

отчет о НИР УФ ВНИИГ 1975 г. [117]. В этой работе отмечено, что точность химического анализа для Н.О. составляет 0,5%.

4.2. Методы решения поставленных задач

Общий алгоритм проведенных исследований представлен на рис. 4.2.

4.2.1. Применение стандартных и нормативных методик

При решении поставленных задач широко использовались простейшие приемы статистической обработки и анализа фактических данных: вычисление статистик по выборкам ($x_{ср}$ – среднее значение, σ_x – стандартное отклонение V – коэффициент вариации), сглаживание рядов значений методом статического и скользящего окна, проверка гипотезы о равенстве средних с помощью t-критерия Стьюдента, построение полей корреляции, выявление характера и тесноты связи между параметрами (вычисление коэффициента корреляции – r) и др.

Подавляющее большинство статистических расчетов проведено с помощью программы Microsoft Excel 2010. Нестандартным являлось только построение эллипса рассеяния при анализе корреляционных полей (выделение аномальных значений) и расчет уравнений ортогональной среднеквадратической регрессии.

Критерием выделения аномальных значений на двумерном поле корреляции являлось их положение относительно эллипса рассеяния, уравнение которого имеет следующий вид [71]:

$$\frac{1}{1-r^2}\left[\frac{(x-\bar{x})^2}{\sigma_x^{\,2}}+\frac{(y-\bar{y})^2}{\sigma_y^{\,2}}-\frac{2r}{\sigma_x\cdot\sigma_y}(x-\bar{x})\cdot(y-\bar{y})\right]=6{,}0516, \qquad (4.1)$$

где r – коэффициент корреляции; σ_x, σ_y – стандартное отклонение в выборке; $\bar{x}$, $\bar{y}$ – среднее значение.

Значение 6,0516 соответствует заданному уровню значимости p = 0,05 (95%-ной доверительной вероятности). Это означает, что 95% точек будут находиться в пределах эллипса. Находящиеся за его пределами точки (значения) считались аномальными и в дальнейших расчетах не учитывались.

Рис. 4.2. Алгоритм проведенных исследований

Расчет уравнения ортогональной среднеквадратической регрессии проводился по формуле:

$$y = k(x - \bar{x}) + \bar{y}, \tag{4.2}$$

где k = tgα – угловой коэффициент уравнения, определяемый по формуле:

$$tg2\alpha = \frac{2r \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}{\sigma_x^{\,2} - \sigma_y^{\,2}}. \tag{4.3}$$

Помимо отмеченных, применялись и другие частные приемы обработки, описание которых приведено в соответствующих разделах.

Выше было показано (см. разд. 4.1), что экспериментальных работ с целью оценки качества обработки проб проведено на ВКМС не было, а оценка точности химического анализа для содержаний Н.О. в нормативных документах, как в действующем [75], так и в старых, не определена. Кроме того, для успешного решения задачи о характере избирательного истирания керна скважин необходимо оценить достоверность другого способа опробования, т.е. бороздового. Для решения этих задач в диссертации применялись методики, регламентированные действующим нормативным документом [88].

Контроль обработки проб

С целью определения качества обработки сильвинитовых проб нами были проведены экспериментальные исследования, заключающиеся в определении величины погрешности этого процесса на Верхнекамском месторождении [14, 105]. Для этого было отобрано 30 горстьевых проб отбитой сильвинитовой руды с размером частиц не более 10 мм и массой не менее 20 кг каждая. Пробы отобраны при проходке комбайном горной выработки по пласту АБ из самоходного вагона в пределах 8-9 СВП (блок 4) шахтного поля рудника БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий».

Материал каждой пробы тщательно перемешивался и делился на две равные части способом квартования. После этого каждая часть обрабатывалась как самостоятельная проба по принятой на ВКМС схеме (см. рис. 4.1), а затем направлялась на анализ в лабораторию. Результаты определения содержаний Н.О. в этих пробах и расчет среднеквадратической погрешности их обработки приведены в

прил. 2. Из приложения следует, что абсолютная среднеквадратическая погрешность обработки проб по Н.О. составляет 0,38%, а относительная – 7,38%. Таким образом, фактическая погрешность обработки проб (7,38%) является удовлетворительной, поскольку она меньше регламентированной (15-20%) [88].

Контроль качества химических анализов

Сопоставление рядовых и контрольных анализов проб с целью установления погрешности определения содержаний Н.О. проведено автором совместно с сотрудниками ООО «НПФ «Геопрогноз» в работе [103], а результаты опубликованы в монографии [11]. Материалы для исследования были заимствованы из современных отчетов по результатам геологоразведочных работ на месторождении [104, 138, 169]. Пробы, используемые для сопоставления, были отобраны из скважин, пробуренных в период 2009-2013 гг. Всего было использовано 189 проб, по которым имеются результаты рядового и контрольного химического анализа.

Из этих проб были составлены две выборки с содержанием Н.О. < 2% и Н.О. > 2%. Для каждой из выборок были рассчитаны среднее содержание компонента в пробах, абсолютная и относительная среднеквадратическая погрешность (прил. 3). Полученные результаты представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты сопоставления рядовых и контрольных анализов проб, использованных для установления погрешности определения содержаний Н.О. [11, 103]

Класс содержаний Н.О.	Количество проб в выборке	Среднее содержание, масс. %	Среднеквадратическая погрешность, %	
			абсолютная	относительная
Н.О.<2%	153	0,93	0,18	19,35
Н.О.>2%	36	3,36	0,44	13,09

Из таблицы видно, что среднеквадратическая абсолютная погрешность при определении содержаний Н.О. химическим анализом составляет 0,18% (при содержаниях Н.О. < 2%) и 0,44% (при содержаниях Н.О. > 2%).

Достоверность бороздового опробования

В соответствии с нормативной методикой [88], достоверность опробования обосновывается опытным путем с вычислением его случайных и систематических погрешностей. Выбранный способ опробования должен, прежде всего, характеризоваться отсутствием систематической погрешности определения содержаний Н.О., обусловленной избирательным выкрашиванием материала при опробовании стенок подземных горных выработок.

Оценка достоверности этого способа опробования заключалась в отборе парных бороздовых сильвинитовых проб разного сечения, обработке их по обычной методике, последующем химическом анализе и статистической обработке полученных результатов.

В соответствии с [88], расчет случайных погрешностей оценивался путем вычисления среднеквадратического отклонения по формулам, приведенным в прил. 5. Систематическая погрешность опробования оценивалась путем определения систематического расхождения и статистической значимости этого расхождения по *t*-критерию Стьюдента для доверительной вероятности 0,95 с использованием формул, приведенных в прил. 6.

Развернутая методика и результаты этих работ приведены ниже в разд. 5.1.

4.2.2. Разработка новой методики сопоставления данных

Выше уже отмечалось, что все ранее проведенные сопоставления осуществлялись по средним значениям содержания Н.О. в пластах в пределах отдельных геологических блоков, их серий или по шахтным полям в целом. При этом в каждом конкретном случае имеется лишь одна пара значений – среднее содержание Н.О. по данным разведки и среднее содержание Н.О. по данным эксплуатации. Однако этого недостаточно для того, чтобы проследить динамику процесса избирательного истирания керна в интервале содержаний Н.О., встречающихся на месторождении.

С целью выявления динамики расхождения, как функции от содержания Н.О. в пласте, в настоящей работе за основу принято сопоставление данных в пределах дискретных (элементарных) участков геохимического поля этого компонента, т.е. в пределах относительно небольших по площади частей месторождения. Причем, в совокупности серия средних содержаний Н.О. по этим участкам должна отражать весь диапазон содержаний этого компонента, характерный для ВКМС в целом.

Определение размера участка сопоставления

Важным параметром является размер участка сопоставления. Он должен быть таким, чтобы в его пределах имелось достаточное количество пунктов наблюдения, необходимое для сопоставления. При этом, в случае сопоставления одного значения содержания Н.О. (по одной солеразведочной скважине) с данными эксплуатации условно принято, что значение геохимического поля этого компонента в пределах участка сопоставления является постоянным. Однако вследствие тренда этого поля (а в южной части ВКМС он имеется всегда – см. разд. 7.3) и неизбежных случайных ошибок это условие никогда не выполняется.

В соответствии с современной теорией геостатистики [46, 70 и др.] частное значение любого геологического параметра (отметка кровли геологического тела, мощность пласта, содержание компонентов и т.п.) представляют собой алгебраическую сумму регулярной (закономерной) и случайной составляющих:

$$X_i = X + \varepsilon_i, \qquad (4.4)$$

где X_i – частная оценка признака, X – регулярная составляющая (измеренная без погрешностей), ε_i – случайная составляющая.

В свою очередь на значение ε_i оказывает влияние множество других случайных величин, которые условно можно разделить на природные флуктуации и технические погрешности. В отношении содержания Н.О. природные флуктуации обусловлены:

- неравномерностью накопления в осадке нерастворимых в воде компонентов на стадии седиментогенеза;

- латеральной изменчивостью мощности (в результате гофрировки слоев) и минерального состава галопелитовых прослоев;

- перераспределением в объеме пласта и выносом из него глинистых частиц мигрирующими растворами на стадии эпигенеза;

- вторичным изменением состава продуктивного пласта под воздействием надсолевых вод на стадии гипергенеза [47].

Технические погрешности определения содержаний Н.О. в пробах вызваны:

- потерей керна при бурении скважин;

- ошибками опробования (невыдержанность геометрической базы геологической пробы, отсутствием должной промывки керна от бурового раствора, неряшливый сбор материала при бороздовом опробовании и др.);

- погрешностью подготовки пробы к анализу (разброс обломков при раскалывании крупных кусков керна, недостаточная тщательность очистки оборудования: дробилок, валков, истирательных дисков, сит);

- погрешностью химического анализа на Н.О.

Случайная составляющая обладает знакопеременностью и статистической устойчивостью, поэтому $\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i \to 0$ при $n \to \infty$ [70]. В действительности мы никогда не знаем истинного значения X, поскольку n всегда $< \infty$.

В качестве меры отличия серии фактических значений в пределах участка от условного постоянного содержания Н.О. (равномерного) в работе принят коэффициент вариации (V). В соответствии с нормативными документами [33, 86 и др.] характер распределения компонентов при V = 30-40% считается равномерным. В настоящей работе за граничное значение V принято 33%, которое чаще всего применяется на практике.

Вполне понятно, что при четко выраженном тренде геохимического поля значение V будет возрастать с увеличением площади (размера) участка сопоставления (S). Следовательно, получив зависимость $V = f$ (S), можно найти максимальную площадь, при которой V будет удовлетворять принятым условиям (33%).

С этой целью по данным прил. 1 и с помощью программы «ArcMap 10» было построено геохимическое поле Н.О. пласта КрII для южной части ВКМС (рис. 4.3).

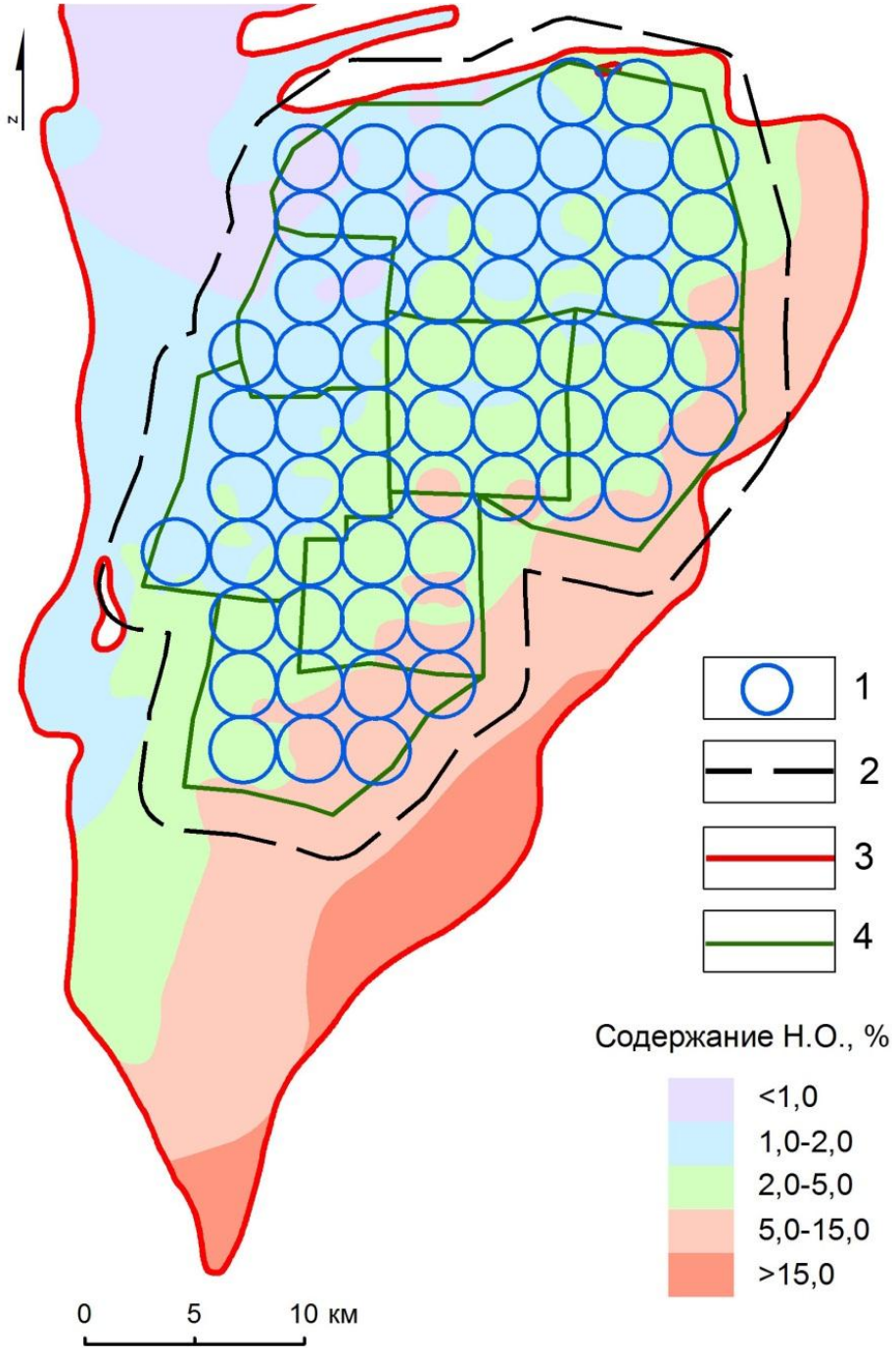

Рис. 4.3. Схема расположения участков R=1,5 км
(пояснения в тексте)
1 – Участки сопоставления содержаний Н.О.; 2 – контур площади исследований;
3 – контур пласта КрII; 4 – контуры разведанных участков.

В ее пределах выделена площадь (818 км^2) с наиболее плотной сетью солеразведочных скважин, включающая Быгельско-Троицкий, Березниковский, Дурыманский, Усть-Яйвинский, Балахонцевский, Талицкий и Палашерский участки ВКМС. После этого выделенная (исследуемая) площадь с помощью инструмента «Spatial Analist Tools» этой же программы была разбита на ячейки растра размером 75×75 м с определением в них содержания Н.О.

Затем, в пределах выделенной площади были построены гипотетические участки сопоставления в форме круга с радиусами 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 км. Пример расположения кругов радиусом 1,5 км на этой площади приведен на рис. 4.3.

При этом оказалось, что в круге радиусом 0,5 км размещается 139 ячеек растра, в круге радиусом 1,0 км – 558, в круге радиусом 1,5 км – 1 256, в круге радиусом 2,0 км – 2 232 ячейки. Далее, для каждого круга были определены значения среднего содержания Н.О., стандартное отклонение и коэффициент вариации (прил. 7). Используя данные этого приложения, была получена статистическая характеристика участков сопоставления в форме круга (табл. 4.2), а графическое изображение этих результатов приведено на рис. 4.4.

Таблица 4.2

Характеристика участков в форме круга

№ п/п	R, м	S, км^2	Кол-во участков	Коэффициент вариации, %	
				среднее	max
1	500	0,78	585	6	24
2	1 000	3,14	147	11	27
3	1 500	7,06	62	14	27
4	2 000	12,56	36	18	42

На рис. 4.4. видно, что графики $V_{ср.}$ и $V_{эмпир.}^{max}$ резко отличаются друг от друга. Несомненно, что это обусловлено надежностью полученных величин. При вычислении $V_{ср.}$ случайная составляющая в значительной степени погашена (n = 36-585), а $V_{эмпир.}^{max}$ – это единичные значения. После осреднения эмпирических значений V_{max} методом скользящего окна (размер окна – 3 соседних значения), этот график приобрел вид более близкий к графику $V_{ср.}$ Используя полученную кривую ($V_{осредн.}^{max}$), находим, что при V = 33% радиус круга ≈ 1,6 км (S ≈ 8 км^2).

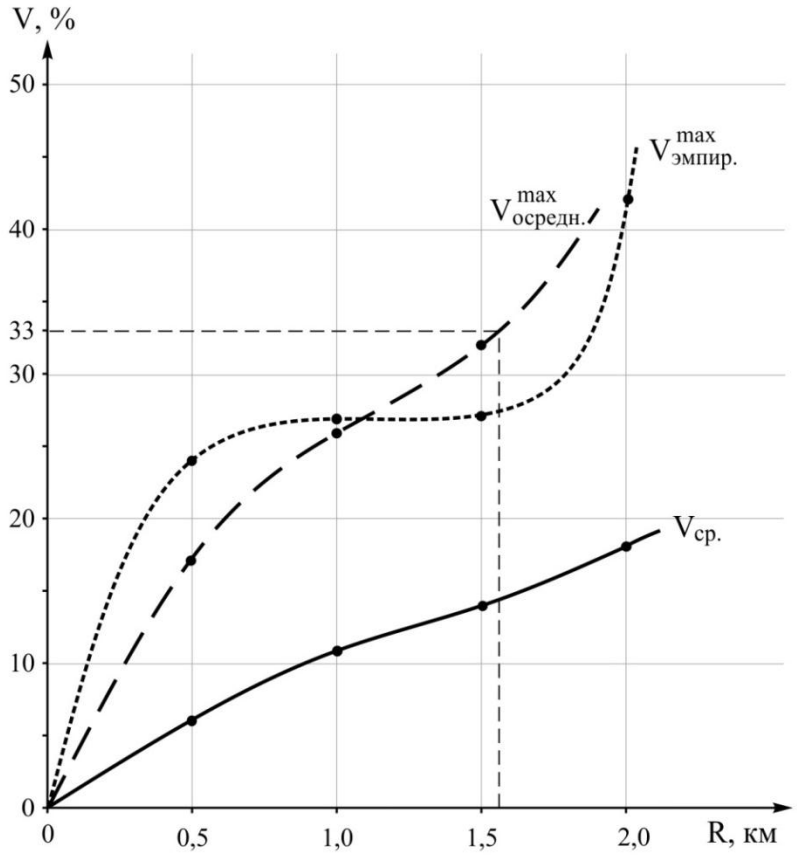

Рис. 4.4. График зависимости коэффициента вариации содержаний Н.О. от радиуса участка сопоставления в форме круга (пояснения в тексте)

Таким образом, учитывая принятые ограничения, площадь участка сопоставления в пределах ВКМС не должна превышать 8 км^2, а его форма в плане должна быть близка к изометричной фигуре (круг, квадрат и др. [49а]).

Сопоставление содержаний Н.О. по данным

бороздового опробования и опробования керна подземных скважин

Сопоставление проведено в пределах участков сравнения данных (УСД), которые представляют собой относительно небольшие части шахтных полей на уровне продуктивных пластов сильвинитового состава.

Условиями для выделения УСД являлись:

- площадь УСД должна составлять не более 8 км^2;

- наличие на его площади не менее двух сечений по каждому из сравниваемых способов опробования;

- в каждом сечении пласт должен иметь типичное строение. Все сечения, вскрывшие пласт аномального строения (наличие частичного замещения сильвинита каменной солью, нехарактерных для пласта прослоев несоляных пород и др.), отбраковывались;

- СПБ внутри одного УСД должны иметь одинаковое направление бурения, что вызвано различием технологии проходки (вверх – всухую, вниз – с подливом насыщенного рассола).

УСД в количестве 136 штук были выделены в пределах четырех шахтных полей, принадлежащих двум действующим (БКПРУ-2 и БКПРУ-4) и двум затопленным (БКПРУ-1 и БКПРУ-3) рудникам, расположенным в южной части ВКМС (рис. 4.5-4.7). Все УСД в плане имеют, в основном, прямоугольную форму, а площадь самого большого не превышает 1,8 км^2. Пример типичного УСД приведен на рис. 4.8. Полная характеристика УСД дана в прил. 8 и 10.

Выделенные УСД были разделены на две группы: первая – для сопоставления данных о содержании Н.О. по бороздовому опробованию с данными опробования керна восстающих СПБ; вторая – для сопоставления с данными опробования керна нисходящих СПБ. Для первого случая было выделено 115 УСД, в том числе по пласту КрII – 32, по пласту А – 48, по пласту Б – 35. Для второго – 21 УСД (все пласт КрII).

После этого в пределах каждого УСД было рассчитано среднее содержание Н.О. по данным опробования керна СПБ (Н.О.$_К$) и среднее содержание этого компонента по бороздовому опробованию, которое принято за истинное (см. ниже разд. 5.1) и обозначено Н.О.$_И$. В целях отбраковки ураганных значений все первичные выборки по УСД (частные значения содержания Н.О.) подвергались обработке, заключающейся в однократном выделении значений, не попадающих в интервал Хср ± 2σ, которые исключались из выборки. Результаты обработки частных выборок приведены в прил. 9.

