

МИОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
Кафедра петрологии и прикладной геологии

**Калийный седиментогенез и постседиментационные преобразования в
пермском солеродном бассейне западного и северо-западного обрамления
Прикаспийской впадины**

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД
об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы (диссертации)

аспиранта 3 курса
направление подготовки 05.06.01 Науки о земле
направленность – «Геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых»
геологического факультета
Соломона Максима Валерьевича

Научный руководитель
доктор геол.-мин. наук, профессор О.П. Гончаренко
подпись, дата

Зав. кафедрой
доктор геол.-мин. наук, профессор О.П. Гончаренко
подпись, дата

Саратов 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ	стр. 3
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	7
ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ НИЖНЕПЕРМСКИХ СОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИБОРТОВОГО ОБРАМЛЕНИЯ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ.....	7
ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	9
ГЛАВА 3. ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИЛЬВИНИТОВ И СИЛЬВИН-ГАЛИТОВЫХ ПОРОД ЗАПАДНОГО И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ.....	10
ГЛАВА 4. МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КАЛИЙНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИБОРТОВОГО ОБРАМЛЕНИЯ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ.....	15
ГЛАВА 5. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА КАЛИЙНЫЕ СОЛИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	18
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ НАУЧНО- КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)	22

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Несмотря на достоверно установленные перспективы промышленной калиеносности прибортовой зоны Прикаспийской впадины, степень разведки и промышленного освоения этих территорий остается низкой. Причина в том, что поля изменчивости качества выявленных залежей калийных солей трудно спрогнозировать по данным бурения и сейсморазведки. При ранее проведенных работах для разведки и подсчета запасов, как правило, использовались результаты химических анализов и данные технологических исследований солей. Основным содержанием литологических исследований являлось микроскопическое описание состава и микроструктуры пород. Главное внимание уделялось слоистости, которая трактовалась как фактическое подтверждение того, что образования, возникшие на стадии седиментации, сохранялись в практически неизменном виде в последующее время. Применение таких методов не позволяет четко определить критерии прогноза этих участков, поскольку на распределение полезного ископаемого влияли и постседиментационные преобразования, в результате которых происходило изменение первичного минерального состава солей, что отражалось в определенном их текстурно-структурном облике.

Принцип выделения разностей сильвинитов и сильвин-галитовых пород в опубликованной литературе отличается тем, что первоочередное внимание уделяется цвету, характеру распределения окраски гематитовым веществом, а текстурно-структурные признаки сопровождают описание лишь на втором этапе. Выделение типа текстуры сильвинитов и сильвин-галитовых пород для классификации данных образований необходимо в первую очередь при систематизации их по генетическому признаку. В работах С.В. Ходьковой (1973, 1981) проведена генетическая интерпретация текстурно-структурной характеристики солей Стебникского и Верхнекамского месторождений. Применение геохимических методов совместно с текстурно-структурным анализом и проверка их сходимости с целью выявления условий формирования калийных отложений ранее не проводилась. Выявление изменчивости текстурно-структурного строения сильвинитов в продуктивных пластах позволяет установить распределение качественных разностей по разрезу и латерали и скорректировать направление дальнейших поисково-разведочных работ. Все выше приведенное позволяет говорить об актуальности данной работы.

Степень разработанности темы исследования.

Литолого-фациальные и геохимические особенности калийных отложений освещены в работах М. Г. Валяшко (1962), С. М. Корневского, М. Л. Вороновой (1966), Ю. И. Лупиновича, В. З. Кислика (1970), А. А. Иванова, М. Л. Вороновой

(1972), М. П. Фивега, Валяшко (1975), И. Н. Тихвинского (1974, 1976), М. П. Фивега, Н. И. Банеры (1964, 1968, 1980), Валяшко и др. (1976, 1980), И. К. Жеребцовой (1981), М. А. Жаркова (1978, 1984), В. И. Копнина (1988, 1995), Г.А. Московского (2000), А.М. Кудряшова (2013), Г.А. Московского и др. (2014), О.П. Гончаренко (2004, 2015), Г.А. Московского, О.П. Гончаренко и др. (2015, 2018), И.И. Чайковского (2018, 2020) и других.

Цели и задачи исследования.

Целью работы является выявление минералого-литологических особенностей калийных солей и постседиментационных преобразований в них на базе детальной текстурно-структурной характеристики этих образований в комплексе с геохимическими методами.

В соответствии с поставленной целью решались следующие основные задачи:

- Выделить генетические типы текстур и структур в сильвинитах и сильвин-галитовых породах западного и северо-западного прибортового обрамления Прикаспийской впадины для выявления условий их формирования.
- На основании текстурно-структурного анализа провести типизацию сильвинитов и сильвин-галитовых пород.
- Уточнить факторы формирования текстур и структур сильвинитов и сильвин-галитовых пород изученных разрезов Прикаспия;
- Уточнить модели формирования сильвина в изученных калийных интервалах разрезов Прикаспия;
- На основании сформулированных моделей формирования сильвина и установленных постседиментационных изменений основных минералов солей, уточнить условия формирования калийных отложений в изученных разрезах Прикаспия;
- Скорректировать основные направления поисковых работ на калийные соли, учитывающие выявленные условия их формирования и разработать литологические критерии оценки качества калийных солей для промышленного освоения.

Научная новизна:

- 1) Разработана новая схема изучения текстурно-структурных особенностей строения сильвинитов и сильвин-галитовых пород. Установлен характер изменчивости текстурно-структурного облика калийных солей по разрезу и латерали.
- 2) Уточнены факторы формирования текстур и структур сильвинитов и сильвин-галитовых пород обрамления Прикаспия.

3) Показано, что поля распространения калийных солей в западном и северо-западном обрамлении могут быть вторичными, обусловленные постседиментационными изменениями исходных пород.

4) Оценен характер распространения качественных разностей сильвинитов по разрезу и латерали для отдельных участков обрамления Прикаспия, и рекомендовано дальнейшее направление поисковых работ.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Разработанные автором критерии выделения разностей сильвинитов по текстурно-структурному строению позволяют проследить изменчивость продуктивных свойств полезного ископаемого, не зафиксированных методами промысловой и площадной геофизики. Полученная на основании детальных минералого-литологических исследований керна новая схема изучения текстурно-структурных особенностей строения сильвинитов и сильвин-галитовых пород позволяет классифицировать рассматриваемые породы по степени развития в них пелит-ангидритового материала, и, как следствие, выделять наиболее качественные разности.

Методология и методы исследования.

Для реализации поставленной цели и задач необходимо комплексирование **петрографических** (микроскоп Axioskop 40 Pol., камера AxioCam MRc 5, ПО AxioVision, сканер Epson 2400), **геохимических**: (рентген-флуоресцентный анализ монофракций сильвина на энергодисперсионном анализаторе EDX-720 Shimadzu, рентгенофазовый анализ нерастворимого остатка на рентгеновском дифрактометре PW-1800 Philips, определение хлорида калия (KCl) (вес. %), **термобарогеохимических** (изучение характера распространения включений в теле сильвина и галита, изучение фазового состава вакуолей включений).

Положения, выносимые на защиту:

1. Выделены и классифицированы основные генетические разности текстур (шесть типов) и структур (десять типов), описанные в сильвинитах, свидетельствующие о сложных условиях седиментогенеза, и проявлении постседиментационных их преобразований в локальных почти изолированных солеродных бассейнах обрамления Прикаспия.

2. Значительные объемы сильвинитов и сильвин-галитовых пород западного и северо-западного обрамления Прикаспийской впадины были сформированы в результате влияния постседиментационных процессов.

3. Скорректированы основные направления поисково-разведочных работ на калийные соли в северо-западной части прибортового обрамления Прикаспия на основании разработанных литологических критериев качества разностей сильвинитовых пород.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность полученных результатов подтверждается представительным объемом проведенных текстурно-структурных и геохимических анализов керна, отобранного в 2016-2019 гг. из перспективных участков на калийные соли западного и северо-западного обрамления Прикаспийской впадины: Западно-Перелюбский участок, Восточно-Перелюбский участок, Гремячинское месторождение (Рисунок 1).