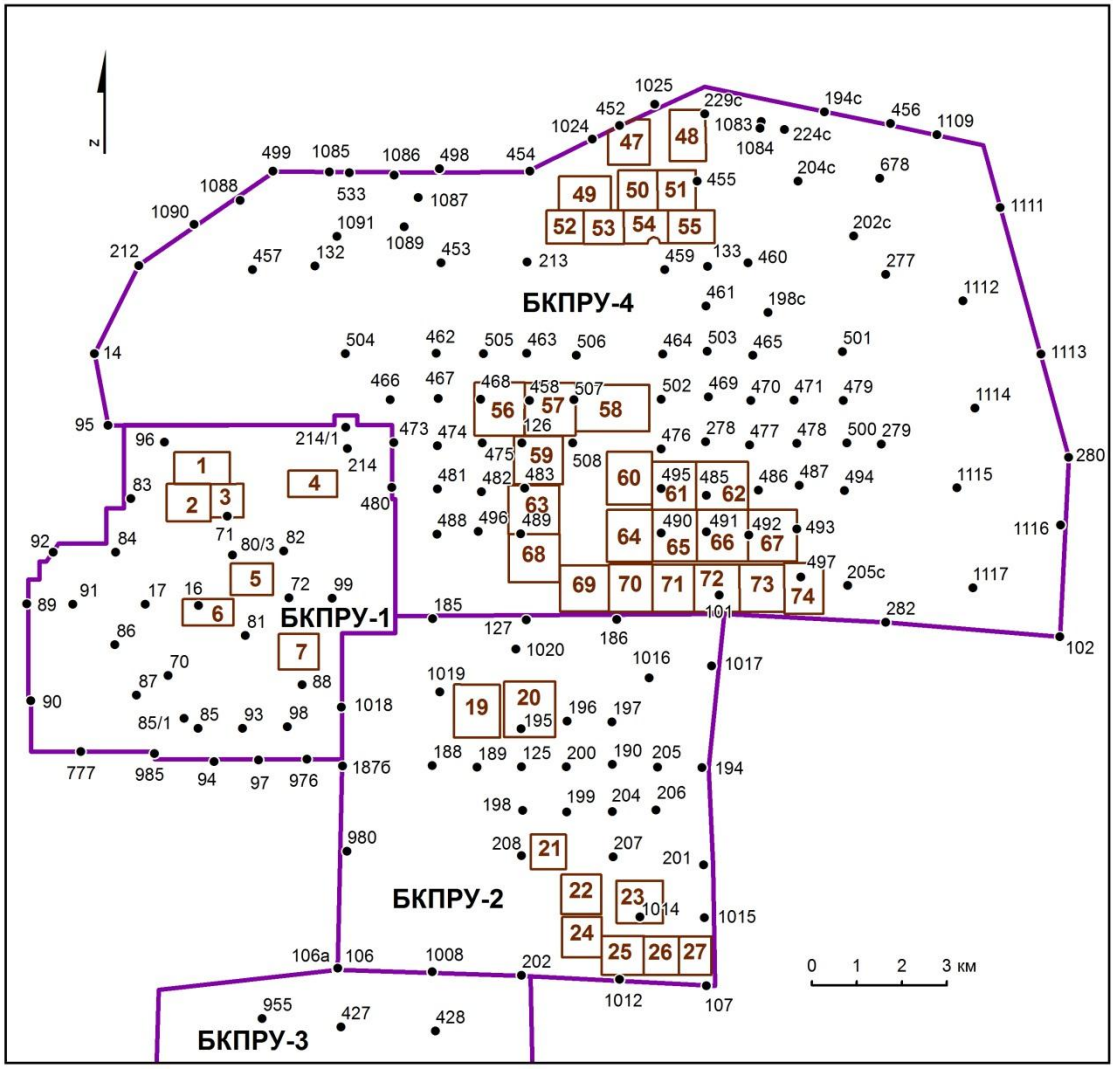

Рис. 4.5. Схема расположения УСД пласта КрII

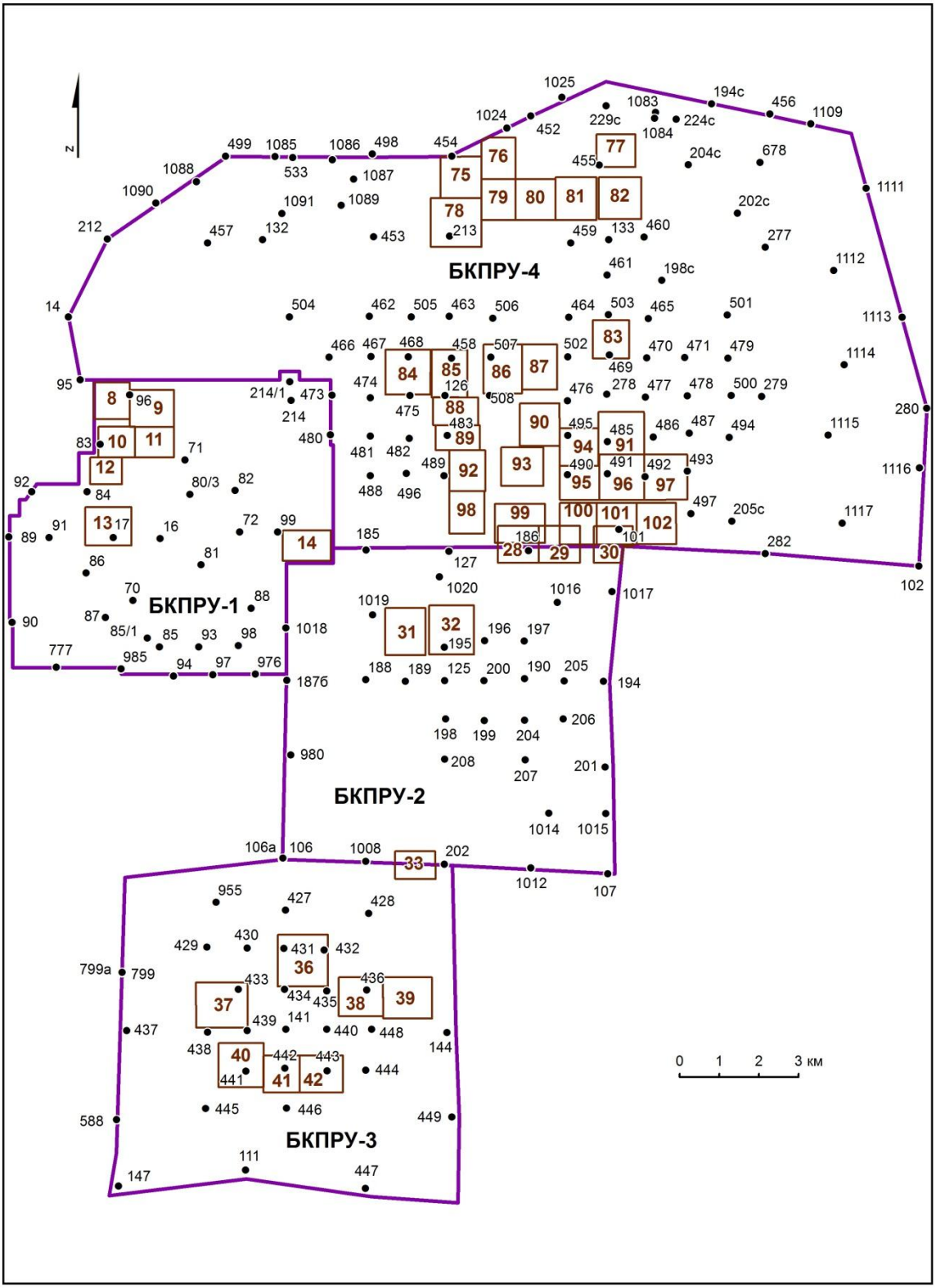

Рис. 4.6. Схема расположения УСД пласта А

Условные обозначения см. на рис. 4.5

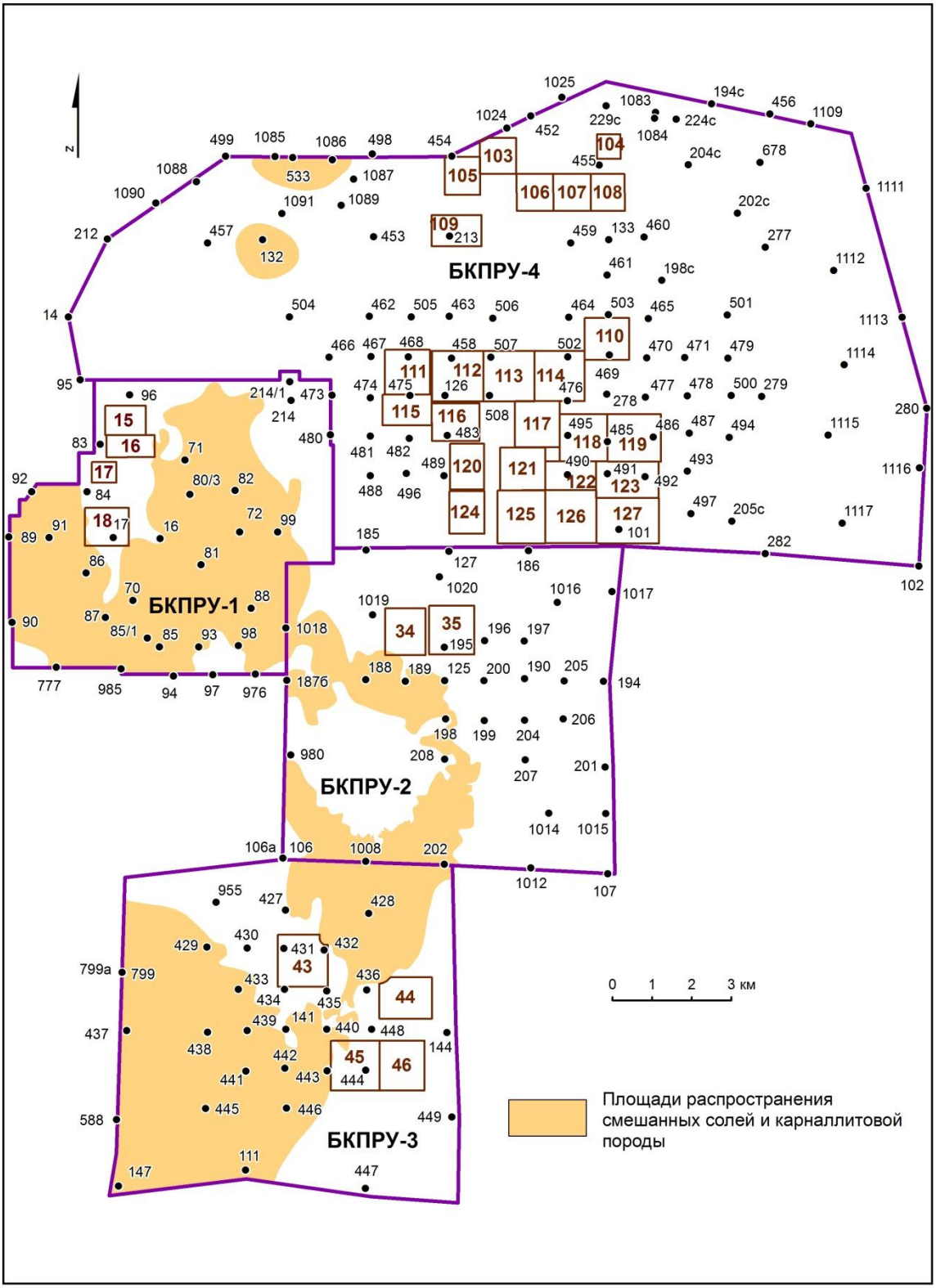

Рис. 4.7. Схема расположения УСД пласта Б

Остальные условные обозначения см. на рис. 4.5

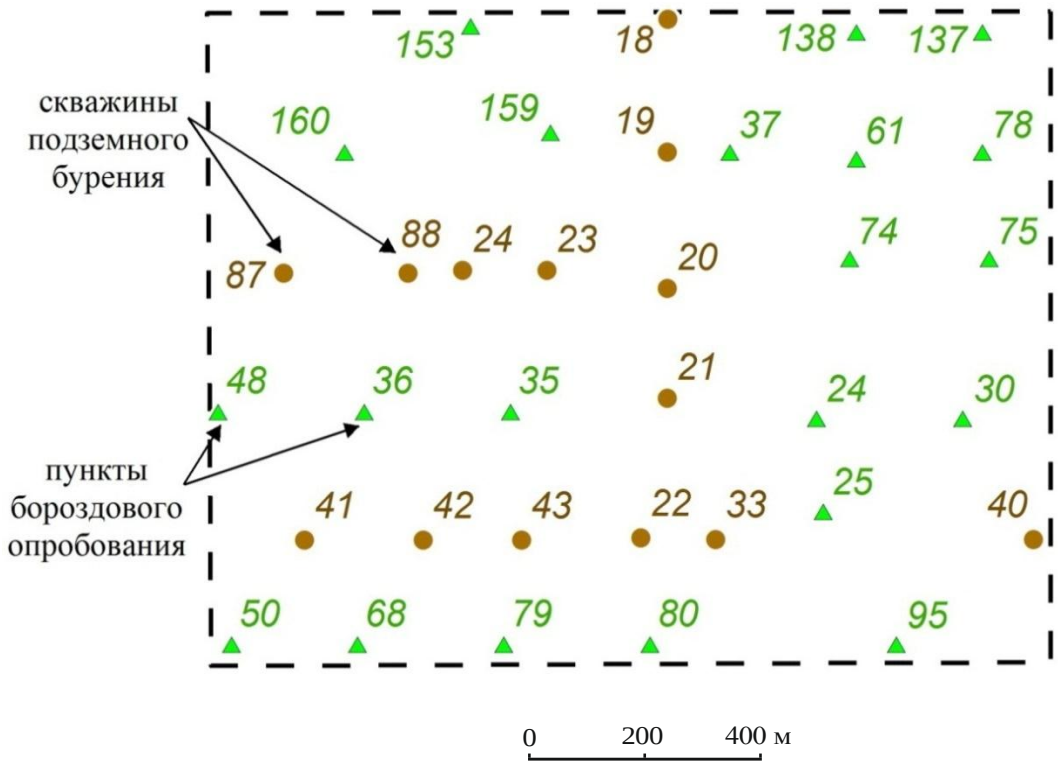

Рис. 4.8. Пример участка сопоставления данных (УСД № 99)
(пласт А, шахтное поле БКПРУ-4)

Мерой расхождения сравниваемых данных является разница между содержаниями $Н.О._К$ и $Н.О._И$, обозначенная буквой греческого алфавита Δ ($Δ = Н.О._К – Н.О._И$). Расчет Δ для всех УСД приведен в прил. 14, которое содержит исходные данные для всех последующих построений. Затем, для изучения изменения Δ строились графики расхождения данных (ГРД), в которых по оси X откладывались значения $Н.О._И$, а по оси Y – Δ.

Исследование динамики избирательного истирания керна при разведке с поверхности

Сопоставление содержаний Н.О. проведено по конкретным скважинам, пройденным с поверхности земли ($Н.О._Р$), и среднего содержания этого компонента в элементарной ячейке месторождения (ЭЯМ), определенного по данным эксплуатационной разведки ($Н.О._Э$). ЭЯМ – это ближайшие окрестности солеразведочной скважины на уровне рабочего пласта в форме круга радиусом 500 м (S = 0,78 км^2). Пять процентов этой площади, а чаще менее, занимает околоскважин-

ный охранный целик. На остальной площади круга в виде кольца обычно размещается 20-30 сечений эксплуатационной разведки при ее стандартной плотности (фактически в пределах выделенных ЭЯМ имеется 2-38 сечений). Пример типичной ЭЯМ приведен на рис. 4.9.

Рис. 4.9. Пример элементарной ячейки месторождения (ЭЯМ) (солеразведочная скважина 188, пласт КрII, шахтное поле БКПРУ-2)

Выделение ЭЯМ проходило с учетом ряда условий.

1. Солеразведочная скважина ЭЯМ должна быть «подработана». «Подработанной» считалась скважина, если в пределах ЭЯМ имелось не менее двух сечений эксплуатационного опробования пласта. Отметим, что по состоянию на 01.01.2014 г. общая площадь, охваченная эксплуатационной разведкой, составляла для пласта КрII – 301 км^2 с 229 «подработанными» солеразведочными скважинами, для рабочего пласта АБ – 274 км^2 с 211 «подработанными» скважинами и для пласта В – 152 км^2 со 121 «подработанной» скважиной (рис. 4.10-4.12).

2. ЭЯМ выделялись вокруг скважин, в которых выход керна по конкретному пласту составлял не менее 70%. Современными требованиями регламентировано значение этого показателя для сильвинитов не менее 90% [58]. Однако, для получения достаточного количества ЭЯМ, было принято значение ниже нормативного, т.к. большинство солеразведочных скважин пройдено еще в прошлом столетии и выход керна по ним часто ниже 90%.

Рис. 4.10. Схема площадей, охваченных эксплуатационной разведкой пласта КрII

1 - площади, охваченные эксплуатационной разведкой; 2 - контур калийной залежи; 3 - контур пласта; 4 - границы участков детальной разведки; 5 - солеразведочные скважины (красным цветом обозначены скважины, данные по которым использовались для сопоставления); 6 - контуры ЭЯМ (R=500 м).

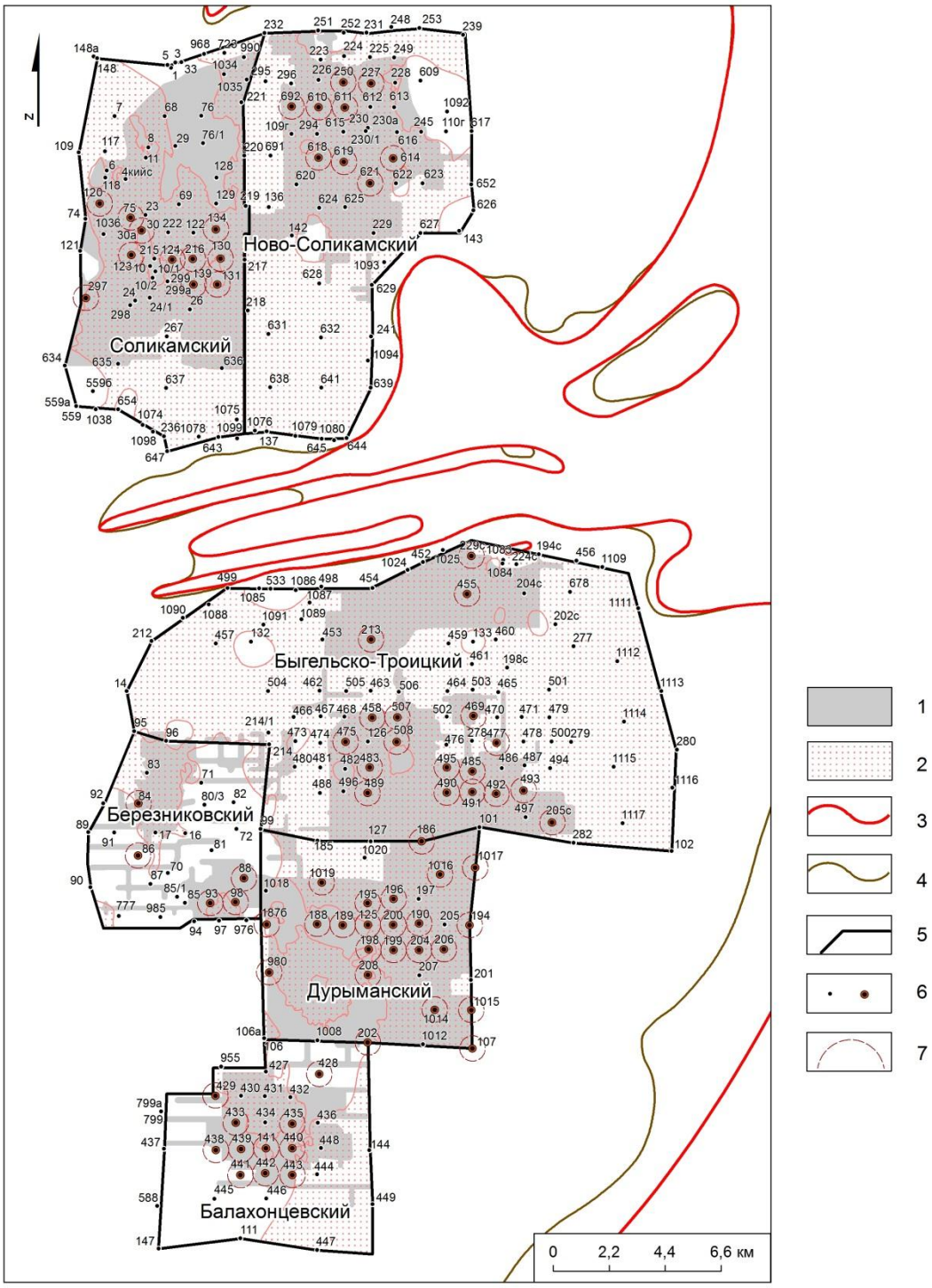

Рис. 4.11. Схема площадей, охваченных эксплуатационной разведкой пласта АБ

1 - площади, охваченные эксплуатационной разведкой; 2 - площади распространения сильвинитов; 3 - контур калийной залежи; 4 - контур пласта; 5 - границы участков детальной разведки; 6 - солеразведочные скважины (красным цветом обозначены скважины, данные по которым использовались для сопоставления); 7 - контуры ЭЯМ (R=500 м).

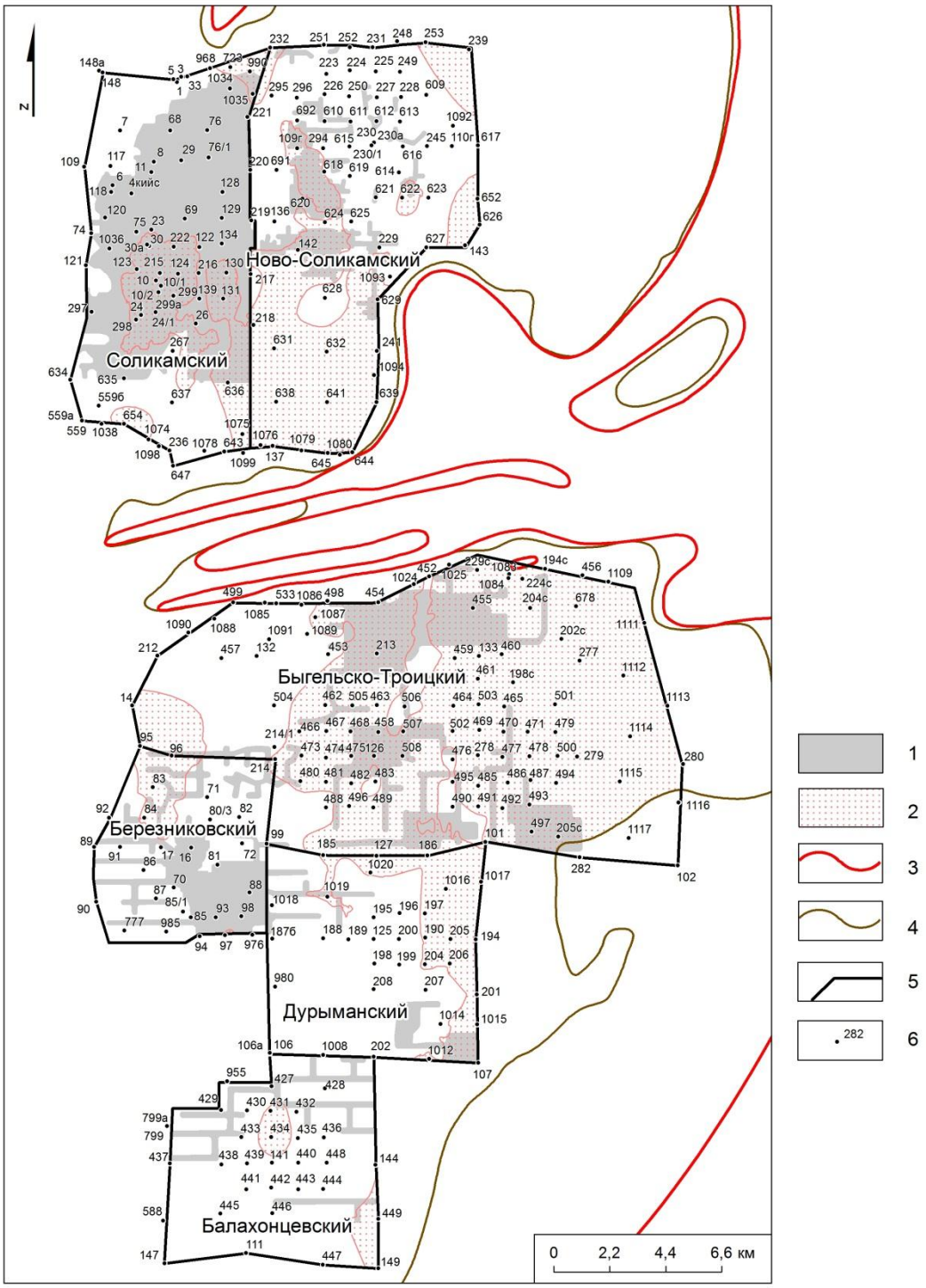

Рис. 4.12. Схема площадей, охваченных эксплуатационной разведкой пласта В

1 - площади, охваченные эксплуатационной разведкой; 2 - площади распространения сильвинитов; 3 - контур калийной залежи; 4 - контур пласта; 5 - границы участков детальной разведки; 6 - солеразведочные скважины и их номера.

3. Пласт должен быть опробован в одинаковых стратиграфических границах (от подошвы до кровли), как при разведке с поверхности, так и при эксплуатационной разведке. В одинаковых границах при разведке и эксплуатации на ВКМС опробован только пласт А. Пласты КрII, Б и В на преобладающей части отработанной площади месторождения (кроме шахтных полей БКПРУ-2 и БКПРУ-3) в период эксплуатационной разведки опробованы неправильно (вместе с галопелитовым прослоем, залегающим непосредственно на кровле продуктивного пласта).

По этой причине из сопоставления был исключен внушительный объем фактических данных эксплуатации по пластам КрII и Б на ряде шахтных полей (СКРУ-1, СКРУ-2, СКРУ-3, БКПРУ-1 и БКПРУ-4). По этой же причине пласт В из исследований был исключен полностью, т.к. все «подработанные» скважины, вскрывшие этот пласт, расположены на шахтных полях, где он опробован вместе с прослоем галопелитов, залегающим в основании пласта В-Г.

Статистические данные показали, что пачка слоев 2-7 пласта КрII является полным аналогом всего пласта КрII (прил. 11, рис. 4.13). В целях расширения фактической базы исследований сведения о содержании Н.О. в этой пачке были использованы для выделения множества дополнительных ЭЯМ.

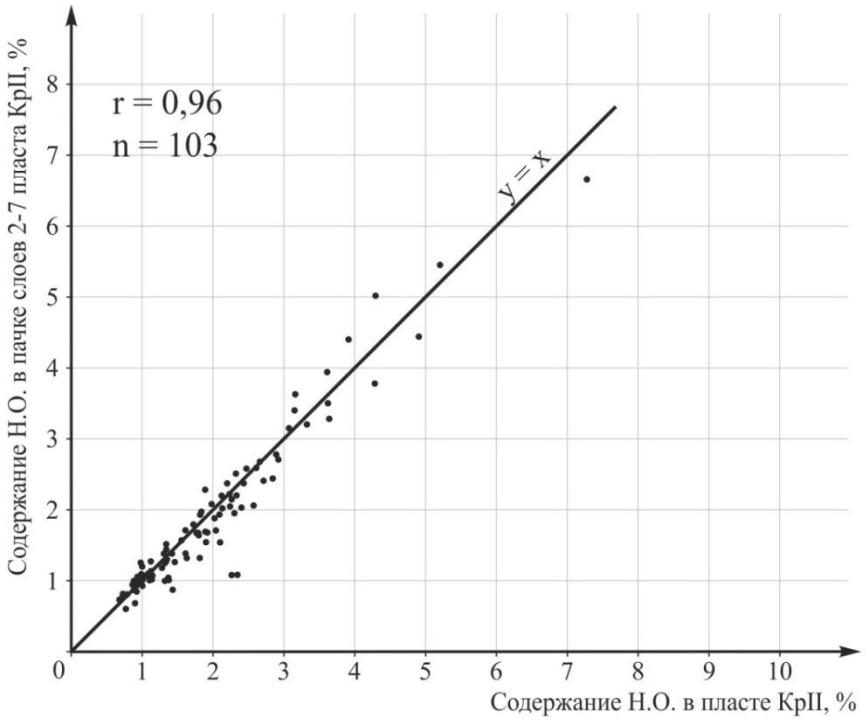

Рис. 4.13. Поле корреляции содержаний Н.О.
в пласте КрII и пачке слоев 2-7 пласта КрII

4. Разрез пласта в месте его опробования должен иметь типичное строение. Данные по скважинам, вскрывшим пласт с аномальным строением (наличие частичного замещения сильвинита каменной солью, нехарактерных для пласта прослоев несоляных пород, СГМ и др.), отбраковывались.