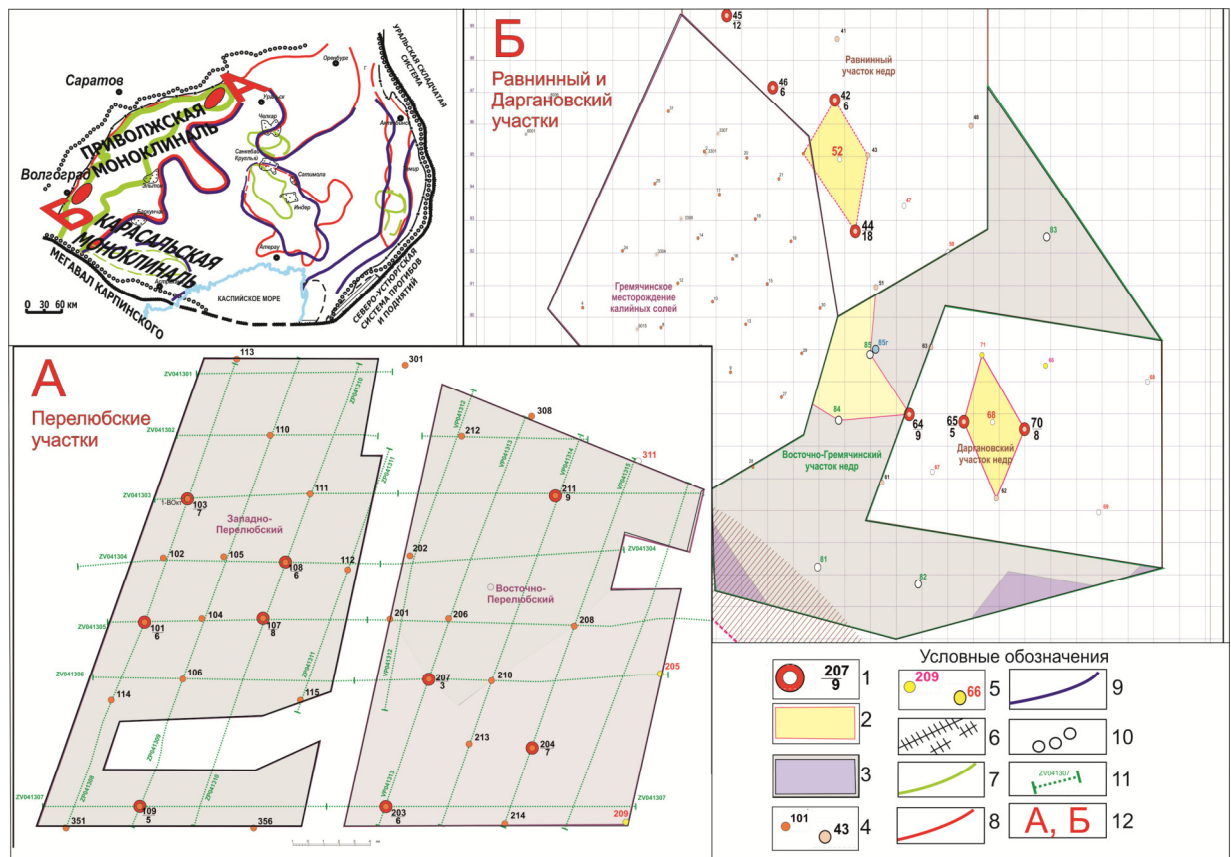


Рисунок 1. Карта-схема фактического материала: 1 – поисково-оценочные скважины, в которых проведено детальное текстурно-структурное и геохимическое опробование калийных отложений (числитель – номер скв., знаменатель количество отобранных образцов из сильвинитовой части разреза); 2 – граница запасов по категории C_1 , 3 – граница запасов по категории C_2 на Перелюбских участках, граница ресурсов по категории Р на Гремячинском месторождении; 4 – пробуренные скважины; 5 – проектные скважины; 6 (на схеме Прикаспия) – глубинные нарушения, разделяющие границы распространения солей, 7 – контуры зон бишофитсодержащих пород; 8 – контуры зон карналлитсодержащих пород; 9 – контуры зон сильвинсодержащих пород; 10 – районы без соляных отложений; 11 – сейсмические профили на Перелюбских участках; 12 – местоположение Перелюбских участков (А) и Гремячинского месторождения (Равнинный и Даргановский участки) (Б) на схеме Прикаспийского солеродного бассейна.