5. В случаях нечеткой (сомнительной) документации опробования пластов данные по пластопересечениям в ЭЯМ не включались.

Таким образом, было выделено 224 ЭЯМ, в том числе: по пласту КрII – 40, по пласту А – 72, по пласту Б – 16, по пачке слоев 2-7 пласта КрII – 96 (прил. 12, 13).

В пределах ЭЯМ подавляющее большинство данных эксплуатации представлено бороздовым опробованием (примерно 98% пластопересечений). Содержания Н.О., полученные при опробовании керна СПБ, были откорректированы по полученным ниже уравнениям (см. форм. 5.3 и 5.4). После этого в пределах каждой ЭЯМ было рассчитано среднее содержание Н.О. по данным эксплуатационного опробования, которое принято за истинное ($Н.О._{И}$).

Отбраковка ураганных значений эксплуатационного опробования во всех первичных выборках по ЭЯМ проводилась тем же способом, что и в пределах УСД, т.е. путем однократного выделения и исключения частных значений содержаний Н.О., не попадающих в интервал $X_{ср} \pm 2\sigma$. Однородность геохимического поля Н.О. в пределах каждой ЭЯМ по данным эксплуатационного опробования проверялась с помощью коэффициента вариации (V). При $V > 33\%$, из выборки последовательно исключались крайние значения до достижения условия $V \leq 33\%$. При недостижении этого условия пара средних значений ($Н.О._{Р}$ и $Н.О._{И}$) исключалась из первичной выборки. Результаты обработки частных выборок по ЭЯМ приведены в прил. 13.

Мерой расхождения данных разведки и эксплуатации является разница между содержаниями Н.О. в пласте, определенными по данным разведки (бурения скважин с поверхности) и разработки (эксплуатационного опробования). Как и в случае сопоставления данных бороздового опробования и керна СПБ, расхождение обозначено Δ, где $\Delta = Н.О._{Р} - Н.О._{И}$. Расчет Δ для всех ЭЯМ приведен в

прил. 18, по данным которого строились ГРД, необходимые для изучения динамики расхождения в зависимости от истинного содержания Н.О. в пласте.

4.3. Фактический материал

В процессе проведения работ был собран, проанализирован и использован при исследовании огромный по объему фактический материал. Для выделения ЭЯМ и построения карт районирования по применению поправочных уравнений к содержаниям Н.О. в промышленных пластах сильвинитового состава использованы результаты бурения 816 солеразведочных скважин, пройденных с поверхности до 01.01.2014 г. с общим количеством 2 695 пластопересечений (прил. 1). Эти данные были заимствованы из отчетов о геологоразведочных работах [104, 107-111, 114, 115, 123, 124, 126-132, 134, 138, 139, 146, 147, 149, 152, 155-169, 175, 176].

При различных сопоставлениях использовалось 5 606 пластопересечений эксплуатационной разведки, в том числе по данным бороздового опробования 4 715 пластопересечений, и 891 пластопересечений по данным кернового опробования СПБ.

Результаты эксплуатационного опробования были собраны из соответствующих отчетов [119, 121, 135, 148, 153] и текущей документации на рудниках. Текущие планы минерального состава и эксплуатационного опробования всех рабочих пластов всех шахтных полей действующих и затопленных рудников по состоянию на 1.01.2014 г. были представлены геологическими отделами рудоуправлений СКРУ-1, СКРУ-2, СКРУ-3, БКПРУ-2 и БКПРУ-4, а по шахтным полям БКПРУ-1 и БКПРУ-3 – геологическими отделами управлений ПАО «Уралкалий» и ООО «ЕвроХим-УКК».

При проведении экспериментальных работ по оценке достоверности бороздового опробования было отобрано и проанализировано 65 пар бороздовых проб (прил. 4), а при оценке качества обработки проб – 30 пар горстьевых проб (прил. 2). Общий объем экспериментальных работ составил 190 проб.

5. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ОПРОБОВАНИЯ

5.1. Поиск истинного содержания Н.О.

Изучение динамики избирательного истирания керна сильвинитов с последующим получением поправочных уравнений должно базироваться на результатах корректного сопоставления данных бурения с поверхности (т.е. данных разведки) и разработки (эксплуатации) месторождения. Перед процедурой сопоставления необходимо провести оценку достоверности данных разработки и установить возможность использования их в качестве «эталона» [59], т.е. «истинного» содержания Н.О. в сильвинитах ($Н.О._{И}$).

Достоверность опробования имеет решающее значение и отражает степень соответствия результатов опробования фактическому содержанию исследуемого компонента в недрах, т.е. определяет вероятность, с которой результаты опробования попадают в определенный интервал, содержащий истинное значение [22].

Выше было показано, что результаты опробования керна скважин подземного бурения занижают содержание Н.О. (см. разд. 3, табл. 3.1). Для оценки достоверности бороздового опробования были проведены экспериментальные исследования, основанные на отборе с одних и тех же интервалов двух бороздовых проб разного сечения. Объектами опробования являлись сильвинитовые пласты КрII и Б. Опробование проводилось в пределах шахтных полей рудников БКПРУ-2 (транспортный штрек 3-го блока 15 ЮВП) и БКПРУ-4 (выемочный штрек 2-го восточного блока 8-9 ЮВП).

В каждом пункте опробования отбирались две пробы. Первая проба – борозда с сечением 3×2 см (основная), вторая – борозда с сечением 6×3 см (контрольная). Для уменьшения влияния фактора латеральной изменчивости состава слоя и нарушения геометрической базы, пробы отбирались вложенными друг в друга, как это показано на рис. 5.1. В связи с этим, обозначение сечения второй

пробы как 6×3 см принято условно. С учетом отобранной борозды сечением 3×2 см, площадь сечения второй составляет не 18, а 12 см^2.

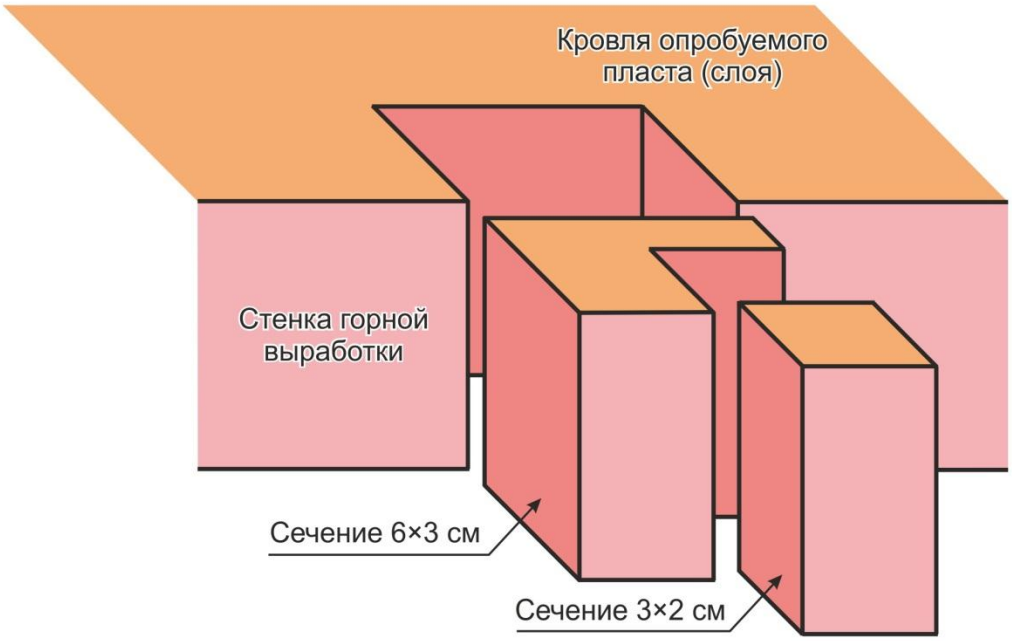

Рис. 5.1. Схема отбора борозд различного сечения при экспериментальном опробовании

При отборе проб были выполнены следующие условия:

- пробы характеризовали один и тот же интервал (т.е. длина проб была одинаковой) и примыкали друг к другу;

- поперечное сечение борозды выдержано по всей длине пробы.

- пробы отбирались одним и тем же инструментом в один и тот же день;

- отбор парных проб осуществлялся одним и тем же пробоотборщиком под наблюдением участкового геолога.

Таким образом, было отобрано 35 парных проб по пласту КрII и 30 – по пласту Б.

Все пробы обработаны по общепринятой на ВКМС методике и прошли процедуру полного химического анализа, проведенного в лаборатории ПАО «Уралкалий». Результаты определения содержаний Н.О. в отобранных пробах приведены в прил. 4.

Используя данные прил. 4, построены поля корреляции содержаний Н.О. по бороздам разного сечения для красных сильвинитов пласта КрII (рис. 5.2) и для пестрых сильвинитов пласта Б (рис. 5.3). После отбраковки аномальных значений при помощи эллипса рассеяния (см. форм. 4.1) было рассчитано уравнение ортогональной среднеквадратической регрессии (см. прил. 4).

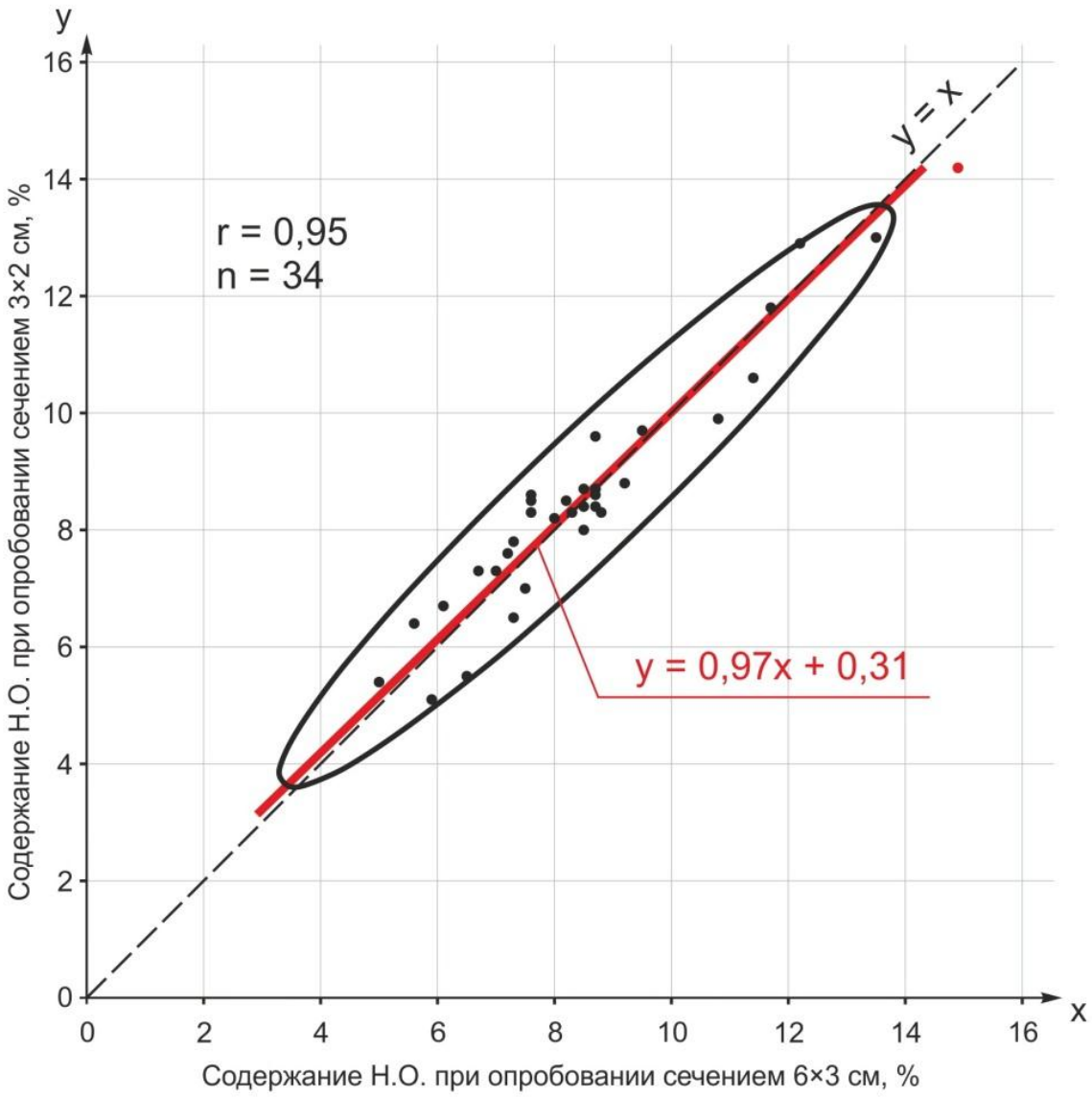

Рис. 5.2. Поле корреляции содержаний Н.О.
при бороздовом опробовании пласта КрII сечениями 3×2 и 6×3 см
(красной точкой отмечено аномальное значение,
которое не учитывалось при получении уравнения)

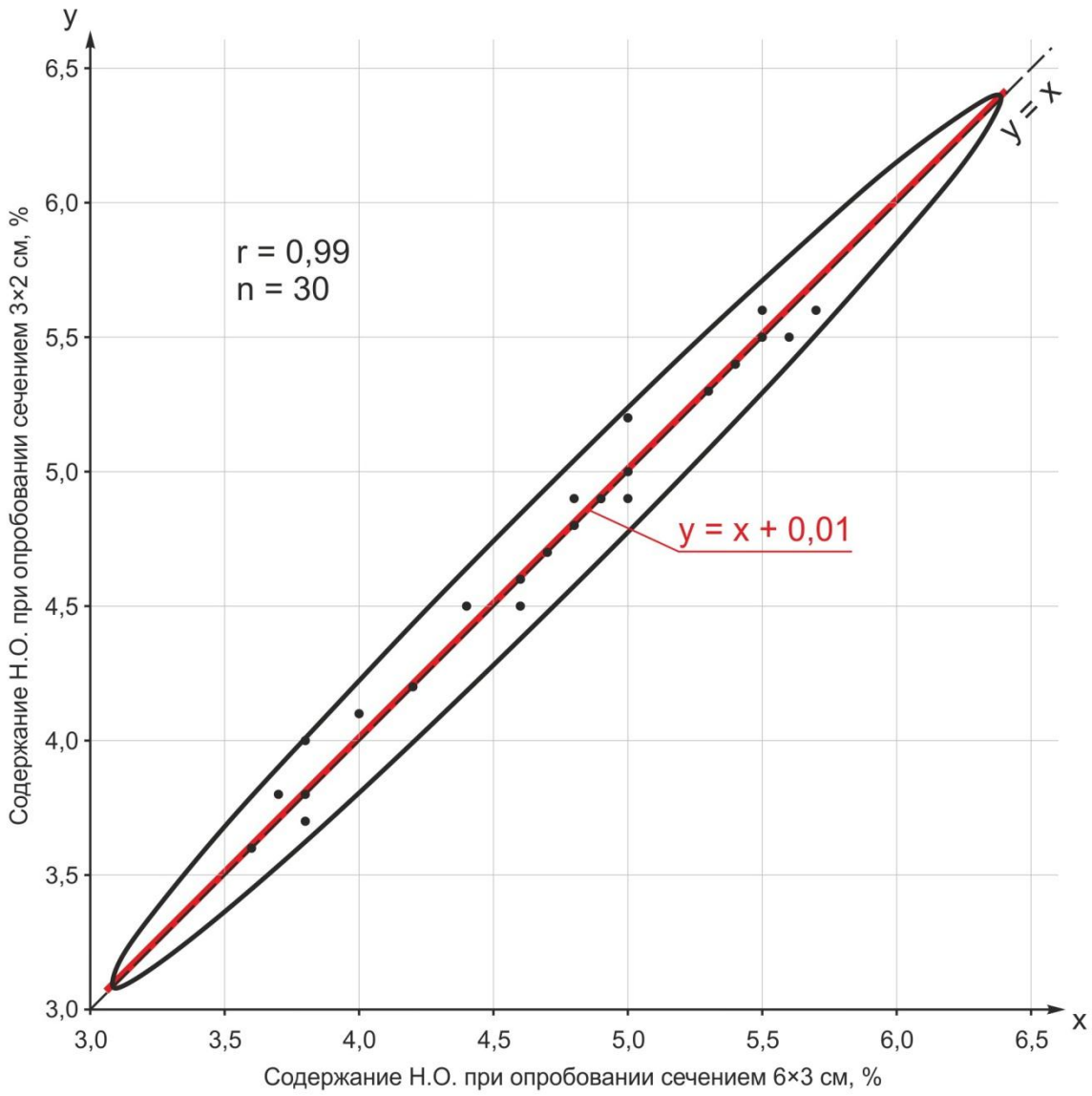

Рис. 5.3. Поле корреляции содержаний Н.О.
при бороздовом опробовании пласта Б сечениями 3×2 и 6×3 см

Из рис. 5.2, 5.3 и прил. 4 следует, что коэффициенты корреляции очень высокие (+0,95 - +0,99), а полученные уравнения ортогональной среднеквадратической регрессии очень близки к виду y = x.

Расчет случайных и систематических погрешностей приведен в прил. 5 и 6. Из расчетов, видно, что случайные погрешности невелики, а систематические – незначимы, т.е. бороздовое опробование по содержанию Н.О. является достоверным, а пробы сечениями 3×2 и 6×3 – идентичны.

Результаты экспериментальных исследований показали, что определенное при бороздовом способе содержание Н.О. наиболее близко к истинному содержанию этого компонента в недрах. Данные бурения с поверхности и СПБ не отражают реальных содержаний этого компонента, по причине избирательного истирания керна [7, 8, 10-13, 15, 16, 65, 72, 103, 105].

Следовательно, в условиях Верхнекамского месторождения солей наиболее достоверным является бороздовое опробование.

5.2. Исследование расхождения содержаний Н.О. по данным бороздового опробования и опробования керна скважин подземного бурения

Исходная выборка для сопоставления значений $Н.О._{К}$ (содержания Н.О. по данным опробования керна подземных скважин) и $Н.О._{И}$ (содержания Н.О. по бороздовому опробованию) в пределах выделенных УСД приведена в прил. 14. Для изучения динамики расхождения в зависимости от $Н.О._{И}$, используя данные прил. 14, были построены графики расхождения данных (ГРД) для всех исследуемых пластов (рис. 5.4, 5.5), в которых по оси X откладывались значения $Н.О._{И}$, а по оси Y – значения Δ ($\Delta = Н.О._{К} – Н.О._{И}$).

Характеристика ГРД для восстающих СПБ

На рис. 5.4 видно, что, несмотря на большой диапазон содержаний $Н.О._{И}$ (0,92-22,26%), динамику расхождений можно достаточно полно проследить только в интервале до $Н.О._{И}$ = 12% (точнее 11,73%, УСД № 43, пласт Б). Поскольку самая крайняя правая часть ГРД пласта Б (см. рис. 5.4в) охарактеризована весьма слабо (всего три точки, расположенные в узком диапазоне значений). В связи с этим, значения $Н.О._{И}$, $Н.О._{К}$ и Δ, соответствующие этим точкам, признаны аномальными и исключены из дальнейшей обработки.

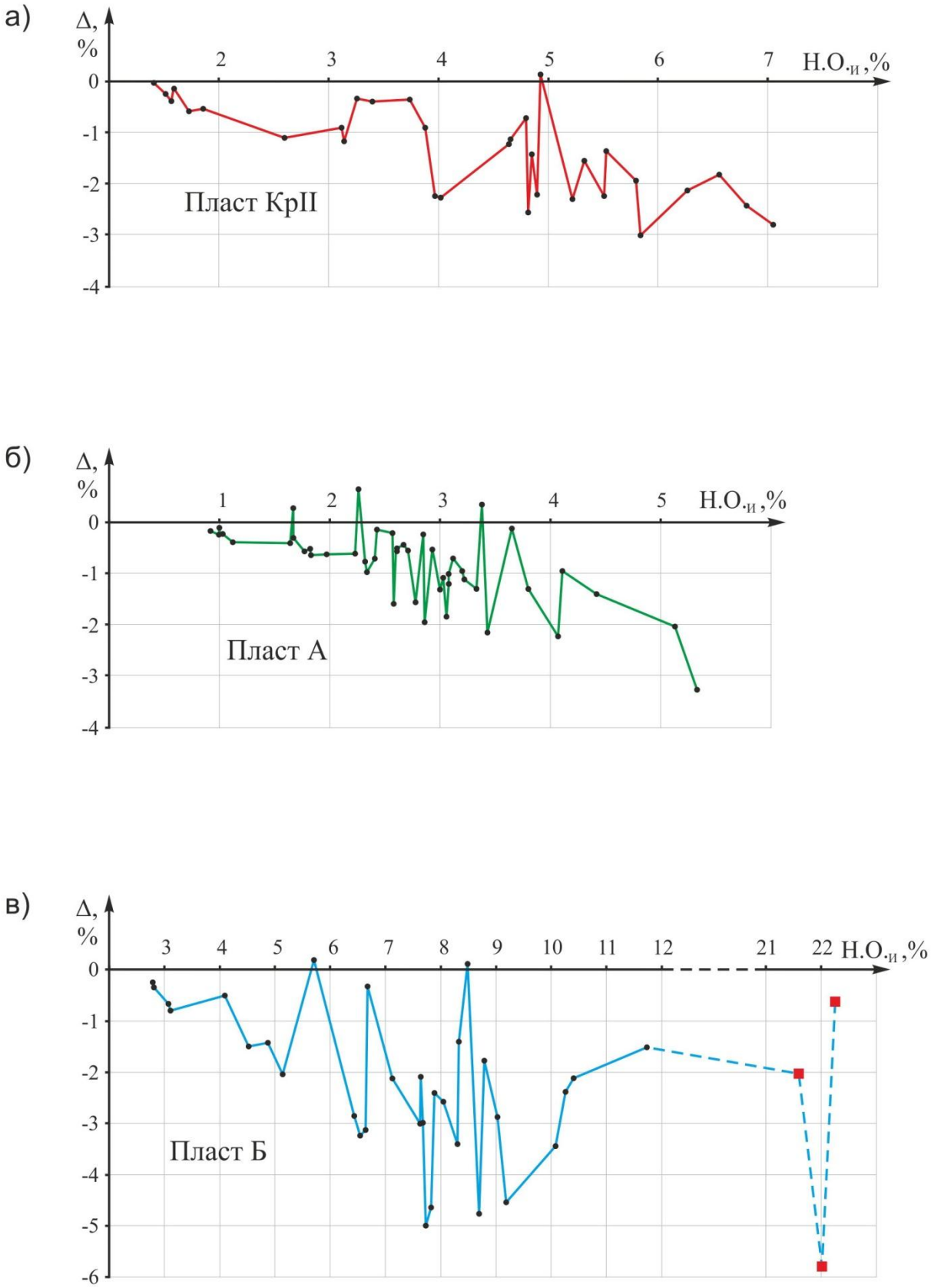

Рис. 5.4. Исходные ГРД для восстающих СПБ
(красными квадратами обозначены точки,
которые не учитывались при последующей обработке)

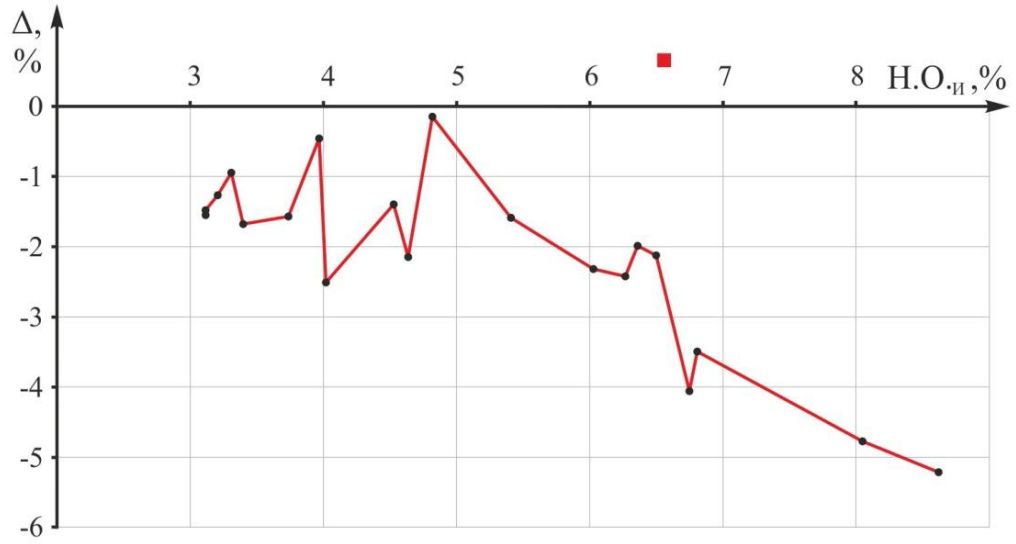

Рис. 5.5. Исходный ГРД пласта КрII для нисходящих СПБ
(красным квадратом обозначена точка,
которая не учитывалась при последующей обработке)

Несмотря на статистические процедуры, выполненные при формировании исходных выборок (см. разд. 4.3.3), исходные ГРД имеют ярко выраженный пилообразный характер. В целях дальнейшего сокращения влияния случайных погрешностей проведено сглаживание исходных данных методом скользящего окна (размер окна – 7 значений, шаг скольжения – 1 значение), результаты которого приведены в прил. 15 и на рис. 5.6.

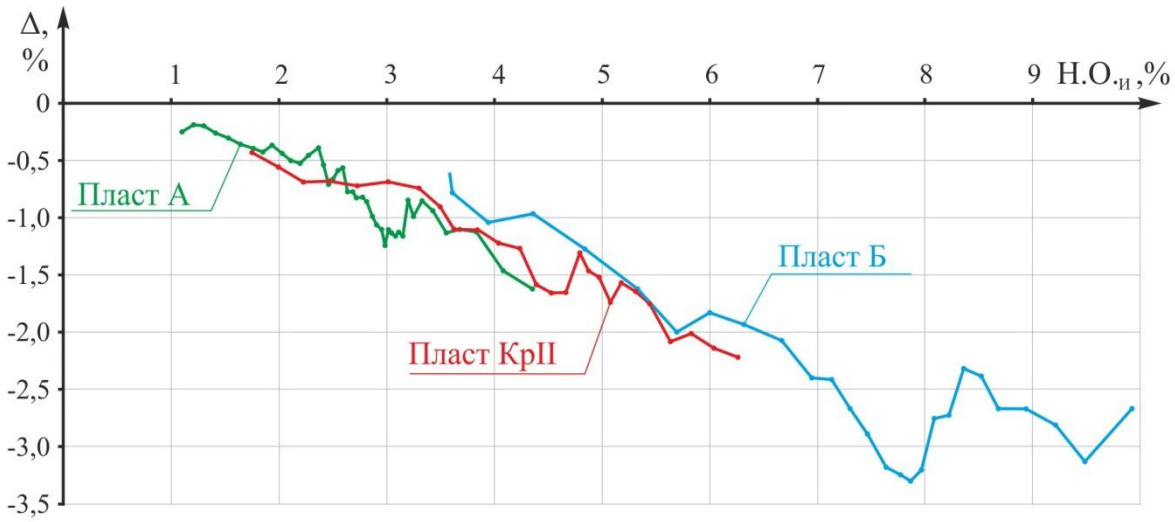

Рис. 5.6. Сглаженные ГРД для восстающих СПБ

Анализируя представленные на этом рисунке графики можно сделать два основных вывода. Первое – в исследуемом интервале значений Н.О.$_{И}$ избирательное истирание керна скважин при бурении вверх имеет прогрессирующий характер, т.е. с увеличением содержания Н.О. в сильвинитовых рудах повышается и степень его избирательного истирания в отношении нерастворимых примесей.

Второе – общая тенденция изменения сглаженных ГРД всех пластов (и даже их взаимное пересечение) позволяет говорить о том, что динамика избирательного истирания керна восстающих скважин не зависит от разновидностей сильвинитов (красные, полосчатые, пестрые).

Учитывая общую тенденцию изменения сглаженных ГРД, был построен общий сглаженный график с учетом всех частных значений (n = 112) по всем трем пластам (рис. 5.7).

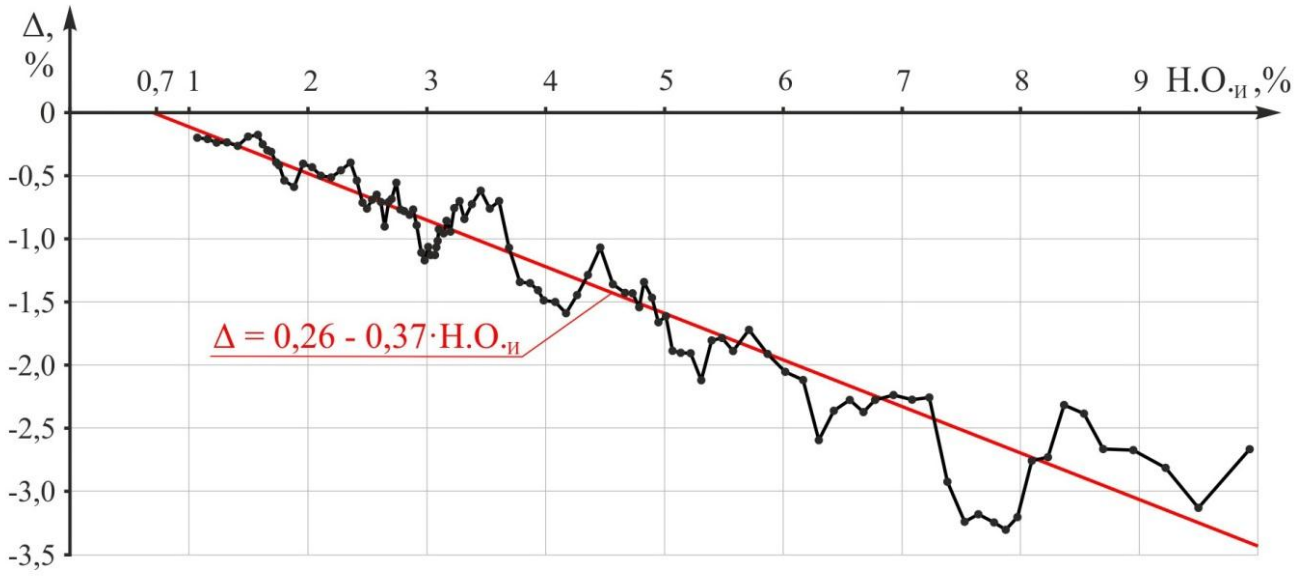

Рис. 5.7. Общий сглаженный ГРД для восстающих СПБ

На этом рисунке в рассматриваемом интервале значений содержания Н.О. видна последовательность процесса избирательного истирания керна, которая имеет прогрессирующий характер и может быть выражена в виде линейной функции. Используя 112 пар исходных значений (Н.О.$_{И}$ и Δ) с коэффициентом корреляции (r) = -0,71, было получено уравнение ортогональной среднеквадратической

регрессии, описывающее процесс избирательного истирания керна в случае восстающих скважин (см. рис. 5.7):

$$\Delta = 0{,}26 - 0{,}37 \cdot Н.О._{И}. \quad (5.1)$$

Характеристика ГРД для нисходящих СПБ

Исходная выборка для сопоставления в данном случае состоит из 21 пары значений $Н.О._{И}$ и Δ, полученных по данным опробования только пласта КрII (см. прил. 14). Используя данные, приведенные в этом приложении, был построен исходный ГРД (см. рис. 5.5). На этом рисунке видно, что одно значение Δ имеет положительное значение (Δ = 0,66, УСД № 68), а все остальные значения меньше нуля.

В ранее проведенных сопоставлениях данных разведки и эксплуатации уже установлено, что при колонковом бурении с промывкой в этом интервале содержаний Н.О. происходит занижение содержаний этого компонента, которое вызвано избирательным истиранием керна [35, 120, 145 и др.]. В нашем случае бурение подземных скважин по технологии проходки такое же, как и с поверхности земли (колонковое бурение в направлении сверху вниз с промывкой раствором, предотвращающим выщелачивание солей). А анализ ГРД показывает, что характер избирательного истирания прогрессирующий. В связи с этим, есть основание для исключения данной пары значений из дальнейших исследований по причине ее аномальности, так как значение Δ здесь должно быть отрицательное.

Вследствие большого количества случайных погрешностей выявление трендов на исходном графике затруднено. В связи с этим, так же, как и в случае сопоставления с данными восстающих скважин, было проведено сглаживание исходных данных методом скользящего окна (размер окна – 7 значений, шаг скольжения – 1 значение), результаты которого приведены в прил. 15 и рис. 5.8.

Диапазон содержаний $Н.О._{И}$, имеющийся для исследований, составляет по исходным данным от 3,12 до 8,62% (см. рис. 5.5, прил. 15). Анализ сглаженного графика показывает, что в представленном интервале абсолютные значения расхождений (Δ) постепенно растут в зависимости от содержания $Н.О._{И}$, т.е. избирательное истирание имеет прогрессирующий характер.

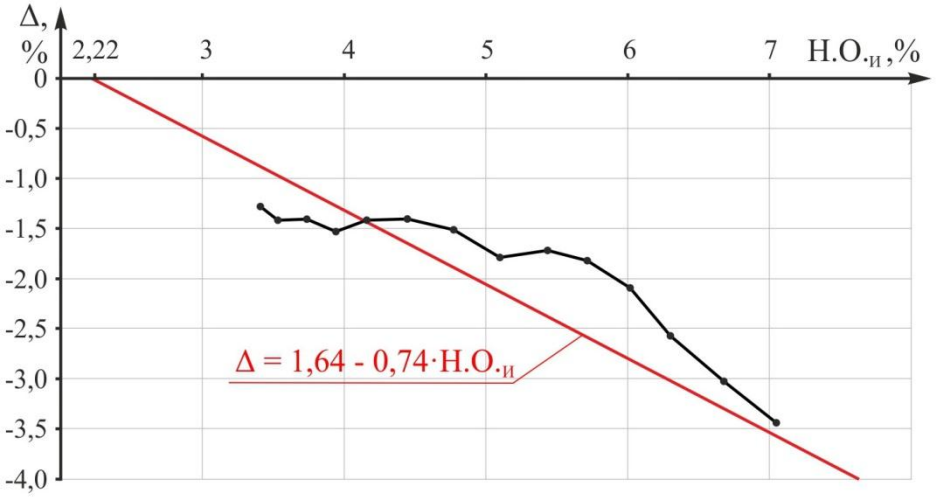

Рис. 5.8. Сглаженный ГРД пласта КрII для нисходящих СПБ

Коэффициент корреляции между значениями $Н.О._{И}$ и Δ довольно высок и составляет минус 0,81 (при n = 20), что говорит об очень тесной обратной связи между этими параметрами, а уравнение ортогональной среднеквадратической регрессии, описывающее процесс избирательного истирания в этом интервале имеет следующий вид:

$$\Delta = 1{,}64 - 0{,}74 \cdot Н.О._{И}. \qquad (5.2)$$

5.3. Уравнения для корректировки содержаний Н.О. в сильвинитах по данным опробования керна подземных скважин

Установленные выше зависимости вида $\Delta = f(Н.О._{И})$ свидетельствуют только о процессе избирательного истирания керна скважин подземного бурения. Для практики большее значение имеют уравнения вида $Н.О._{И} = f(Н.О._{К})$, которые необходимы для корректировки данных о содержании Н.О., полученных при опробовании керна СПБ.

Получение уравнения для корректировки результатов опробования керна восстающих СПБ

Исходная выборка для получения корректировочного уравнения содержит 112 пар сравниваемых значений $Н.О._{К}$ и $Н.О._{И}$ (прил. 16). Используя эти данные

было построено поле корреляции Н.О.$_{К}$ и Н.О.$_{И}$ (рис. 5.9). Критерием отбраковки аномальных значений на поле корреляции являлся эллипс рассеяния, который был построен по уравнению (см. форм. 4.1). Точки (значения), находящиеся за пределами эллипса, в количестве восьми штук отнесены к аномальным и в дальнейших расчетах не учитывались.

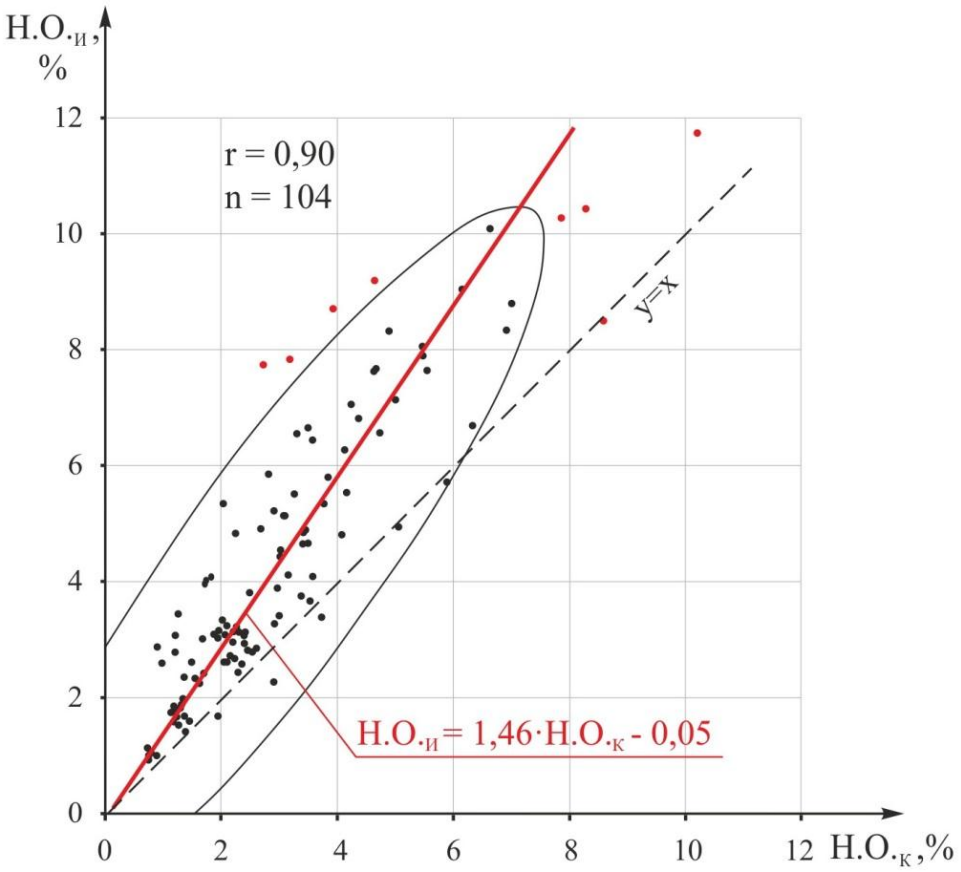

Рис. 5.9. Поле корреляции содержаний Н.О.$_{К}$ и Н.О.$_{И}$ для восстающих СПБ (красными точками отмечены аномальные значения, которые не учитывались при получении уравнения)

После исключения выдающихся значений, заново были рассчитаны статистические характеристики, необходимые для получения уравнения ортогональной среднеквадратической регрессии (см. форм. 4.2). После подстановки значений всех величин в эту формулу, было получено поправочное уравнение (см. рис. 5.9):

$$Н.О._{И} = 1{,}46 \cdot Н.О._{К} - 0{,}05. \quad (5.3)$$

Полученное уравнение рекомендуется для применения на практике с целью корректировки содержаний Н.О., полученных при опробовании керна восстающих подземных скважин.

Получение уравнения для корректировки результатов опробования керна нисходящих СПБ

Исходная выборка содержит 20 пар значений $Н.О._{К}$ и $Н.О._{И}$ (прил. 17), используя которые, по описанной выше методике, было построено поле корреляции этих признаков и эллипс рассеяния (рис. 5.10). На этом рисунке видно, что аномальных точек нет, а все двадцать пар значений $Н.О._{К}$ и $Н.О._{И}$ можно использовать для получения корректировочного уравнения.

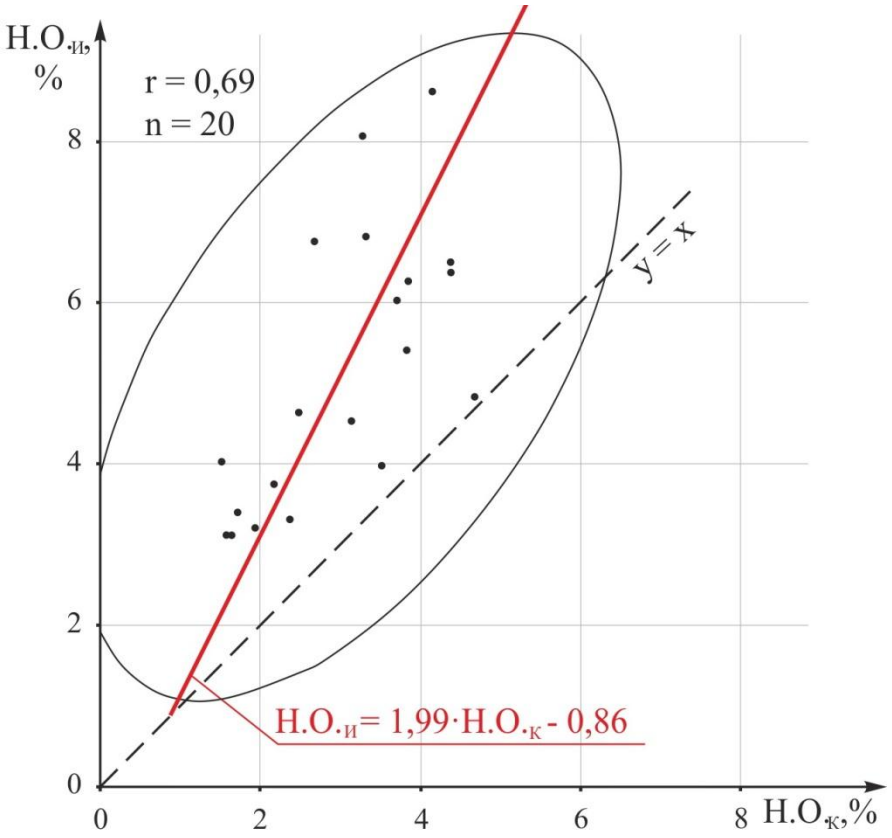

Рис. 5.10. Поле корреляции содержаний $Н.О._{К}$ и $Н.О._{И}$ для нисходящих СПБ

После этого было получено уравнение ортогональной среднеквадратической регрессии, которое можно применять на практике с целью корректировки содержаний Н.О., полученных при опробовании керна нисходящих СПБ:

$$Н.О._{И} = 1{,}99 \cdot Н.О._{К} - 0{,}86. \qquad (5.4)$$

6. ПРИЧИНЫ РАСХОЖДЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ Н.О. ПО ДАННЫМ РАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.1. Общая характеристика ГРД пластов сильвинитового состава

Используя данные прил. 18 были построены исходные ГРД по всем исследуемым стратиграфическим горизонтам (рис. 6.1). Даже при беглом взгляде на эти графики видно, что все они имеют ярко выраженный пилообразный характер, что связано с наличием большого количества случайных погрешностей определения содержания Н.О. в сильвинитах, как по данным разведки, так и по данным эксплуатации.

Представленные на рисунке графики позволяют проследить динамику изменений Δ в интервале содержаний $Н.О._{И}$ от 0,50% (пласт А) до 17,77% (пласт Б). Распределение ГРД относительно оси Х (содержаний $Н.О._{И}$) неодинаково, так пласт КрII представлен в интервале значений $Н.О._{И}$ от 2,78% до 8,97% и охарактеризован данными 40 точек. Пачка слоев 2-7 пласта КрII – 96-ю точками в интервале $Н.О._{И}$ от 0,88% до 6,71%. Пласт А – 72 точки в интервале от 0,50% до 4,78%. Пласт Б – 16 точек в интервале от 7,30% до 17,77%.

Несмотря на ряд довольно жестких условий, применяемых нами при формировании исходных выборок для сопоставления (см. разд. 4.2.2), одиннадцать точек на ГРД (1 – пласт КрII, 2 – пачка слоев 2-7 пласта КрII, 6 – пласт А и 2 – пласт Б), показанных на рис. 6.1 красным цветом, были отнесены к аномальным и исключены при построении графиков. В подавляющем случае это точки, у которых значения расхождений между данными разведки и эксплуатации имеют положительный знак, на общем фоне отрицательных значений, характеризующихся достаточным количеством точек. Две точки ГРД пласта Б (скв. 199, Δ = минус 1,27 и скв. 208, Δ = минус 1,40) также были исключены из дальнейшей обработки, поскольку значения Δ по этому пласту в представленном интервале изменяются от минус 7,79% до минус 2,61%, при среднем значении минус 4,77%.

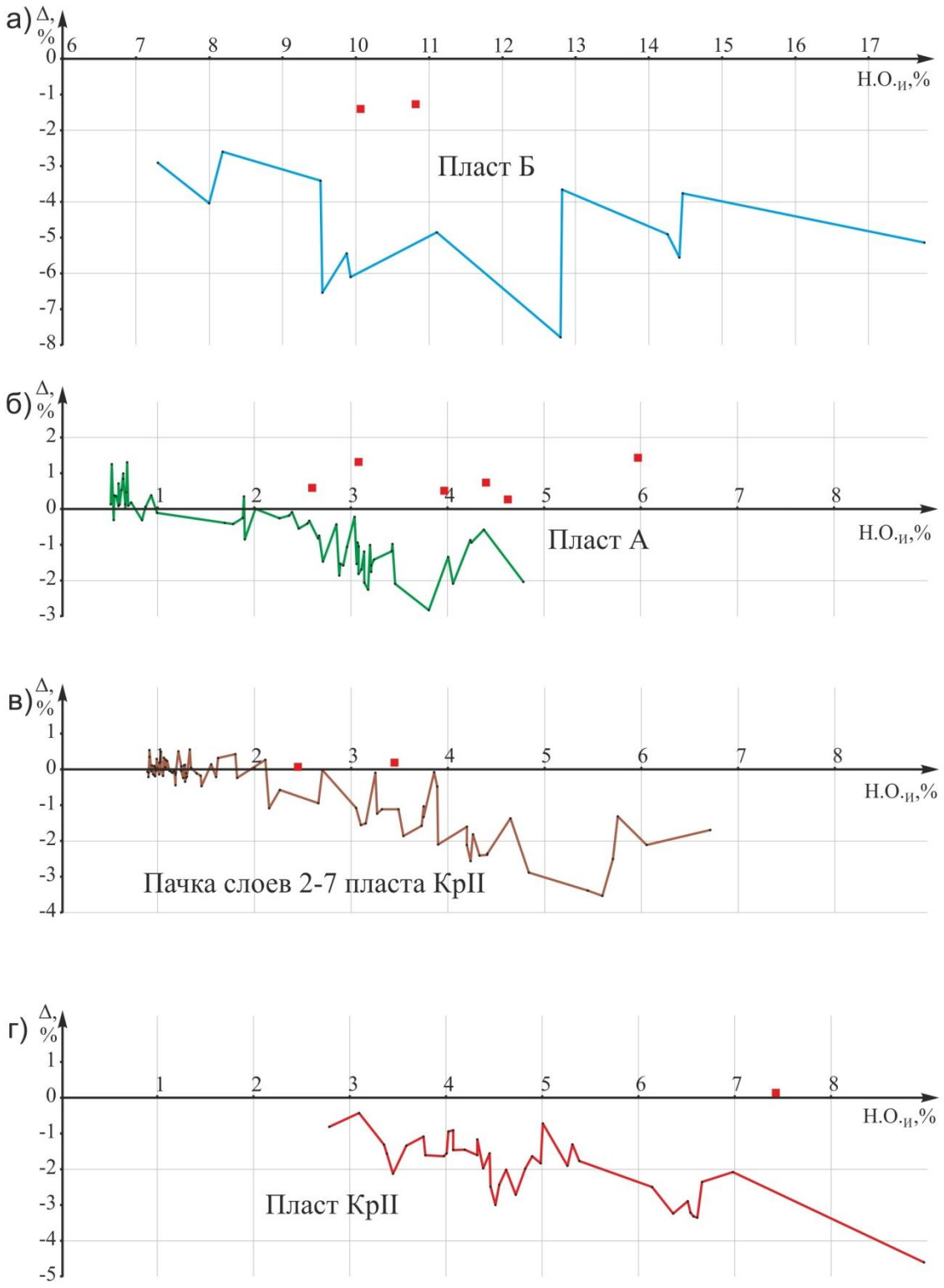

Рис. 6.1. Исходные ГРД рассматриваемых пластов
(красными квадратами обозначены аномальные точки, которые
не учитывались при построении графиков и статистической обработке)

В целом на представленных ГРД видно, что отмечается общая тенденция уменьшения Δ по мере увеличения значения Н.О.$_{И}$. Однако, в крайней левой части ГРД пласта А (см. рис. 6.1б) четко выделяется область, характеризующаяся скоплением данных (точек) со значениями Δ, имеющими, в основном, положительный знак, а далее (см. рис. 6.1в) на небольшом отрезке значений (до Н.О.$_{И}$ ≈ 2%) значения Δ колеблются около нуля.