Изучение аншлифов и шлифов проведено с интервалом до 0,5 м из перспективных на калийное сырье разрезов Перелюбского участка (Западного и Восточного, 183 сканированных фотографий аншлифов и 253 микрофотографий шлифов по керну из 10 скважин), Гремячинского месторождения (118 сканированных фотографий аншлифов и 124 микрофотографий шлифов по керну из 7 скважин).

Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на ежегодных конференциях молодых ученых «Геологи 21 века» (СГУ, Саратов, 2016-2021), «Геологические науки» (СГУ, Саратов, 2018-2020); на Международном молодёжном научном форуме «Ломоносов» (МГУ, Москва, 2016, 2017, 2021); на Всероссийской конференции молодых ученых «Presenting Academic Achievements to the World» (СГУ, Саратов, 2016); на Всероссийском конкурсе среди студентов и аспирантов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Шаг в науку» – II тур (ТПУ, Томск, 2017); на Всероссийской школе студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии (УГГУ, Екатеринбург, 2016, 2018, 2020); на совещании с международным участием Golovkinsky Stratigraphic Meeting (КФУ, Казань, 2017), на Всероссийском литологическом совещании (КФУ, Казань, 2019), на научных чтениях «Экзолит-2021» (МГУ, Москва, 2021).

Основные положения диссертационной работы изложены в 17 научных работах, из них 3 работы – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для защиты диссертаций, 1 – проиндексирована в Web of Science.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем работы составляет 231 страница, включает 125 рисунков и 22 таблицы. Список литературы состоит из 119 источников, из них 6 – иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены актуальность работы, цель и задачи исследования, научная новизна работы, её практическая значимость, основные защищаемые положения, представлены фактический материал, методы исследований, апробация работы и указан личный вклад автора.

Глава 1. Геологическое строение нижнепермских соленосных отложений западного и северо-западного прибортового обрамления Прикаспийской впадины

Геологическое строение отдельных участков территории Прикаспийской впадины рассмотрено в монографиях П.Я. Аврова, А.Г. Космачевой (1963), Т.Н. Джумангалиева и др. (1970), А.К. Замаренова (1970), И.Б. Дальяна, А.С. Посадской (1972), В.С. Деревягина и др. (1981), С.А. Свидзинского и др. (2011).

Приведем стратиграфическое соотношение и краткое литологическое описание соленосных отложений ритмопачек. В соответствии с предложениями Ю.А. Писаренко [Goncharenko et al., 2018] по стратификации данных образований выделяются следующие ритмопачки.

Волгоградская ритмопачка (e_2) представлена каменной солью, прозрачной с прослоями ангидрита. Мощность отложений ритмопачки до 120 м.

Балыклейская ритмопачка (f_1) имеет двучленное строение, на основании чего в ее составе, выделяются, две подсвиты. Нижняя подсвита обычно в основании представлена 5–10 м пластом ангидрит-полигалитового состава (репер f_{1l}), переходящего вверх в галит-полигалитовый (репер f_{1p}) – верхняя подсвита. Мощность отложений ритмопачки достигает 10–12 м.

Луговская ритмопачка (g_1) имеет двучленное строение, нижний пласт представлен частым чередованием 1–3 мм прослоев глинистого доломита и ангидрита. Верхний пласт сложен мелкозернистым светлым ангидритом. Встречаются прослои маломощных калийных солей. Мощность отложений ритмопачки меняется от 120 до 250 м.