6.2. Загрязнение проб керна солеразведочных скважин

Анализ крайней левой части ГРД пласта А в интервале Н.О.$_{И}$ 0,50-0,71% в более крупном масштабе (рис. 6.2) показывает, что все значения Δ (кроме одного, равного минус 0,31%) имеют положительный знак и колеблются вблизи линии, образующей горизонтальное «плато» со значением равным +0,41% (при σ_{Δ} = 0,43%) (прил. 19). За правую границу «плато» примем середину (0,72%) между двумя точками Н.О.$_{И}$, принадлежащими двум разным рядам: 0,71% (скв. 130, Δ = 0,18%) и 0,74% (скв. 455, Δ = -0,32%).

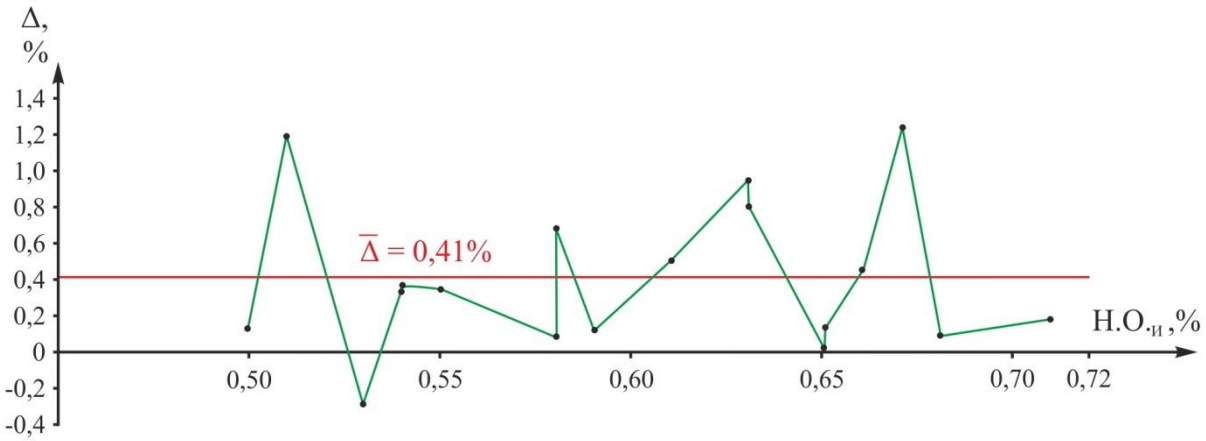

Рис. 6.2. Фрагмент ГРД пласта А

Учитывая, что среднеквадратическая погрешность химического анализа при определении содержаний Н.О. в солях в интервале до 2% составляет 0,18% (см. разд. 4.2.1), есть веские основания предполагать, что это «плато» вполне реально. Эта реальность подтверждается статистическими расчетами с использованием

существенного по объему фактического материала (данные 19 солеразведочных скважин и 260 пересечений пласта при эксплуатационной разведке).

При отсутствии расхождения между данными разведки (Н.О.$_{Р}$) и эксплуатации (Н.О.$_{И}$) в интервале Н.О.$_{И}$ < 0,72% Δ должна быть равна 0. Сравним это значение (m=0) со средним фактическим значением Δ в этом же интервале (0,41%) с помощью одновыборочного t-критерия Стьюдента (см. прил. 19). Табличное значение этого критерия при доверительной вероятности 0,05 и f = 18 составляет 2,10, т.е. $t_{расч} > t_{табл}$. Следовательно, в интервале Н.О.$_{И}$ < 0,72% отличие среднего значения Δ от 0% статистически значимо.

Таким образом, впервые обнаружено новое явление, выражающееся в том, что при опробовании очень «чистого» сильвинита с содержанием Н.О.$_{И}$ < 0,72% происходит загрязнение пробы нерастворимыми примесями, которое обозначим через S (первой буквой английского слова soiling – загрязнение).

Справедливости ради следует отметить, что факт завышения данных разведки по содержанию Н.О. в сильвинитах пласта КрII относительно данных разработки (эксплуатационного опробования) был зафиксирован в работе [145] более 30 лет назад (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Средние содержания Н.О. (масс. %) в сильвинитах
пласта КрII по данным разведки и разработки
в пределах шахтного поля СКРУ-1 (по [145])

Сод-е Н.О. (%) по данным:		Расхождение (Н.О.$_{И}$ – Н.О.$_{Р}$), %	
разведки	разработки	абсолютное	относительное
1,42	1,04	-0,38	-36,50

Следует особо отметить, что это соотношение сохраняется даже при неправильном эксплуатационном опробовании пласта (слой 1 этого пласта был опробован вместе с нижним прослоем галопелитов пласта КрI-КрII).

К сожалению, этому факту в отчете [145] не было уделено должного внимания (из-за малого количества данных по разведочным скважинам эта разница ав-

торами признана статистически не значимой) и впоследствии он, по существу, был забыт. Кроме того, в других отчетах с подсчетом запасов [131, 146] при сопоставлении данных разведки и разработки в интервале очень низких содержаний Н.О. также были получены аналогичные результаты (см. разд. 3).

Причина и механизм этого явления (загрязнения проб «чистых» сильвинитов) пока неясны. Одно очевидно, что загрязнение происходит при отборе проб керна, поскольку дальнейшая обработка и химический анализ этих проб точно такие же, как и для всех других геологических проб. Можно предположить, что одной из причин загрязнения является попадание в пробу твердой нерастворимой в воде фазы призабойного бурового раствора, остающегося в трещинах, кавернах и других неровностях поверхности керна.

Выше отмечено, что на участке значений $Н.О._{И}$ от 0,72% до ≈ 2% значения Δ колеблются около нуля, что ярко иллюстрируется на ГРД пачки слоев 2-7 пласта КрII (см. рис. 6.1). Анализ показывает, что значения Δ изменяются от минус 0,47% до 0,56%, при среднем значении 0,02% со среднеквадратическим отклонением от него 0,23%. Важным свойством этой части графика является то, что среднее содержание $Н.О._{Р}$ (1,15%) статистически не отличается от среднего содержания $Н.О._{И}$ (1,14%), о чем свидетельствуют результаты их сравнения с помощью *t*-критерия Стьюдента ($t_{расч}$ = 0,21; $t_{табл}$ = 1,98). Результаты статистической обработки огромного фактического материала по пачке слоев 2-7 пласта КрII (количество скважин с поверхности – 60, а количество пересечений эксплуатационной разведки – 648) говорят о том, что при значении $Н.О._{И}$ от 0,72 до ≈ 2,0% расхождений между содержаниями Н.О. по данным разведки и эксплуатации нет. Для пласта А эта часть ГРД выражена хуже (по-видимому из-за малого количества данных: по разведке – 10, по эксплуатации – 68). Значение Δ в этом интервале изменяется от минус 0,85% до 0,38%.

Статистическая обработка общей совокупности данных по обоим стратиграфическим горизонтам (n = 70) показала, что значения Δ в этом интервале изменяются от минус 0,85 до 0,56%, при среднем значении 0,01%. Средние содер-

жания Н.О.$_{Р}$ и Н.О.$_{И}$ равны между собой и составили – 1,18%, среднее значение Δ не равно нулю (0,01), что обусловлено округлением при его расчете (см. прил. 19).

Таким образом, сопоставление содержаний Н.О., полученных по данным бурения с поверхности земли (89 пластопересечений) и эксплуатационного опробования (976 пластопересечений) в интервале значений Н.О.$_{И}$ до 2% показало, что график расхождения этих данных неоднороден и представлен двумя участками:

1. В интервале Н.О.$_{И}$ < 0,72% имеет место загрязнение сильвинитовых проб нерастворимыми в воде примесями, что выражается в завышении данных разведки с поверхности относительно истинных содержаний Н.О. в недрах.

2. Для интервала 0,72% < Н.О.$_{И}$ < 2,00% характерно отсутствие расхождений между данными разведки и эксплуатации.

В связи с изложенным выше, а также учитывая формы нахождения Н.О. в сильвинитах (см. разд. 2), есть основания для формулировки 1-го защищаемого положения:

При содержании нерастворимого остатка в сильвините менее 2% избирательного истирания керна не происходит, что обусловлено нахождением несоляных компонентов в породе в виде включений в кристаллах соляных минералов и вкраплений в межзерновом пространстве.

6.3. Начало избирательного истирания керна солей и динамика процесса

Для дальнейшей работы проведено сглаживание исходных ГРД методом скользящего окна (размер окна – 7 значений, шаг скольжения – 1 значение), результаты которого приведены в прил. 20 и на рис. 6.3.

Первое, что обращает на себя внимание на этом рисунке, что, несмотря на незначительные флуктуации, все сглаженные ГРД, совпадая и перекрывая друг друга, отрисовывают одну общую тенденцию. Это позволяет говорить об одинаковой динамике изменения расхождения данных разведки и разработки для всех исследуемых горизонтов.

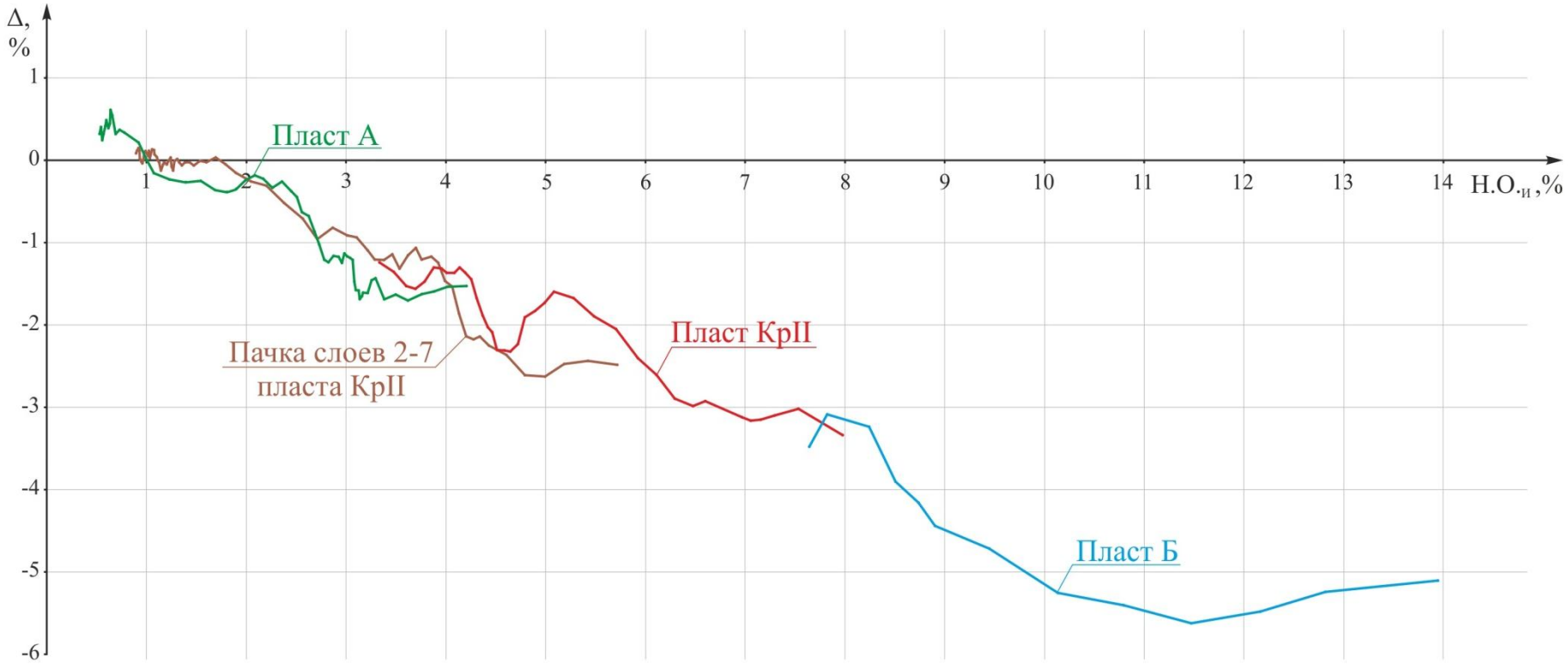

Рис. 6.3. Сглаженные ГРД рассматриваемых пластов

Следует отметить, что в работах предшественников [55, 72, 142] поправочные уравнения для данных разведки, как правило, были даны отдельно для каждого промышленного пласта (см. разд. 3). Анализ ГРД на рис. 6.3 показывает, что динамика расхождений одинакова для всех сильвинитовых пластов (красные сильвиниты пласта КрII, полосчатые – пласта А, пестрые – пласта Б).

В связи с этим, есть основание для формулировки 2-го защищаемого положения:

Интенсивность избирательного истирания керна не зависит от разновидностей сильвинитов (красные, полосчатые, пестрые), а связана только с содержанием в них нерастворимого остатка.

На сглаженных ГРД видно, что относительно равномерное распределение Δ около нулевого значения четко прослеживается до значения $Н.О._{И}$ равное 2%, а после этого значения Δ с незначительными флуктуациями уменьшаются: для пласта А до минус 1,70%, пласта КрII до минус 3,34%, а пачки слоев 2-7 до минус 2,63%. Значения $Н.О._{И}$ равное 2% является максимальным содержанием Н.О. в пласте – «порогом», до которого не проявляется стабильное занижение содержаний Н.О., полученных при бурении скважин с поверхности. Физико-геологическая сущность этого «порога» одна – после превышения содержания Н.О. = 2,0% в пласте появляются прослойки галопелитов с мощностью достаточной для раскалывания по ним керна, что и обуславливает его избирательное истирание (см. рис. 2.3). Изложенное выше дает возможность сформулировать 3-е защищаемое положение:

Избирательное истирание керна имеет место при содержании нерастворимого остатка более 2%, что вызвано наличием в сильвинитовых пластах обособленных прослоев галопелитов, по которым происходит раскалывание керна на столбики.

Удивительно, но более 30 лет назад в работе [49], не связанной с избирательным истиранием керна, был подмечен этот «порог». Он проявился в том, что для соляных пород с Н.О. < 2,0% зависимость между прочностью ($\sigma_{сж}$) и содержа-

нием в них нерастворимых примесей отсутствует, а при Н.О. > 2,0% – эта зависимость тесная (*r* = минус 0,64).

В дальнейшем величина избирательного истирания керна будет обозначаться латинской буквой D (первая буква английского слова detrition – истирание), где D = |Δ|.

На всех сглаженных ГРД (см. рис. 6.3) четко видно, что в интервале $Н.О._{И}$ от 2 до 10% наблюдается устойчивое увеличение значений D. Учитывая общую тенденцию изменения сглаженных ГРД, можно построить общий сглаженный (осредненный) график с учетом всех частных значений (n = 213) по всем исследованным горизонтам. При этом сглаживание (осреднение) проведено методом скользящего окна размером 0,5% с шагом скольжения 0,25% (прил. 21, рис. 6.4).

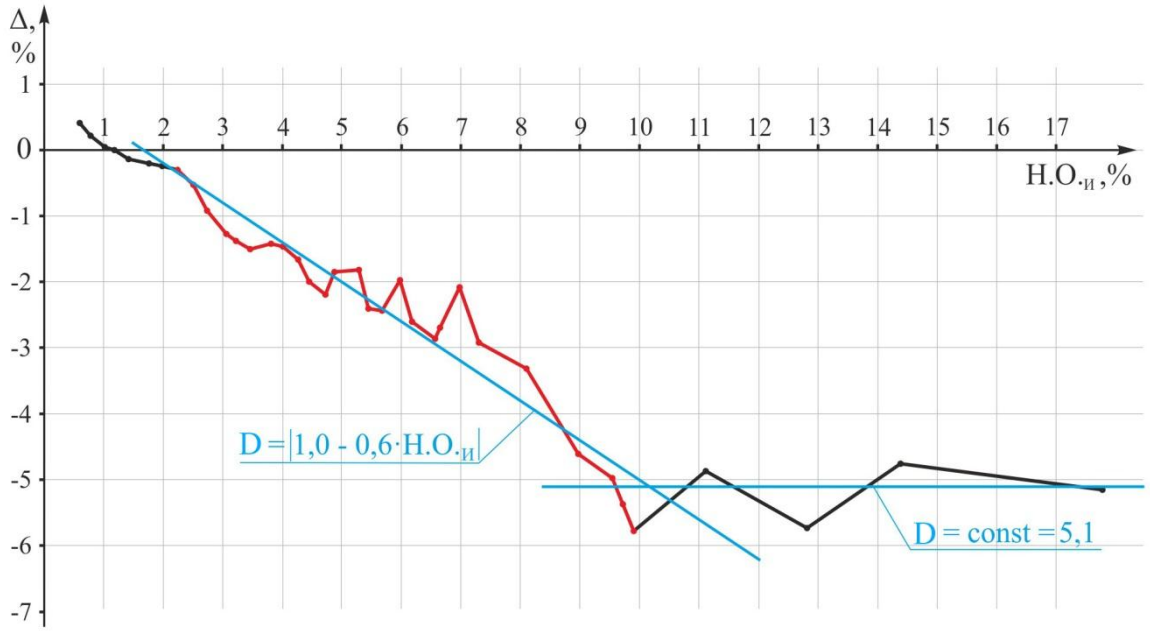

Рис. 6.4. Общий ГРД

На общем ГРД в интервале значений $Н.О._{И}$ 2-10% расположена главная последовательность процесса избирательного истирания керна, которая имеет линейный характер. Используя 29 пар осредненных значений (на рис. 6.4 показаны красным цветом) с *r* = минус 0,96, было получено общее уравнение главной последовательности $D = |1{,}00 – 0{,}60 \cdot Н.О._{И}|$, график которого приведен на рис. 6.4.

Оставшаяся часть общего (осредненного) ГРД, расположенная правее уравнения главной последовательности (см. рис. 6.4, $Н.О._{И}$ = 10%), представляет собой

«плато» со средним значением D = 5,1% и σ_D = 1,38%, рассчитанные по семи последним частным значениям Δ (пласт Б, скв. № 141, 190, 194, 206, 1014, 1016, 1017), приведенным в прил. 21. Очевидно, физическая сущность этого «плато» состоит в том, что прогрессирующее избирательное истирание керна имеет предел, при достижении которого расхождение содержаний Н.О. в пласте по данным разведки и эксплуатации остается постоянным. Точка пересечения главной последовательности с рассматриваемым «плато» является вторым «порогом» процесса истирания керна имеющее значение $Н.О._{И} \approx 10\%$. Отсюда имеем 4-е защищаемое положение:

При достижении содержания нерастворимого остатка в сильвинитах более 10% имеет место предел избирательного истирания керна, после которого расхождение между данными разведки и эксплуатации остается постоянным.

Таким образом, проведенное сопоставление с использованием всего имеющегося к настоящему времени фактического материала показало, что график расхождения данных разведки и эксплуатации о содержании Н.О. в промышленных сильвинитовых пластах неоднороден, а отдельные его части (участки) имеют свои особенности. Характеристика этих частей приведена на рис. 6.5 и в табл. 6.2.

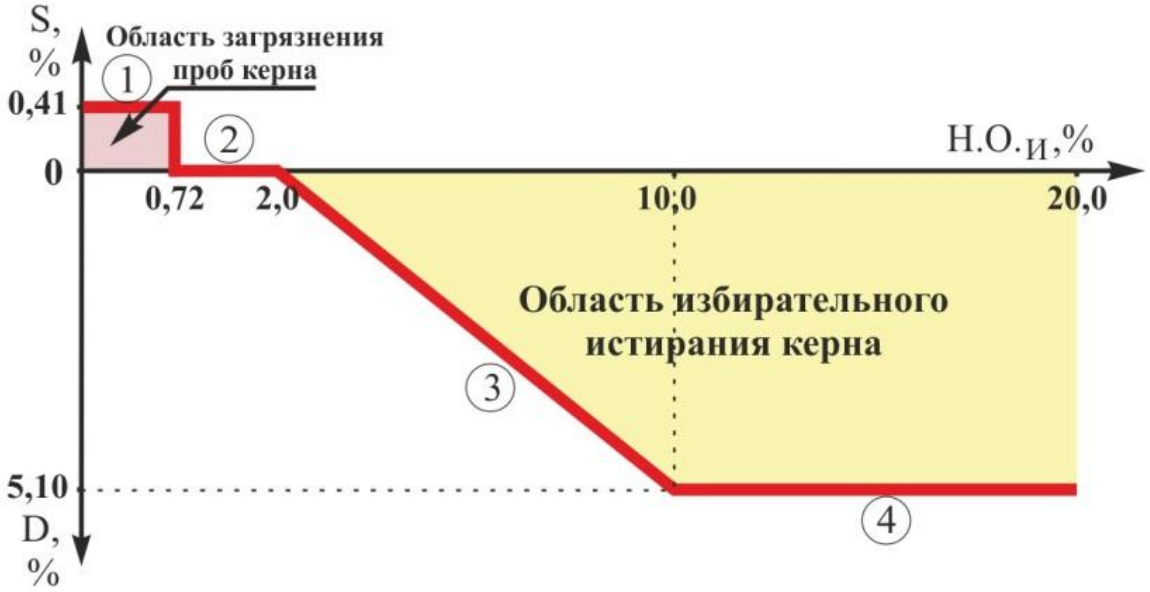

Рис. 6.5. Идеализированный ГРД
(пояснения в тексте)

Таблица 6.2

Характеристика участков ГРД

№ участка ГРД	Особенность участка	Кол-во пластопересечений, шт. разведка / эксплуатация	Интервал участка (по $Н.О._{И}$), %	Расхождение ($Н.О._{Р} – Н.О._{И}$), %
1	Загрязнение проб нерастворимыми примесями	19 / 260	< 0,72	S = const = 0,41
2	Отсутствие расхождения	70 / 716	0,72-2,00	0
3	Прогрессирующее избирательное истирание керна	117 / 1 417	2,00-10,00	$D = \|1{,}00 – 0{,}60 \cdot Н.О._{И}\|$
4	Предел избирательного истирания керна	7 / 123	>10,0	D = const = 5,1

Полученные выше результаты дают возможность для формулировки 5-го защищаемого положения:

Выявленные закономерности избирательного истирания керна являются основой для получения корректировочных уравнений данных разведки.

7. КОРРЕКТИРОВКА ДАННЫХ РАЗВЕДКИ С ПОВЕРХНОСТИ О СОДЕРЖАНИИ Н.О. В СИЛЬВИНИТАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛАСТОВ

7.1. Поправочные уравнения

Установленные в предыдущей главе зависимости, отражающие динамику изменений значений Δ в зависимости от истинного содержания Н.О., позволяют перейти к решению следующей задачи диссертации – получению корректировочных уравнений для данных бурения скважин с поверхности земли.

Как было показано выше (см. табл. 6.2), на участках 1 и 4 ГРД расхождение в содержаниях Н.О. между данными разведки и эксплуатации постоянно и, следовательно, поправочные уравнения имеют вид:

для участка 1 ($Н.О._{И} < 0,72$) – $\boldsymbol{Н.О._{И} = Н.О._{Р} - 0,41}$ (7.1)

для участка 4 ($Н.О._{И} > 10,0$) – $\boldsymbol{Н.О._{И} = Н.О._{Р} + 5,10}$ (7.2)

Третий участок ГРД представляет собой интервал прогрессирующего избирательного истирания керна, где наблюдается устойчивое увеличение значений расхождения между данными, полученными при бурении скважин с поверхности и данными эксплуатации в интервале $Н.О._{И}$ от 2 до 10%. Учитывая границы этого участка по $Н.О._{И}$ была составлена выборка, содержащая 58 пар значений $Н.О._{Р}$ и $Н.О._{И}$ (прил. 22) и построено поле корреляции этих признаков (рис. 7.1).

Анализ поля корреляции свидетельствует, что в его пределах имеется четыре аномальных точки (значения), которые расположены за пределами эллипса рассеяния. После исключения выдающихся значений, заново были рассчитаны статистические характеристики (см. прил. 22), а затем получено уравнение ортогональной среднеквадратической регрессии:

$$\boldsymbol{Н.О._{И} = 2,54 \cdot Н.О._{Р} - 2,87} \quad (7.3)$$

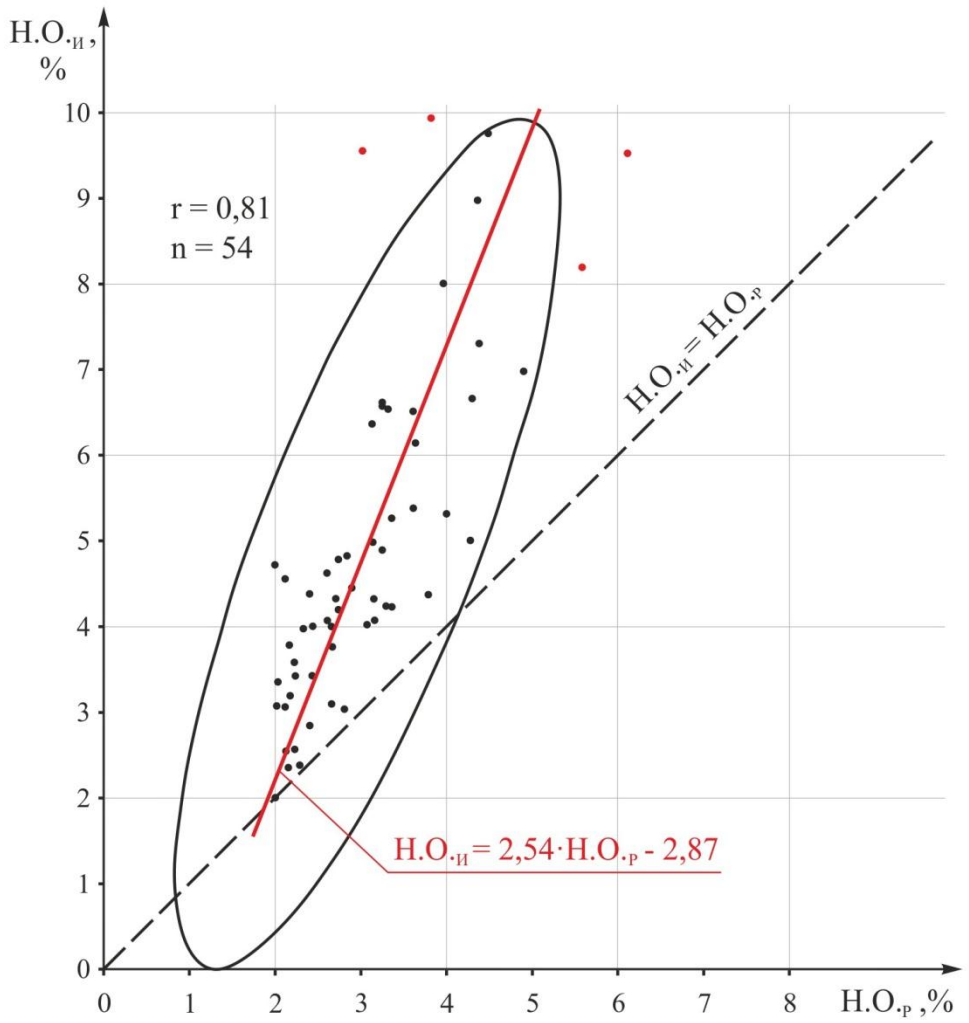

Рис. 7.1. Поле корреляции содержаний Н.О.$_{Р}$ и Н.О.$_{И}$
в интервале прогрессирующего избирательного истирания керна

Точка пересечения этого уравнения с прямой Y = X (т.е. с прямой, где расхождение отсутствует, а Δ = 0) соответствует началу интервала его рабочей области и составляет по Н.О.$_{Р}$ 1,92% (рис. 7.2). Подставляя в полученное уравнение значение Н.О.$_{И}$, равное 10% (предел избирательного истирания керна), получаем верхнюю границу рабочей области этого уравнения по Н.О.$_{Р}$, которая составляет 5,07%.

Для уравнения, характеризующегося постоянным расхождением между данными разведки и разработки (см. форм. 7.2), верхнюю границу предлагается не определять. Это обусловлено тем, что содержание Н.О. в промышленных пластах сильвинитового состава по данным разведки месторождения достигает 34,64%

(пласт Б, скв. 608 – Палашерский участок, см. прил. 1). В связи с этим корректировку данных разведки в интервале значений $Н.О._{Р}$ > 5,07% рекомендуется проводить для всех имеющихся содержаний Н.О. на месторождении.

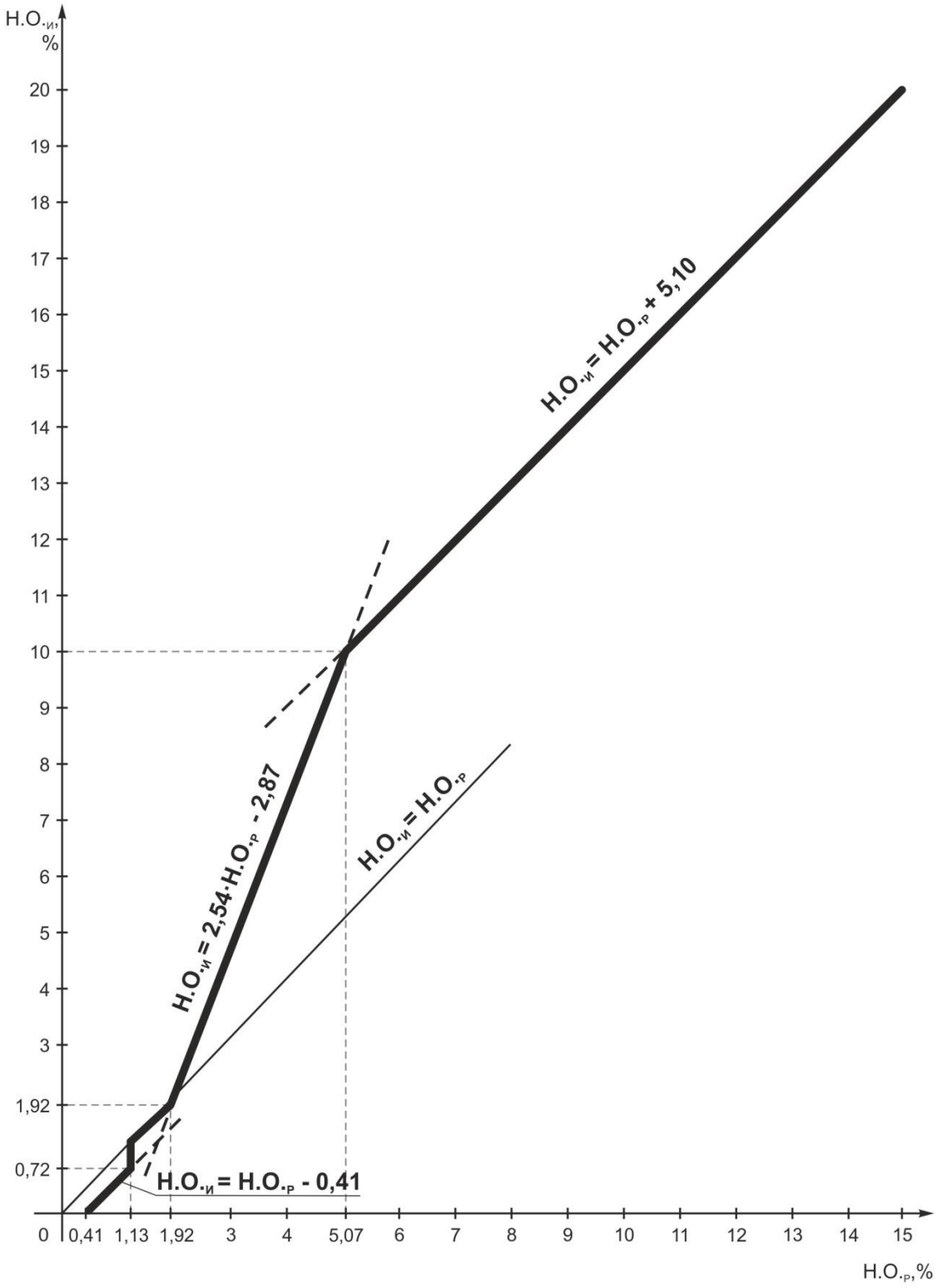

Рис. 7.2. Области функционирования поправочных уравнений

7.2. Районирование месторождения по введению поправок

Выше установлено (см. табл. 6.2), что верхнее значение $Н.О._{И}$ интервала загрязнения проб керна нерастворимыми примесями (участок 1 ГРД пласта А) равно 0,72%. За нижнее значение $Н.О._{И}$ интервала загрязнения примем минимальное фактическое значение, равное 0,50% (см. прил. 19). В целях районирования месторождения по применению поправочных уравнений интервалы участков ГРД необходимо перевести из значений $Н.О._{И}$ в $Н.О._{Р}$. Поскольку $\bar{S}$ на первом участке ГРД составляет 0,41%, следовательно, верхней границей этого участка является значение $Н.О._{Р}$ равное 1,13% (0,72+0,41).

Что касается нижнего значения интервала загрязнения проб керна, то здесь нужно отметить, что оно определяется нулевым значением содержания Н.О., так как этот процесс характерен именно для «чистых» сильвинитов. Но поскольку поправка на загрязнение идет со знаком минус (-0,41), то, видимо, следует ограничиться значением $Н.О._{Р}$, равным 0,41, поскольку при меньшем значении этого параметра после введения поправки получаются отрицательные содержания.

В предыдущем подразделе определено, что рабочая область основного поправочного уравнения $Н.О._{И} = 2,54 \cdot Н.О._{Р} – 2,57$ ограничена значениями $Н.О._{Р}$ от 1,92 до 5,07%, а на 4-м участке ГРД (предел избирательного истирания керна) от 5,07 до всех имеющихся содержаний Н.О.

Таким образом, имеем ряд критических значений $Н.О._{Р}$ (%): 0,41; 1,13; 1,92 и 5,07.

При районировании месторождения по применению поправочных уравнений не выделялась область со значениями $Н.О._{Р} < 0,41\%$ из-за редкости таких случаев (12 из 2 695) и по причине разрозненности их в плане. Скорее всего, эти значения являются случайными (т.к. загрязняются именно «чистые» сильвиниты!) и есть смысл в эти значения поправки не вводить. Кроме того, для практики приведенные значения можно округлить, тогда получаем, что границами областей применения поправочных уравнений могут быть изолинии $Н.О._{Р}$ (%) 1,1; 2,0 и 5,0 которые приведены на рис. 7.3-7.5.

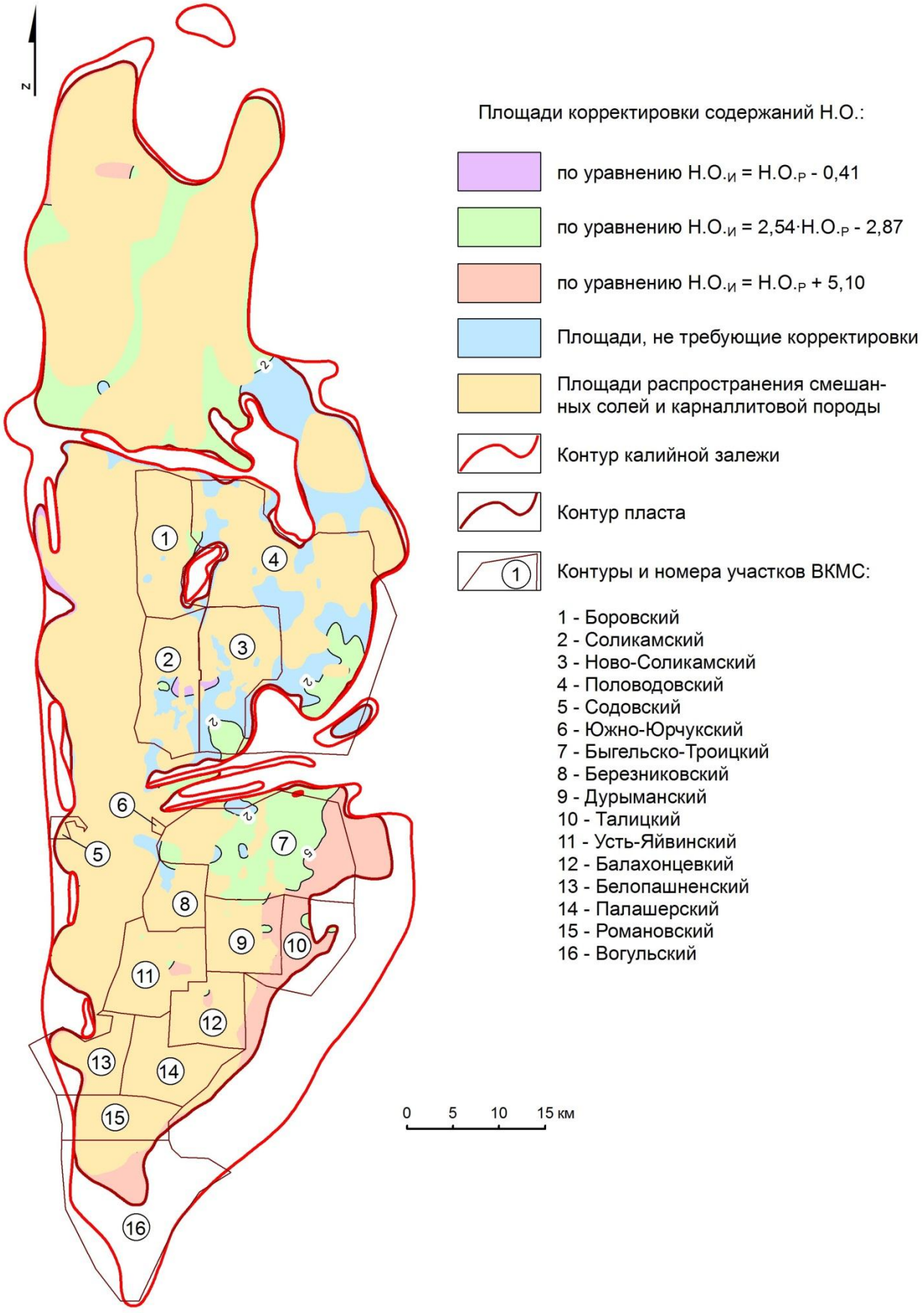

Рис. 7.3. Районирование пласта В по применению поправочных уравнений к данным геологоразведочных скважин по содержанию Н.О.

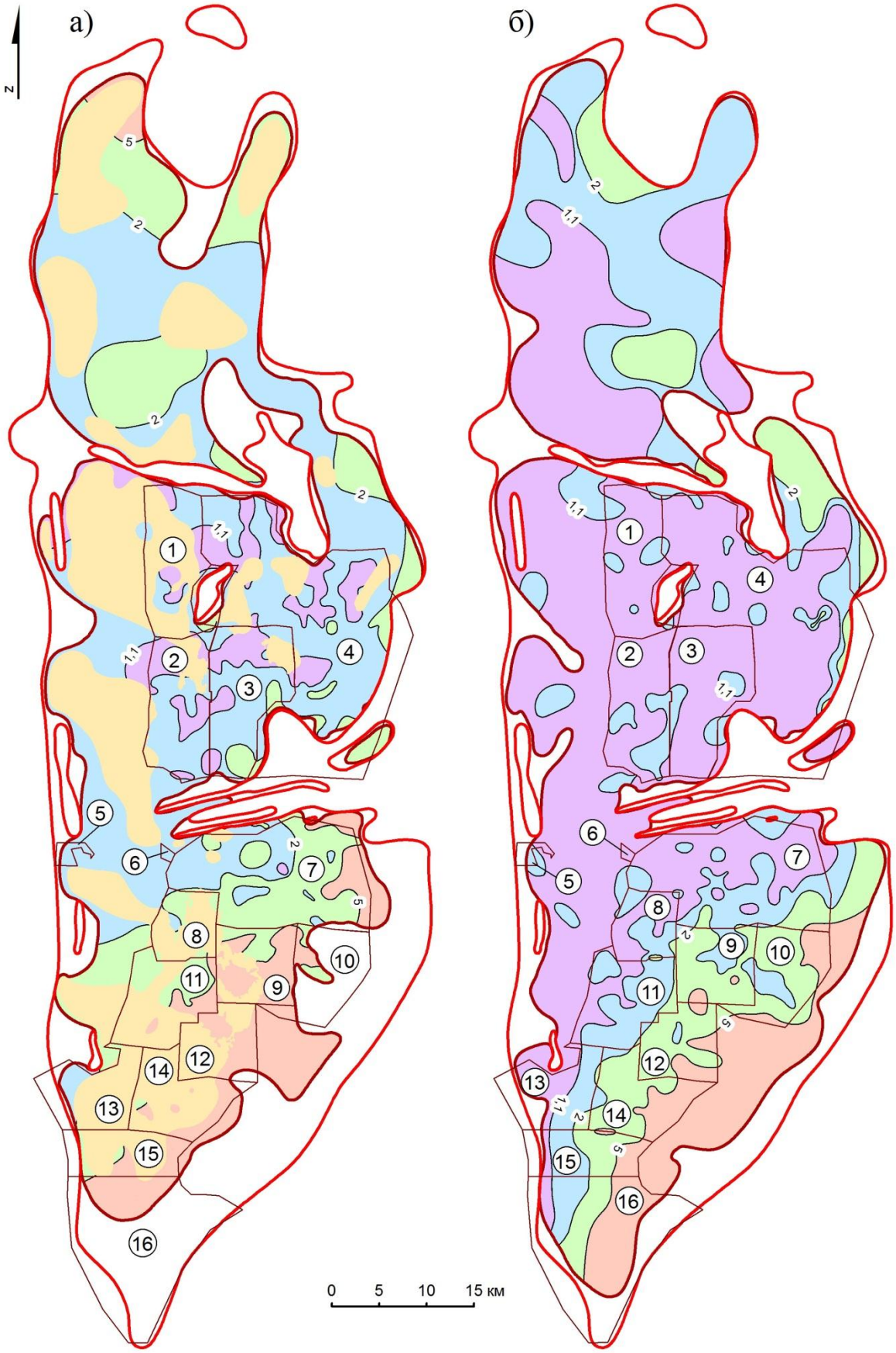

Рис. 7.4. Районирование пластов Б (а) и А (б) по применению поправочных уравнений к данным геологоразведочных скважин по содержанию Н.О.

Условные обозначения см. на рис. 7.3

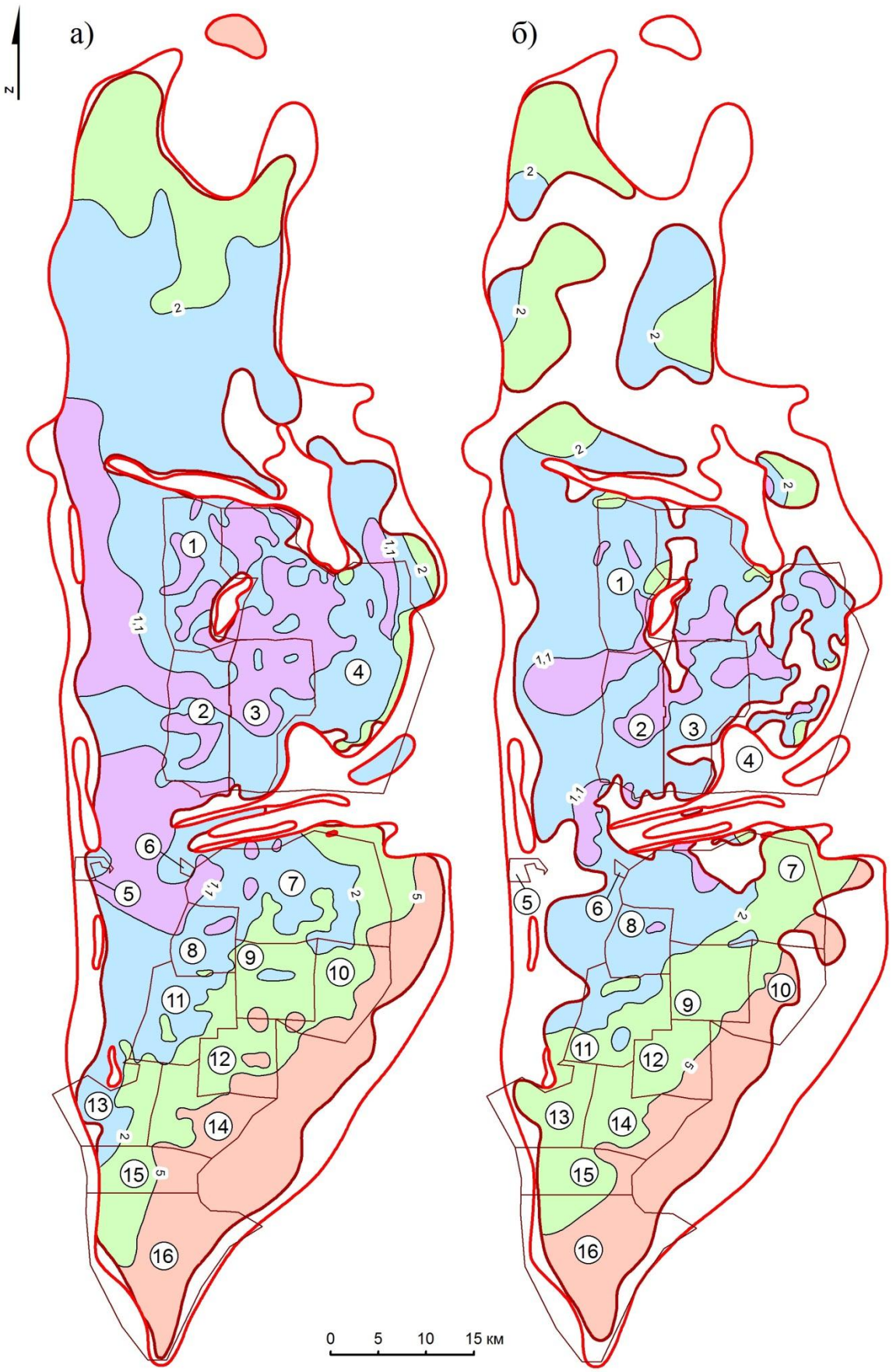

Рис. 7.5. Районирование пластов КрII (а) и КрIII$^{а+б}$ (б) по применению поправочных уравнений к данным геологоразведочных скважин по содержанию Н.О.
Условные обозначения см. на рис. 7.3

Распределение площадей промышленных пластов ВКМС по применению поправочных уравнений приведено в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Распределение площадей
промышленных пластов ВКМС по применению поправочных уравнений
(в числителе – абсолютная площадь, км^2,
в знаменателе – относительно площади всего пласта, %)

Характеристика площади			Промышленные пласты				
Название	Интервал Н.О.$_Р$, %	Применяемое поправочное уравнение	КрIII$^{а+б}$	КрII	А	Б	В
Общая площадь, км^2	-	-	2238	3054	3033	2711	2893
Площадь развития сильвинитов*	-	-	2238 100	3054 100	3033 100	1780 66	850 30
Загрязнение проб керна нерастворимыми примесями	< 1,1	Н.О.$_И$ = Н.О.$_Р$ – 0,41	188 8	584 19	1538 51	160 6	20 1
Отсутствие расхождения	1,1 – 2,0	-	1047 47	1377 45	780 26	891 33	290 10
Прогрессирующее истирание керна	2 – 5	Н.О.$_И$ = 2,54·Н.О.$_Р$ – – 2,87	707 32	666 22	437 14	470 17	346 12
Предел истирания керна	> 5	Н.О.$_И$ = Н.О.$_Р$ + 5,1	296 13	427 14	278 9	259 10	194 7

* – площади распространения сильвинитов указаны без учета
зон замещений пласта каменной солью

7.3. Оценка влияния корректировки на строение и соотношение геохимических полей Н.О.

Любое месторождение полезного ископаемого представляет собой естественное сочетание геологических полей [85]. Под геологическим полем понимается пространство, каждой точке которого соответствует определенное значение какого-либо геологического свойства как функция координат [18]. Если это свойство – содержание каких-либо элементов или компонентов, то такие поля называются геохимическими. Анализ строения и согласованности геохимических по-

лей осадочных образований является основой для выяснения условий осадконакопления.

Для оценки согласованности строения геологических полей используется метод, разработанный В.Ф. Мягковым [68]. Его суть заключается в том, что оценка связи функций геологических параметров номинально равна обычному коэффициенту корреляции (r) между значениями этих параметров, снятых в сопряженных координатах горизонтальной плоскости. При значении $r = +1$ имеет место полная согласованность строения полей, при $r = -1$ – поля дискордантны, т.е. относятся друг к другу как зеркальные отражения, а при $r = 0$ говорят о полном несоответствии строения полей. Естественно, что реальные значения r практически всегда принимают промежуточные величины.

Изучением геохимических полей ВКМС в целях восстановления условий соленакопления занимался ряд исследователей. Вследствие редкой сети солеразведочных скважин в пределах северной части калийной залежи геохимические поля исследовались главным образом по данным геологоразведочных работ, проведенных на площади ее центральной и южной частей. Ниже отметим основные результаты предыдущих исследований геохимических полей Н.О.

1. Центральная часть калийной залежи характеризуется весьма равномерным содержанием Н.О., которое как правило не превышает 2% [136].