Погожская ритмопачка (h) в основании представлена доломит-ангидритовыми отложениями, перекрывается каменной солью. Репер (h^1_1) представлен каменной солью с повышенным содержанием ангидрита, иногда полигалита. На территории Краснокутского участка разрез заканчивается мощным (до 60 м), практически мономинеральным пластом бишофита, и имеет карналлит-сильвинитовую оторочку (репер h_2). В разрезах Перелюбских участков бишофит в составе репера отсутствует, и он представлен карналлит-сильвинитовой, иногда сильвинитовой породой. Мощность ритмопачки в ближнем обрамлении Прикаспийской впадины изменяется от 60 до 140 м. По мере удаления от впадины выделяется иной тип разреза, отличающийся повышенным присутствием сульфатов.

Антиповская ритмопачка (i) начинается 3–7 м пластом ангидрит-доломитового состава. Встречается каменная соль. По керновому материалу отмечается увеличение содержания сульфатов в каменной соли по сравнению с выше описанными ритмопачками. В составе свиты выделяются два карналлит-сильвинитовых пласта мощностью до 10–20 м (i_2) и мощностью до 5 м, редко до 5–10 м (i_3). Мощность ритмопачки изменяется от 80 до 170 м.

Пигаревская ритмопачка (k) представлена чередованием ангидритовой, гипсовой и доломитовой пород и каменной соли. В средней части ритмопачки

иногда появляется пласт ангидрита мощностью до 10–15 м. Заканчивается свита маломощным (3–7 м) пластом карналлит-сильвинит-полигалитовой породы (k_2). Мощность свиты изменяется от 50 до 120 м.

Долинная (l), ерусланская (m) и озерская (n) ритмопачки характеризуются сходным строением. В основании каждой из них залегает ангидритовый пласт (l_1 , m_1 , n_1) мощностью 7–10 м, сменяемый каменной солью.

Глава 2. Методические приёмы исследований

Анализ литературных данных по строению калиеносных солей Эльтонского, Верхнекамского, Верхнепечорского, Старобинского, Петриковского, Стерлибашевского, Челкарского, Жилинского, Карлюковского и других прикаспийских, среднеазиатских и зарубежных калийных месторождений свидетельствует, что различными исследователями были описаны (в основном по характеру и распределению окраски) многообразные типы (разновидности) сильвинитов: красные, пестрые, неяснослоистые, полосчатые, брекчиевидные, белые, розовые и т. д.

При таком подходе текстурно-структурное описание сильвинитов проводилось либо на поздних этапах обработки материала, либо отсутствовало совсем. Связано это, в первую очередь, с тем, что в подсчетных параметрах кондиций для калийных солей не фигурирует нерастворимый остаток солей (Н.О.), определяющий закономерности текстурно-структурного строения отложений.

По текстурным отличиям, по существу, большим количеством исследователей выделено две разновидности сильвинитов: слоистые и массивные. Эти же разновидности приведены в «Атласе структур и текстур галогенных пород СССР» Я. Я. Яржемского с соавторами [1974] для сильвинитовых пород Верхнекамского месторождения, Припятской впадины и ряда других месторождений. Последним обобщением текстурно-структурных особенностей галогенных пород является работа Г.А. Московского с соавторами [2014]: «Текстурно-структурные особенности и условия образования калийных, калийно-магниевых и магниевых солей». Данная работа основана, главным образом, на текстурно-структурной характеристике галогенных пород Гремячинского месторождения калийных солей. В указанной работе не приведена систематизация текстур и структур по генетическому принципу. Выделение текстур приводится, в большей степени, по петрографическим признакам, без применения стадийного подхода. Выделены и классифицированы типы сильвинитов с набором текстур. На наш взгляд необходимо выделять и классифицировать исключительно типы текстур и структур, описанные в

сильвинитах, а не основные типы сильвинитов с набором текстур (например, сильвинит массивный, слоистый и т.д.), что позволяет, по нашему мнению, установить обстановки их формирования.

В изученных нами сильвинитах часто на небольшом протяжении (как по разрезу, так и по латерали) текстуры и структуры меняются существенно. Резкие изменения текстурно-структурных характеристик вообще характерны для галогенных пород. Это является, по всей видимости, следствием способности к перекристаллизации легкорастворимых минералов. Пестрота текстурно-структурного облика галогенных пород снижается в направлении начальных стадий галогенеза и растёт по мере возрастания роли наиболее растворимых минералов (карналлита, бишофита) [Московский и др., 2008].