2. Общим для геохимических полей Н.О. сильвинитовой пачки в пределах южной части калийной залежи является то, что в их структуре выделяется два главных направления. Первое направление (северо-западное) является направлением максимальной изменчивости и ориентировано субперпендикулярно изолиниям геохимических полей. Градиент содержаний этого компонента направлен на юго-восток и составляет от 0,34%/км (пласт А) до 0,45%/км (пласт КрII). Второе главное направление (северо-восточное) характеризуется минимальной изменчивостью и ориентировано перпендикулярно первому, т.е. субпараллельно изоконцентратам [47, 136, 141].

3. Геохимические поля Н.О. различных пластов промышленного горизонта калийной залежи обладают хорошей согласованностью (табл. 7.2), что указывает

на постоянство источника поступления этого компонента в солеродный бассейн [53, 136, 141].

Таблица 7.2

Соответствие геохимических полей Н.О. (r)
некоторых продуктивных пластов ВКМС [136]

Пласт	А	КрII
В	+0,85	+0,64
Б	+0,71	+0,72
А	-	+0,82

Используя полученные поправочные уравнения и области их функционирования (см. разд. 7.1), а также выявленные при разведке содержания Н.О. в сильвинитах всех пластов промышленного горизонта (прил. 1), была проведена корректировка данных разведки о содержании этого компонента. В соответствии с сутью корректировочных уравнений на площади развития пластов с содержанием Н.О. более 2% поправки имеют положительное значение.

Как уже отмечалось, южная часть ВКМС характеризуется высоким и очень высоким содержанием Н.О. в сильвинитах даже по данным разведки. Корректировка этих данных показала, что изменение средних содержаний этого компонента в пласте КрII на отдельных участках достигает +4,97% (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Влияние корректировки на изменение средних содержаний Н.О.
в сильвинитах пласта КрII в пределах отдельных участков ВКМС
(по материалам [102, 106, 133])

Параметр		Балахонцевский + Палашерский	Романовский	Вогульский
Количество разведочных скважин		44	10	11
$X_{ср}$ Н.О., %	по данным разведки	5,60	5,64	15,02
	после корректировки	9,95	9,53	19,99
Изменение $X_{ср}$, %	абсолютное	+4,35	+3,89	+4,97
	относительное	+77,7	+69,0	+33,1

Для 60 скважин, расположенных в пределах южной части ВКМС (например, скв. 428, 440, 544, 598 и др.), изменение частных значений содержания Н.О. в пласте КрII достигает +5,1%, т.е. равна теоретически возможной.

В табл. 7.4 приведены сведения о влиянии корректировки на средние содержания Н.О. в сильвинитах пластов промышленного горизонта ВКМС.

Таблица 7.4

Изменение средних содержаний Н.О.
в сильвинитах пластов промышленного горизонта ВКМС

Параметр		В	Б	А	КрII	КрIII$^{а+б}$
Количество разведочных скважин		255	472	691	734	543
$X_{ср}$, %	по данным разведки	3,48	2,97	1,63	2,34	2,47
	после корректировки	5,02	4,11	1,93	3,09	3,34
Изменение $X_{ср}$, %	абсолютное	+1,54	+1,14	+0,30	+0,75	+0,87
	относительное	+44,2	+38,4	+18,4	+32,0	+35,2

Из этой таблицы следует, что изменение средних абсолютных содержаний Н.О. по всем рассматриваемым пластам находится в пределах от +0,30% (пласт А) до +1,54% (пласт В). Столь невысокое изменение обусловлено тем, что подавляющая часть разведочных скважин расположена в области содержаний Н.О. менее 2,0% (см. рис. 7.3-7.5), где содержания $Н.О._{Р}$ корректировке не подлежат (т.е. изменение равно нулю). Это характерно для всех разведанных участков центральной части месторождения.

Изменение карт изоконцентрат Н.О., как следствие корректировки содержаний этого компонента, рассмотрим на примере пласта КрII южной части калийной залежи (рис. 7.6). На этом рисунке видно, что положение изоконцентрат 5% и 15%, установленных разведкой, смещены от своего прежнего положения в северо-западном направлении на 0,75-7,5 км, оставаясь субпараллельными второму главному (северо-восточному) направлению геохимического поля. Аналогичные изменения геохимический полей Н.О. характерны и для других пластов.

При генетической интерпретации геохимических полей огромное значение имеет и их структура. В связи с этим рассмотрим влияние корректировки на изменение структуры геохимических полей Н.О. путем оценки соответствия этих полей с помощью коэффициента корреляции.

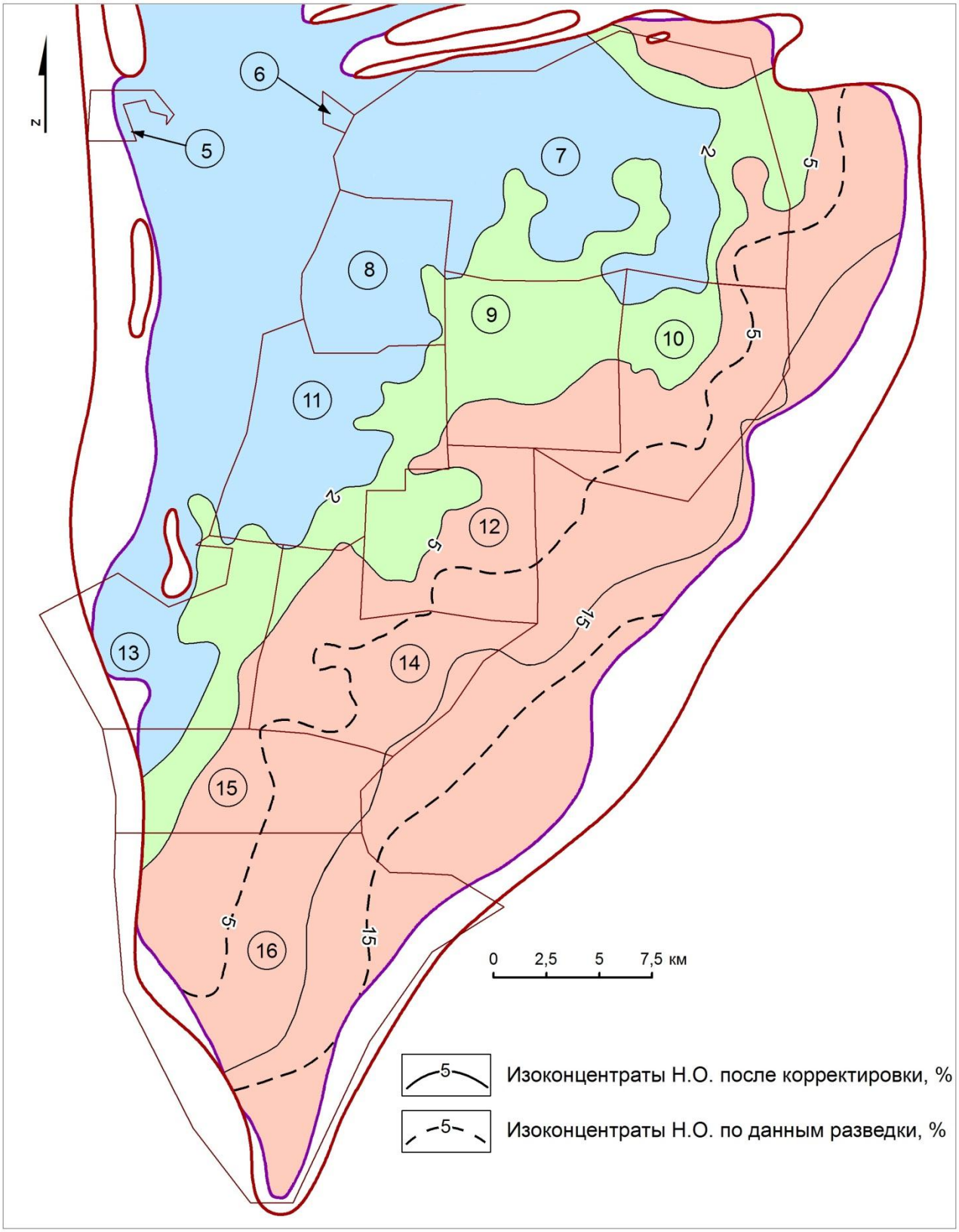

Рис. 7.6. Геохимическое поле Н.О. пласта КрII после корректировки в пределах южной части ВКМС

Остальные условные обозначения см. на рис. 7.3

Расчеты показали (табл. 7.5), что структуры геохимических полей после корректировки содержаний этого компонента практически не изменились (r = +0,96 … +0,99).

Таблица 7.5

Коэффициенты корреляции (r) между содержаниями Н.О. в пласте КрII по данным разведки и после их корректировки в пределах отдельных участков ВКМС (по материалам [102, 106, 133])

Параметр	Балахонцевский + Палашерский	Романовский	Вогульский
Количество скважин	44	10	11
r	+0,96	+0,96	+0,99

Интересно отметить, что коэффициент корреляции между содержаниями Н.О. в пластах сильвинитового состава по данным разведки и после корректировки на всей площади их развития почти во всех случаях равен +0,97 (исключение: пласт А – r = 0,99), а для площади с содержаниями Н.О. более 2% – колеблется в пределах от +0,96 до +0,98 (табл. 7.6).

Таблица 7.6

Коэффициент корреляции (r) между содержаниями Н.О. в пластах сильвинитового состава по данным разведки и после их корректировки

Площадь развития пласта	Параметр	Пласты				
		В	Б	А	КрII	КрIII$^{а+б}$
Н.О. > 2%	Количество скважин	146	190	148	256	217
	r	+0,97	+0,97	+0,98	+0,97	+0,96
Вся площадь ВКМС	Количество скважин	255	472	691	734	543
	r	+0,97	+0,97	+0,99	+0,97	+0,97

Процедура корректировки содержаний Н.О. мало повлияла и на изменение планового соответствия полей этого компонента пластов сильвинитового состава промышленного горизонта ВКМС: абсолютное расхождение значений r не превышает 0,06 (табл. 7.7).

Таблица 7.7

Коэффициенты корреляции (*r*) между содержаниями Н.О.
в сильвинитах пластов промышленного горизонта ВКМС
(в числителе – по данным разведки, в знаменателе – после корректировки).
В левой нижней части матрицы – количество коррелируемых пар

Пласты	**В**	**Б**	**А**	**КрII**	**КрIII$^{а+б}$**
В	1	+0,75 +0,81	+0,64 +0,61	+0,75 +0,72	+0,72 +0,78
Б	190	1	+0,76 +0,74	+0,80 +0,80	+0,81 +0,81
А	189	442	1	+0,85 +0,86	+0,78 +0,78
КрII	192	429	647	1	+0,85 +0,86
КрIII$^{а+б}$	102	306	499	525	1

Проведенный анализ геохимических полей Н.О. показал, что корректировка данных разведки по полученным поправочным уравнениям не вносит существенных изменений в структуру геохимических полей Н.О. Согласованность геохимических полей этого компонента (r), построенных по данным разведки и после их корректировки, оценивается в пределах 0,96…0,99, а генетические выводы, сделанные предшественниками на основе анализа данных разведки, остаются в силе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении диссертационной работы был проанализирован весь имеющийся на месторождении объем фактического материала по опробованию солей при разведке с поверхности земли и эксплуатации ВКМС. Проведено опытно-экспериментальное опробование сильвинитов пластов КрII и Б, осуществлен отбор двойных проб в целях контроля обработки проб по применяемым на ВКМС схемам, и получена погрешность химического анализа при определении содержания Н.О. В ходе обработки результатов химического анализа отобранных проб получено:

- Установлено, что достоверным в условиях ВКМС является бороздовое опробование.

- Экспериментально доказано, что погрешность обработки проб, по применяемым на ВКМС схемам, удовлетворительна, и величина ее ниже допустимой нормативными требованиями.

- Сопоставление рядовых и контрольных анализов сильвинитовых проб показало, что среднеквадратическая абсолютная погрешность при определении содержаний Н.О. химическим анализом составляет 0,18% (при содержаниях Н.О. < 2%) и 0,44% (при содержаниях Н.О. > 2%).

Для решения вопросов о характере динамики избирательного истирания керна при бурении была разработана новая методика сопоставления, что дало возможность получить ряд ранее неизвестных закономерностей и зависимостей, основными из которых являются:

1. При опробовании керна скважин подземного бурения происходит занижение содержаний Н.О. относительно содержаний по данным бороздового опробования. Получены поправочные уравнения:

Для восстающих СПБ: $Н.О._{И} = 1{,}46 \cdot Н.О._{К} - 0{,}05$;

Для нисходящих СПБ: $Н.О._{И} = 1{,}99 \cdot Н.О._{К} - 0{,}86$,

2. Интенсивность избирательного истирания керна в отношении Н.О. не зависит от разновидностей сильвинитов, а связана только с содержанием в них этого компонента.

3. График расхождения содержаний Н.О. в промышленных сильвинитовых пластах по данным разведки и эксплуатации неоднороден, а его четыре участка (по значению $Н.О._{И}$) имеют следующие характеристики:

- участок 1 ($Н.О._{И} < 0,72\%$) – загрязнение проб керна;

- участок 2 ($0,72 < Н.О._{И} < 2,0\%$) – отсутствие расхождений;

- участок 3 ($2,0 < Н.О._{И} < 10,0\%$) – прогрессирующее избирательное истирание керна;

- участок 4 ($Н.О._{И} > 10,0\%$) – предел избирательного истирания керна.

4. Геологической причиной неоднородности графика расхождений между данными разведки и эксплуатации о содержании Н.О. является различие форм нахождения этого компонента в породе.

5. Получена серия поправочных уравнений, применение которых зависит от интервала содержания Н.О. по данным разведки ($Н.О._{Р}$):

- интервал $Н.О._{Р} < 1,1\%$ – $Н.О._{И} = Н.О._{Р} – 0,41$;

- интервал $2,0\% < Н.О._{Р} < 5,0\%$ – $Н.О._{И} = 2,54 \cdot Н.О._{Р} – 2,87$;

- интервал $Н.О._{Р} > 5,0$ – $Н.О._{И} = Н.О._{Р} + 5,10$.

6. Проведено районирование по применению поправочных уравнений для всех промышленных пластов ВКМС.

Результаты диссертационного исследования явились основой «Методики корректировки содержания нерастворимого остатка в пластах Верхнекамского месторождения солей по данным геологоразведочных скважин» [103], которая была утверждена ЭТС ГКЗ Роснедра 26.05.2015 г. (прил. 23) и рекомендована для применения с целью уточнения качества руд при составлении ТЭО кондиций и подсчета запасов сильвинитов ВКМС.

Результаты, полученные в диссертации, использованы для планирования качества руд Вогульского участка ПАО «Уралкалий» (прил. 24) и шахтного поля ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат» (прил. 25).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

1. Абрамова С.А., Марченко О.Ф. Результаты палинологического изучения соляных отложений кунгурского яруса Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1964. Вып. 45. - С. 75-116.

2. Андреев П.С. Совершенствование разведки Верхнекамского месторождения калийных солей // Науч. тр. ПермНИУИ. 1964. Сб. IV. - Пермь. - С. 5-26.

3. Аполлонов В.Н., Барсанов Г.П., Блинов В.А. и др. О полевом шпате галопелитов Верхнекамского месторождения // Докл. АН СССР. 1975. 225 (4). - С. 908-910.

4. Аполлонов В.Н., Иванов А.Г. Галопелиты – соотношение аутигенных и аллотигенных компонентов // Геохимические закономерности формирования галогенных отложений. - Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1983. - С. 37-39.

5. Аполлонов В.Н., Иванов А.Г. О соотношении аутигенной и аллотигенной составляющих в галопелитах // Физико-химические закономерности осадконакопления в солеродных бассейнах. - М.: Наука, 1986. - С. 38-44.

6. Барях А.А., Асанов В.А., Паньков И.Л. Физико-механические свойства соляных пород Верхнекамского калийного месторождения. Пермь: ПГТУ, 2008. - 199 с.

7. Баяндина Э.О. Новая методика сопоставления содержаний водонерастворимого остатка солей по данным разведки и эксплуатации Верхнекамского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, ПГНИУ. Статьи по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2015. - С. 6-7.

8. Баяндина Э.О. Причины расхождения содержаний водонерастворимого остатка солей по данным разведки и эксплуатации Верхнекамского месторождения // Недропользование XXI век. Вып. 5 (55). - С. 22-30.

9. Баяндина Э.О. Прогнозирование содержания нерастворимого остатка в коржах рабочих пластов Верхнекамского месторождения солей // Вестник Пермского университета. Геология. Вып. 1 (26). - С. 85-90.

10. Баяндина Э.О., Кудряшов А. И. К оценке качества сильвинитов при разведке ВКМС // Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений. Материалы Международной научно-практической конференции. 9-13 ноября 2015 г. Казань: ЗАО «Издательский дом «Казанская недвижимость», 2015. - С. 466-468.

11. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И. Нерастворимый остаток солей Верхнекамского месторождения. ООО «Типограф». - Пермь, 2015. - 102 с.

12. Баяндина Э.О., Кудряшов А. И. О различии результатов способов опробования при эксплуатационной разведке ВКМС // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Москва - 2016. № 10-2 (93). - С. 221-226.

13. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И. Решение одной из проблем освоения Верхнекамского месторождения солей // Деловой журнал Бизнес&Класс. Март-апрель, 2015. - С. 38.

14. Баяндина Э.О., Малышев С.Ю., Клепцова Н.К. Контроль обработки геологических проб сильвинита на рудниках Верхнекамского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, ПГНИУ. 2016. – С. 45-47.

15. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Клепцова Н.К. Недостатки разведки Верхнекамского месторождения солей и пути их устранения // Проблемы недропользования. Сетевое периодическое научное издание. Екатеринбург, Институт горного дела Уральского отделения РАН. Вып. 3 (10), 2016. - С. 9-16.

16. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Клепцова Н.К. Обоснование достоверности эксплуатационного опробования на шахтных полях Верхнекамского месторождения // Вестник Пермского университета. Геология. Вып. 2 (31). - С. 72-76.

17. Бондарев Л.Г. Вечное движение (планетарное перемещение вещества и человек). - М.: Мысль, 1974. - 158 с.

18. Бондарик Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. - М.: Недра, 1971. - 272 с.

19. Борисенков В.И., Аполлонов В.Н., Иванов А.Г. Состав галопелитов Верхнекамского калийного месторождения как геохимический показатель палеоусловий развития солеродного бассейна // Строение и условия формирования месторождений калийных солей. - Новосибирск: Наука, 1981. - С. 110-118.

20. Бруевич С.В., Гудков М.П. Атмосферная пыль над Каспийским морем // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1954. №4. - С. 18-28.

21. Валяшко М.Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. - М.: МГУ, 1962. - 397 с.

22. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Гл. ред. О.В. Петров. Т. 1. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. - 432 с.

23. Голубев Б.М. О несогласном залегании пород внутри соляной толщи Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1972. Вып. 56. - С. 8-12.

24. Гольдберг-Захарова П.С. К вопросу о стратиграфии и тектонике калийного месторождения Соликамского района // Калий. 1932. № 8. - С. 8-19; № 9. - С. 1-8.

25. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Соли калийные. Соли магниевые. - М., 2016.

26. Джоридзе 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.

27. Добровольский В.В. Атомы в ландшафте. «Просвещение», М., 1964. - 173 с.

28. Жарков М.А., Жаркова Т.М. Наборы и ассоциации соляных пород соленосных формаций хлоридного типа, их сравнительная характеристика и механизм образования / Сравнительный анализ осадочных формаций. -М.: Наука, 1969. - С. 7-79.

29. Иванов А.А. Опробование пластов сильвинита и каменной соли в выработках Первого рудника // Калий. 1934. № 4. - С. 6-18.

30. Иванов А.А. Пермские соленосные бассейны Печоро-Камского Преду-

ралья. Новосибирск: СО АН СССР, 1965. - 100 с.

31. Иванов А.А., Воронова М.Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. - Л.: Недра, 1975. - 219 с.

32. Иванов А.Г., Аполлонов В.Н., Борисенков В.И. Минеральные парагенезисы галопелитов в отложениях калийных солей // Докл. АН СССР. 1980. Т. 253, № 2. - С. 469-472.

33. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. - М., Недра, 1983. - 191 с.

34. Кленова М.В. Геология моря. М.: Учпедгиз, 1948. - 496 с.

35. Клепцова Н.К., Баяндина Э.О., Кудряшов А.И. Сопоставление данных разведки и разработки Дурыманского участка Верхнекамского месторождения солей // Рудник будущего. 2015, № 1. - С. 6-9.

36. Копнин В.И. Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевых и каменных солей и природных рассолов // Изв. ВУЗов. Горный журнал. Уральское горное обозрение, № 6, 1995. - С. 10-43.

37. Копнин В.И. О распределении постоянных компонентов в соляных отложениях Верхнекамского месторождения // Геохимия. 1966. № 6. - С. 715-725.

38. Копнин В.И. Условия седиментации кунгурских соленосных отложений в Соликамской впадине Предуральского прогиба // Тр. ВНИГНИ. 1973. Вып. 118. - С. 221-238.

39. Копнин В.И., Коротаев М.А. Стратификация соляной толщи Верхнекамского месторождения калийных солей / Строение и условия формирования месторождений калийных солей. Новосибирск: Наука, 1981. - С.79-94.

40. Копнин В.И., Кухарчук А.К. Детальное строение сильвинитового пласта Красный II в южной части Верхнекамского месторождения / Особенности строения залежей бишофита и калийных солей. Новосибирск: Наука, 1980. - С. 32-44.

41. Копнин В.И., Наборщиков В.П. К условиям формирования Дуринского эрозионно-компенсационного прогиба Соликамской впадины // Тр. Пермск. ПИ. 1966. Сб. 20. - С. 269-280.

42. Копнин В.И., Раевский В.И., Леденцов Л.А. Плотность разведочной сети в стадии детальной разведки Верхнекамского месторождения // Тр. ПермНИУИ. 1962. Сб. 4. - С. 30-39.

43. Корочкина Е.О., Молоштанова Н.Е. Утилизацию шламов калийных солей – на пользу предприятиям. Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы регион. науч.-практ. конф. / Перм. ун-т. - Пермь, 2004. - С. 141-145.

44. Корочкина О.Ф., Кудряшов А.И. О деформации соляной толщи в Тверитинской мульде Верхнекамского калийного месторождения / Проблемы техногенного изменения геологической среды и охраны недр в горнодобывающих регионах. Пермь: ГИ УрО РАН, 1991. - С. 139-140.

45. Корочкина О.Ф., Кудряшов А.И. Системы трещин в соляной толще Верхнекамского месторождения калийных солей / Проблемы комплексного изучения водозащитной толщи на месторождениях калийных солей: мат-лы III рег. сов-я. - Пермь: УФ ВНИИГ, 1991. - С. 16-24.

46. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир, 1969. - 397 с.

47. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. – М.: ООО «РПФ» Эпсилон Плюс, 2013. - 368 с.

48. Кудряшов А.И. Способ прогнозирования прочности каменной соли на одноосное сжатие. Патент SU 1006750. Опубл. в БИ 23.03.83 г., № 11.

49. Кудряшов А.И., Базанова О.В. Методика прогнозирования участков развития соляных пород пониженной прочности / Условия формирования и преобразования вещественного состава пород калийных месторождений. - Л.: ВНИИГ, 1982. - С. 82-86.

49а. Кудряшов А.И., Баяндина Э.О. Определение размера участка при сопоставлении данных разведки и эксплуатации Верхнекамского месторождения солей // Успехи современного естествознания. № 12 (часть 2) 2016. - С. 409-413

50. Кудряшов А.И., Васюков В.Е., Фон-дер-Флаасс Г.С. и др. Разрывная тектоника Верхнекамского месторождения солей. - Пермь: ГИ УрО РАН, 2004. - 194 с.

51. Кудряшов А.И., Клепцова Н.К., Баяндина Э.О. Формы нахождения водонерастворимых примесей в солях Верхнекамского месторождения // Рудник будущего. 2015, № 1. - С. 10-12.

52. Кудряшов А.И., Молоштанова Н.Е. Состав и ритмичность строения пачки галит-ангидритовых и глинисто-доломитовых прослоев («книжечки») пласта КрI-КрII Верхнекамского месторождения / Строение и условия формирования месторождений калийных солей. - Новосибирск: Наука, 1981. - С. 106-110.

53. Кудряшов А.И., Мягков В.Ф. Пространственные соотношения морфоструктурных и геохимических полей сильвинитовых пластов Верхнекамского месторождения // Проблемы соленакопления. - Новосибирск: Наука, 1977. - Т. 2. - С. 120-126.

54. Кудряшов А.И., Чернышев Н.И. О роли эолового осадконакопления в формировании пермских пород Приуралья // Геология и петрография Западного Урала. Вып. 7. Пермь, 1976. - С. 84-89.

55. Кудряшов А.И., Шмагина Е.Б., Рунец Г.В. Прогнозирование содержания нерастворимого остатка в калийных рудах и вмещающих породах шахтного поля БКРУ-2 (Верхнекамское месторождение) // Материалы научно-технической конференции молодых специалистов и ученых-галургов 20-21 окт. 1977 г. Березники. - Пермь, УФ ВНИИГ, 1978. - С. 107-109.

56. Леденцов Л.А., Денисов М.И. О степени достоверности результатов геолого-разведочных работ // Тр. ПермНИУИ. 1963. Сб. V. - С. 24-30.

57. Лисицин А.П. Осадконакопление в океанах. - М.: Наука, 1974. - 438 с.

58. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Соли. Утв. расп. МПР РФ № 37-р. от 05.06.2007 г. – М., 2007. - 47 с.

59. Методические рекомендации по сопоставлению данных разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых. - М., 2007. - 30 с.

60. Молоштанова Н.Е. Минеральный состав нерастворимого остатка галопелитов из «коржей» Верхнекамского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала (мат. юбил. конф.). - Пермь, 2011. - С. 49-50.

61. Молоштанова Н.Е., Гаранина Л.В., Поляковский В.Я. Вещественный состав коржей над продуктивными пластами Верхнекамского месторождения, как показатель условий соленакопления // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 11. - Пермь; Пермск. ун-т, 2008. - С. 107-111.

62. Молоштанова Н.Е., Корочкина Е.О. Комплексное исследование вещественного состава коржей над продуктивными пластами Верхнекамского месторождения // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып.10. - Пермь; Пермск. ун-т, 2007. - С. 302-305.

63. Молоштанова Н.Е., Корочкина Е.О. Характеристика коржей над продуктивными пластами Верхнекамского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала; Мат-лы рег. науч.-практич. конф. - Пермь; Пермск. ун-т, 2006. - С. 12-13.

64. Морачевский Ю.В., Безденежных А.Г., Поленова Т.Б. и др. Очерки геохимии Верхнекамских соляных отложений: Тр. ВНИИГ. Вып. 17. - Л.; ГОНТИ, 1939. - 88 с.

65. Мягков В.Ф. К вопросу об определении поправочного коэффициента к данным поверхностной разведки шахтных полей Верхнекамского калийного месторождения // Сборник научных трудов ППИ. 1961. № 8. - С. 95-101.

66. Мягков В.Ф. Некоторые вопросы методики рудничного опробования калийных солей на Верхнекамском месторождении // Сб. научн. тр. Пермск. ПИ. 1961. № 8. - С. 87-94.

67. Мягков В.Ф. Новый способ решения некоторых задач опробования // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1958. № 10. - С. 95-102.

68. Мягков В.Ф. О геометрическом способе корреляции физических полей // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. Уч. зап. Пермск. ун-та. 1971. № 233. - С. 131-133.

69. Мягков В.Ф. Обработка проб сильвинитов и карналлитовой породы на Соликамском и Березниковском калийных комбинатах // Тр. ВНИИГ. Материалы по геологии районов соленакопления. Вып. XLV. – М.: Недра, 1964. - С. 285-294.

70. Мягков В.Ф. Об основных принципах опробования и оценки полезных ископаемых при разведке и разработке месторождений // Изв-я вузов. Горный журнал, № 9, 1992. - С. 9-17.

71. Мягков В.Ф. Проблема выдающихся проб и ее решение на основе изучения двухмерных распределений // Вопросы методики опробования месторождений полезных ископаемых при разведке и эксплуатации. – Свердловск; СГИ. 1969. - С. 40-43.

72. Мягков В.Ф., Раевский В.И. Избирательное разрушение кернов сильвинитов и карналлитовых пород при бурении скважин на Верхнекамском месторождении // Изв. вузов. Горный журнал. 1964. № 5. - С. 8-12.

73. Наумов В.А. Строение и вещественный состав техногенных осадков шламохранилищ Верхнекамского месторождения солей // Изв-я Вузов. Горный журнал, № 4, 2009. - С. 46-53.

74. Нормы технологического проектирования предприятий калийной промышленности. Ч. 1. Нормы технологического проектирования калийных рудников. - Л., 1976. - 20 с.

75. ОСТ 41-08-272-04. Управление качеством аналитических работ. Методы геологического контроля качества аналитических работ. - М., 2005. - 43 с.

76. Поликарпов А.И., Петров Е.В., Поляковский В.Я., Толкачев М.Ф. Калиевые полевые шпаты в породах галогенных формаций (на примере Верхнекамского и Старобинского месторождений) // Минералогический журнал. 1981. Т. 3, № 4. - С. 34-45.

77. Поликарпов А.И., Рудашевская Н.С., Мелкова Н.В. О составе глинистых фракций пород калиеносной части разреза Палашерского участка Верхнекамского месторождения // Геология месторождений калийных солей и изменчивость их свойств. Тр. ВНИИГ. 1974. Вып. 71. - С. 9-15.

78. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). - М.: ВИЭМС, 1999. - 8 с.

79. Поляковский В.Я. О распространении и условиях образования глинистых минералов пород Старобинского и Верхнекамского месторождения калий-

ных солей. // Условия формирования и преобразования вещественного состава пород калийных месторождений. Сб. науч. тр. ВНИИГ, Ленинград, 1982. - С. 24-33.

80. Поляковский В.Я. О роли аллотигенных и аутигенных факторов в формировании ассоциаций глинистых минералов калийных месторождений хлоридного типа // Геохимические закономерности формирования галогенных отложений: Сб. науч. тр. - Новосибирск, 1983. - С. 44-45.

81. Поляковский В.Я., Поликарпов А.И., Мелкова Н.В. Особенности минералогии глинистых фракций калиеносных пород Ново-Соликамского участка Верхнекамского месторождения // Сб. науч.-техн. реф. Серия «Калийная промышленность». М.: НИИТЭХИМ, 1980. Вып. 3. - С. 15-17.

82. Проскуряков Н.М., Пермяков Р.С., Черников А.К. Физико-механические свойства соляных пород. - Л.: Недра, 1973. - 271 с.

83. 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.

84. Русинов Л.А. Опробование Соликамского месторождения в пределах выработок Первого рудника // Калий. 1936. № 5. - С. 32-39.

85. Соболевский П.К. Современная горная геометрия // Социалистическая реконструкция и наука. 1932. № 7. - С. 32-65.

86. СТО РосГео 09-002-98. Стандарт российского геологического общества (твердые полезные ископаемые). - 45 с.

87. Тетерина Н.Н., Сабиров Р.Х., Сквирский Л.Я. и др. Технология флотационного обогащения калийных руд. - Пермь, ОГУП «Соликамская типография», 2002. - 484 с.

88. Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений. М: ФГУ ГКЗ, 1992. - 17 с.

89. Третьяков Ю.А. Состав карбонатов и гидрослюды в отложениях зон разубоживания Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1974. Вып. 68. - С. 86-96.

90. Третьяков Ю.А., Сидоров И.В. Состав сульфатов, карбонатов и гид-

рослюды в соляных отложениях юго-восточной части Верхнекамского калийного месторождения // Тр. ВНИИГ. 1974. Вып. 71. - С. 18-25.

91. Тупицын И.С. Способ оценки устойчивости кровли очистных камер калийных рудников. АС SU 1490275. 30.06.1989 г.

92. Уразов Г.Г. О порядке отложения солей Соликамского калиевого месторождения // Тр. ГГРУ. - М.; Л.: ГГРУ, 1932. Вып. 43. - С. 28-58.

93. Шешуков Н.Г. К вопросу геологии карналлитов Верхнекамского калийного месторождения // Калий. 1936. № 9. - С. 16-22.

94. Щукин И.С. Общая геоморфология, т. III. Изд-во МГУ, 1974. - 383 с.

95. Яржемская Е.А. Вещественный состав галопелитов // Тр. ВНИИГ. 1954. Вып. 29. - С. 260-314.

96. Яржемская Е.А. О вещественном составе соляных глин // Докл. АН СССР. 1949. Т. 66, № 5. - С. 919-921.

97. Яржемский Я.Я., Протопопов А.Л., Лобанов В.В. и др. Атлас структур и текстур галогенных пород СССР. - Л.: «Недра», 1974. - 231 с.

98. Яржемский Я.Я., Третьяков Ю.А. Краткая петрографо-минералогическая характеристика пород Дуринского участка Верхнекамского калийного месторождения / Геологическая и минералого-петрографическая оценка распространения, качества руд и условий разработки калийных месторождений. - Л.: ВНИИГ, 1979. - С. 91-106.

Фондовая

99. Аверьянов С.В., Левицкий Ю.А., Вершинина Г.В. и др. Детальные аэрогеологические и морфологические работы по уточнению геолого-структурного строения Верхнекамского месторождения калийных солей: Отчет о НИР ДМГИ УКАГП. Екатеринбург, 1992.

100. Алиферова С.Н. Активация процессов флотации шламов и сильвина при обогащении калийных руд. Автореф. дисс. … к. т. н. -Екатеринбург, 2007.

101. Аполлонов В.Н., Борисенков В.И., Блинов В.А. и др. Изучение минерального состава нерастворимого остатка в руде и технологических продуктах фабрик ПО «Уралкалий». Отчет о НИР УФ ВНИИГ и МГУ. Москва-Пермь, 1976.

102. Баяндина Э.О., Клепцова Н.К., Кудряшов А.И. Разработка разделов технико-экономического обоснования (ТЭО) временных разведочных кондиций и оценки запасов калийных солей на Вогульском участке Верхнекамского месторождения. Пермь, 2016.

103. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И. Разработка методики корректировки содержания нерастворимого остатка в пластах Верхнекамского месторождения солей по данным геологоразведочных скважин. Пермь, 2015.

104. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Иконников Е.А. и др. Геологический отчет о результатах геологоразведочных работ с подсчетом запасов калийных солей Лицензионного участка (лицензия ПЕМ 02351 ТЭ) Верхнекамского месторождения (подсчет запасов на 01.01 2014 г.), Пермь, 2014.

105. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Клепцова Н.К. Обоснование достоверности эксплуатационного опробования на рудниках ПАО «Уралкалий». Пермь, 2016.

106. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Клепцова Н.К. и др. Проект на проведение поисково-оценочных работ на Романовском участке Верхнекамского месторождения солей. Кн. 1. Методическая часть. Пермь, 2015.

107. Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Ширинкина Ю.А. и др. Разведка Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Геологические исходные данные для составления проекта шахтных стволов и ТЭО постоянных разведочных кондиций. Пермь, 2010.

108. Белоликов А.И., Дягилев Г.А., Сапегин Б.И. и др. Отчет о разведке Дурыманского участка Верхнекамского месторождения калийных солей (подсчет запасов на 1.01.1958 г.). Березники, 1958.

109. Белоликов А.И., Дягилев Г.А., Сапегин Б.И. Отчет о разведке Ново-Соликамского участка Верхнекамского месторождения калийных солей. Чашкино, 1961.

110. Белоликов А.И., Могильникова Л.А. Отчет о бурении контрольных скважин на шахтном поле Соликамского калийного комбината. Чашкино, 1967.

111. Белоликов А.И., Сапегин Б.И. Отчет о разведке Верхнекамского месторождения калийных солей. Березниковский участок. Соликамская ГРП, Чашкино. 1962.

112. Беляев В.П., Орфаницкий В.Л., Петров А.К. Отчет о геофизических работах на Верхнекамской площади за 1987-89 гг. Пермская геологоразведочная экспедиция. Пермь, 1989.

113. Валеев Р.Н., Вишняков А.К., Тихвинский И.Н. Разломы фундамента, зоны тектонической трещиноватости Соликамской впадины и их влияние на катагенные преобразования пород продуктивной калиеносной зоны. ВНИИГеолнеруд (рукопись). Казань, 1974.

114. Васильев С.В. Отчет о геологическом доизучении Дурыманского участка Верхнекамского месторождения. Березники, 2003.

115. 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.

116. Вишняков А.К., Басова А.К., Вольфсон А.Ф. и др. Изучение вещественного состава нерастворимого остатка руд промышленных пластов Боровского участка Верхнекамского месторождения калийных солей. Отчет о НИР Уф ВНИИГ. Пермь, 1977.

117. Воденникова М.Ф., Тетерина Н.Н. и др. Оценка точности химических и физико-химических методов анализа сильвинита, технического хлористого калия и карналлита. Отчет о НИР УФ ВНИИГ. Пермь-Березники, 1975.

118. Голубев Б.М. Строение соляной толщи Верхнекамского месторождения. Автореф. дисс... к.г.-м.н. – Пермь: ПГУ, 1972.

119. Евдокимова Н.Ф., Сапегин Б.И., Пятаев И.А. Отчет о детальных геологоразведочных работах в северо-восточной, северо-западной и юго-восточной частях шахтного поля рудника Третьего Березниковского калийного рудоуправления, выполненных в 1981-1987 гг. (подсчет запасов на 01.01.1987 г.). Березники, 1987.

120. Елкин Ю.М. и др. Оперативное изменение состояния запасов калийно-магниевых солей на Дурыманском участке Верхнекамского месторождения. Березники, 2007.

121. Заикин Ю.О., Сапегин Б.И., Пятаев И.А. Отчет о детальных подземных геологоразведочных работах в северо-западной части шахтного поля восточного рудника Четвертого Березниковского калийного завода, выполненных в 1983-1988 гг. Подземная ГРП. Березники, 1988.

122. Инструкция по геологическому обслуживанию калийных рудников ПАО «Уралкалий». Березники, 2015.

123. Карпенко Н.А, Белоликов А.И., Сапегин Б.И. Отчет о доразведке Соликамского участка Верхнекамского месторождения калийных солей. Соликамская ГРП, Березники, 1960.

124. Карпенко Н.А., Белоликов А.И. Отчет о геологоразведочных работах по выяснению условий залегания солей в центральной части шахтного поля Березниковского рудника. Березники, 1961.

125. 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.

126. Квиткин С.Ю. и др. Дополнительные материалы к отчету о поисково-оценочных работах в западной части Верхнекамского месторождения калийных солей, проведенных в 1983-1987 гг. Пермь, 1989.

127. Квиткин С.Ю. Отчет о доразведке Половодовской площади Верхнекамского месторождения калийных солей для уточнения границ забалансовых запасов калийных солей с целью подготовки участков к постановке поисково-разведочного бурения на нефть. Соликамск, 1994.

128. Квиткин С.Ю. Отчет о доразведке Соликамского участка Верхнекамского месторождения калийных солей, выполненной в 1987-1988 гг. (подсчет запасов по состоянию на 01.01.1989 г.). Пермь, 1988.

129. Квиткин С.Ю., Крутова А.Е., Васильев С.В. и др. Отчет о доразведке Соликамского участка Верхнекамского месторождения калийных солей, выпол-

ненной в 1987-1990 гг. (подсчет запасов по состоянию на 01.01.1991 г.). Пермь, 1990.

130. Квиткин С.Ю., Бойченко А.П., Котельников А.Н. Подсчет запасов солей в пластах АБ и В на шахтном поле БКПРУ-1 (Березниковский участок) на 01 января 2003 г. ПАО «Уралкалий», Березники, 2003.

131. Квиткин С.Ю., Новиков В.П., Васильев С.В. и др. Отчет о детальной разведке Усть-Яйвинского участка Верхнекамского месторождения калийных солей.

132. Квиткин С.Ю., Пруцкая Л.А., Ефимова О.М. и др. Отчет о поисково-оценочных работах в западной части Верхнекамского месторождения калийных солей, проведенных в 1983-1987 гг. (подсчет запасов на 1 января 1985 г.). Уралгеология. Пермь, 1987.

133. Клепцова Н.К., Баяндина Э.О., Кудряшов А.И. Корректировка данных детальной разведки по содержанию Н.О. в рабочих пластах и коржах рабочих пластов шахтного поля Усольского калийного комбината. Отчет о НИР ООО «НПФ «Геопрогноз». Пермь, 2015.

134. Копнин В.И., Белоликов А.И., Сапегин Б.И. Промежуточный отчет о предварительной разведке Верхнекамского месторождения калийных солей за 1954-58 гг. Березники, 1959.

135. Котельников А.Н., Пятаев И.А., Сапегин Б.И. Отчет о подземной доразведке северной части шахтного поля Четвертого Березниковского калийного завода за 1986-1993 гг. Подземная ГРП. Березники, 1993.

136. Кудряшов А.И. Геолого-геохимический анализ строения Верхнекамского калийного месторождения и его районирование в целях эксплуатации. Дисс... канд. геол.-мин. наук. Пермь, 1977.

137. Кудряшов А.И. Флюидогеодинамика и эпигенез калийных залежей (на примере Верхнекамского месторождения). Дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1994.

138. Кудряшов А.И., Баяндина Э.О. и др. Геологический отчет о результатах геологоразведочных работ с подсчетом запасов калийных солей в пределах пер-

вой очереди освоения Лицензионного участка (лицензия ПЕМ 14511 ТЭ) Верхнекамского месторождения (подсчет запасов на 01 января 2013 года). Пермь, 2012.

139. Кудряшов А.И., Баяндина Э.О., Пушкова О.С. и др. Изучение материалов бурения и разработка исходных геологических данных для составления ТЭО постоянных разведочных кондиций Талицкого участка Верхнекамского месторождения. Отчет о НИР ООО «НПФ «Геопрогноз». Пермь, 2010.

140. Кудряшов А.И., Тупицин И.С. Пояснительная записка к картам изопахит и изоконцентрат Н.О. пластов Б-В, А-КрI, КрI-КрII Верхнекамского калийного месторождения. Отчет о НИР. УФ ВНИИГ. Пермь, 1978.

141. Мягков В.Ф., Кудряшов А.И. Закономерности распределения компонентов в промышленных пластах солей Верхнекамского калийного месторождения и вопросы методики их опробования. Отчет о НИР Пермского ГУ. Пермь 1975.

142. Мягков В.Ф., Кудряшов А.И. Материалы по переоценке запасов и качества сильвинитов на шахтных полях БКПРУ-2 и БКПРУ-4 Верхнекамского месторождения калийных солей. Отчет о НИР Пермского ГУ и УФ ВНИИГ. Пермь, 1976.

143. Мягков В.Ф. Динамическое прогнозирование качества сильвинитов при проектировании рудников. Отчет о НИР Пермского ГУ. Пермь, 1972.

144. Нояксова Л.Д., Шваб С.В. и др. Отчет о результатах гравиметрической съемки масштаба 1:25000 Верхнекамской площади, проведенной в 1986-1990 гг. Баженовская ГФЭ, п. Шеелит Свердловской обл., 1990.

145. Олифиренко О.В., Квиткин С.Ю., Пономаренко Г.А. и др. Анализ достоверности запасов, утвержденных ГКЗ СССР по месторождениям калийных солей Белоруссии и Пермской области. 1982.

146. Петрик А.И., Филько А.С., Романов В.Л. и др. Отчет по переоценке запасов Соликамского и Ново-Соликамского участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2006 г.). Фирма «Агрохимбезопасность» ОАО «Агрохиминвест» – ОАО «Сильвинит». 2006.

147. Плотников Ю.А. Отчет о доразведке восточной части Быгельско-Троицкого участка Верхнекамского калийного месторождения. Лицензия ПЕМ 01363 ТЭ. Березники, 2013.

148. Плотников Ю.А. Отчет о подземной доразведке северо-восточной части разрабатываемого шахтного поля рудника БКРУ-4 Верхнекамского месторождения, выполненной в 1991-1995 гг. УПБГРР АО «Уралкалий», Березники, 1996.

149. Плотников Ю.А., Ковальская В.В., Веселкова Н.В. 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.

150. Попова В.И., Попов В.А., Котляров В.А. и др. Характеристика галита и сильвина Верхнекамского месторождения. Отчет о НИР Института минералогии УрО АН СССР. Миасс, 1990.

151. Протокол № 3744 заседания ГКЗ Роснедра от 16.07.2014 г.

152. Пушкова О.С., Кудряшов А.И., Баяндина Э.О. и др. Разведка Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Геологические исходные данные для составления проекта шахтных стволов и ТЭО постоянных разведочных кондиций. Результаты бурения скважины 604/1. Отчет о НИР ООО «НПФ «Геопрогноз». Пермь, 2010.

153. Пятаев И.А., Сапегин Б.И. Отчет о детальных подземных геологоразведочных работах в западной части шахтного поля рудника Третьего Березниковского калийного рудоуправления, выполненных в 1980-1984 гг. (подсчет запасов на 01.01.1984 г.). Березники, 1984.

154. Романов В.Л. Отчет по переоценке запасов Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (с подсчетом запасов по состоянию на 01.07.2010 г.). Усолье-Москва, 2010.

155. Сапегин Б.И., Белоликов А.И. Отчет о предварительной разведке Верхнекамского месторождения калийных солей (южной части). Чашкино, 1965.

156. Сапегин Б.И., Белоликов А.И. Отчет о разведке Верхнекамского месторождения калийных солей. Талицкий участок (подсчет запасов на 1.01.1969 г.).

Чашкино, 1969.

157. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Дягилев Г.А. Отчет о разведке Верхнекамского месторождения калийных солей. Балахонцевский участок. Чашкино, 1963.

158. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Дягилев Г.А. Отчет о разведке Верхнекамского месторождения калийных солей. Быгельско-Троицкий участок. Чашкино, 1964.

159. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Захваткин В.В. и др. Отчет о доразведке Ново-Соликамского участка Верхнекамского месторождения калийных солей (подсчет запасов на 1 января 1972 г.). Чашкино, 1971.

160. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Захваткин В.В. и др. Отчет о разведке Верхнекамского месторождения калийных солей. Палашерский участок. Чашкино, 1970 г.

161. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Захваткин В.В. Отчет о работах по изучению геолого-гидрогеологических условий Дуринского прогиба и северной части Быгельско-Троицкого участка Верхнекамского калийного месторождения, выполненных в 1967-1972 г.г. Пермская КГРЭ, Чашкино. 1973.

162. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Квиткин С.Ю. и др. Отчет о детальной разведке Боровского участка Верхнекамского калийного месторождения, выполненной в 1974-1979 гг. Пермь, 1979.

163. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Лихачев Ю.Н. Отчет о предварительной разведке центральной части Верхнекамского калийного месторождения. Соликамская ГРП. Пермь, 1966.

164. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Руденских и др. Отчет о детальных поисках в западной и северо-восточной частях Верхнекамского месторождения калийных солей, выполненных в 1977-1979 гг. Соликамская ГРП. Чашкино, 1979.

165. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Ян А.К. и др. Отчет о поисково-оценочных работах в северной части Верхнекамского калийного месторождения, выполненных в 1975-1978 гг. Свердловск, 1978.

166. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Янин В.Н. и др. Отчет о детальной раз-

ведке Половодовского участка Верхнекамского месторождения калийных солей, выполненной в 1973-1975 гг. Чашкино, 1975.

167. Сапегин Б.И. и др. Отчет о предварительной разведке Боровско-Половодовской площади Верхнекамского месторождения калийных солей (подсчет запасов на 1.10.1973 г.). Чашкино, 1973 г.

168. Сапегин Б.И., Белоликов А.И., Захваткин В.В. Промежуточный отчет о поисково-разведочных работах в северной части Верхнекамского месторождения (Работы Соликамской ГРП за 1962-67 гг.). Чашкино, 1967.

169. Семейкин А.О., Рудаков А.Ю., Харитонов Т.В. и др. Отчет о поисках каменной соли Содовского участка для организации рассолопромысла в Усольском районе Пермского края в пределах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Пермь, 2014.

170. Сметанников А.Ф. Минералогия солей и благородных металлов Верхнекамского месторождения. Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. - Сыктывкар, 2012.

171. Тетерина Н.Н., Корчагина Е.С. Выполнить лабораторные исследования обогатимости калийной руды Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Отчет о НИР ОАО «Галургия». Пермь-Березники, 2010.

172. Тетерина Н.Н., Попов Г.Н., Жуков Л.А. Влияние содержания нерастворимого остатка и KCl в верхнекамском сильвините на извлечение KCl и затраты при производстве его флотационным и химическим методами. Отчет о НИР УФ ВНИИГ. Пермь, 1975.

173. Третьяков Ю.А. Изучение вещественного состава нерастворимого остатка в промышленных пластах Половодовского участка Верхнекамского месторождения. Отчет о НИР УФ ВНИИГ. Пермь, 1975.

174. Шакирзянова Д.Р., Вишняков А.К. и др. Изучение вещественного состава, физико-технологических свойств калийных солей и технико-экономическое обоснование скважинного способа добычи горизонтальными камерами на Половодовском участке, части Ново-Соликамского участка и части Остальной площа-

ди Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей в 2009-2011 гг. Отчет о НИР ФГУП «ЦНИИГЕОЛНЕРУД», Казань, 2012.

175. Шешуков Н.Г., Исакова М.С., Трущева Н.А. и др. Отчет по подсчету запасов калийных солей Верхнекамского месторождения на 1 июля 1954 г. Северо-западный ГРТ, Березниковская ГРЭ. Ленинград, 1955.

176. Ширинкина Ю.А., Кудряшов А.И., Баяндина Э.О. и др. Разведка Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Геологические исходные данные для составления проекта шахтных стволов и ТЭО постоянных разведочных кондиций. Результаты бурения скважины 107г-З. Пермь, 2010.