Была использована следующая последовательность обработки материала. Описательная часть исследований включала: фотографирование, анализ сканированных аншлифов, анализ сканированных крупноразмерных шлифов, определение структурных взаимоотношений минералов в шлифах. Это позволяло определить текстуру, микротекстуру сильвинитов, структуру сильвина и галита из сильвин-галитовой ассоциации в шлифах. Интерпретационная часть исследований включала: выделение литогенетических текстурных разностей пород, выявление условий их формирования.

Для установления особенностей формирования калийных отложений, нами использовано геохимическое (определение брома, хлора и значений бром-хлорного коэффициента ($\text{Br} \cdot 10^3 / \text{Cl}$) в монофракциях сильвина) и текстурно-структурное опробование иренских калиеносных интервалов Западно- и Восточно-Перелюбских участков (инт.: 687,45–715,95 м, погожская ритмопачка) и Гремячинского месторождения (инт.: 1052,7–1274,1 м, луговская, погожская, долинная ритмопачки).

Глава 3. Тектурно-структурные особенности сильвинитов и сильвин-галитовых пород западного и северо-западного обрамления Прикаспийской впадины

На основании текстурно-структурного анализа сильвинитов из указанных разрезов, нами выделено 6 генетических типов текстур сильвинитов.

Массивная (1-й тип) выделяется в пределах отдельных слоев, характерна для сильвинитов крупнокристаллических с гипидиоморфнозернистой, реже с гранобластовой структурой.

Слоистая (2-й тип) характерна для мелко-, среднекристаллических сильвинитов с высоким содержанием рассеянной пелит-ангидритовой примеси, образующей отдельные линзы.

Ритмичнослоистая (3-й тип) отличается от слоистой текстуры повторением пелит-ангидритовых слоев, создающих ритмичность в породе. Отражает моменты перехода от доминирования чисто галогенной седиментации к седиментации с существенной ролью терригенного материала, и наоборот.

Слоистая реликтовая (4-й тип) характерна для мелко-, среднекристаллических сильвинитов. В породе наблюдаются сгустки ангидрита, густо пропитанные гидроокислами железа, границы которых определяются развитием зёрен молочно-белого апокарналлитового сильвина (образованного в результате разложения карналлита). Строение ангидритовых слоёв указывает на высокую активность рапы вблизи береговой полосы.

Ритмичнослоистая реликтовая (5-й тип) присуща мелкокристаллическим сильвинитам, с линзами и слойками галита. В породе сургучно-красный апокарналлитовый сильвин интенсивно корродирован на контактах с линзами пелита. Повторение в образце слойков ангидрита через определенный интервал образует ритмичную слоистость. В крупных сгустках ангидрита встречаются, иногда, частично растворенные, а затем окатанные кристаллы галита с каёмками гидроокислов железа. Свидетельствует о постседиментационном преобразовании первичных сильвинитов ритмичнослоистой текстуры.

Брекчиевидная, пятнистая, сетчатая (6-й тип) встречается в интервалах разреза, обогащенных пелит-ангидритовым материалом, характеризуется округленными зернами галита и сильвина, погруженными в глинистую массу породы.

Пример выделенных текстур в сильвинитах показан на Рисунке 2.

Структура сильвинитовых пород это, прежде всего, степень идиоморфизма кристаллов сильвина и галита, определяемая закономерностями их кристаллизации и дорастания в процессе диагенеза, а также наличием или отсутствием зональных структур роста, признаков замещения карналлита сильвином, характером распределения включений в теле минералов, взаимоотношением кристаллов сильвина и галита с пелит-ангидритовым материалом [Московский и др., 2014].

В изученных разрезах установлено 12 генетических типов структур сильвина: первичные (седиментогенные) – ксеноморфно-зернистая, гипидиоморфно-зернистая, реликтовая, зональная, и вторичные (диагенетические и постдиагенетические) – каркасная (очковая), коррозионная, инкорпорационная, конформная, гранобластовая, пойкилитовая, мостовидная, регенерационная.

Предложена классификация типов структур сильвина (Рисунок 3).

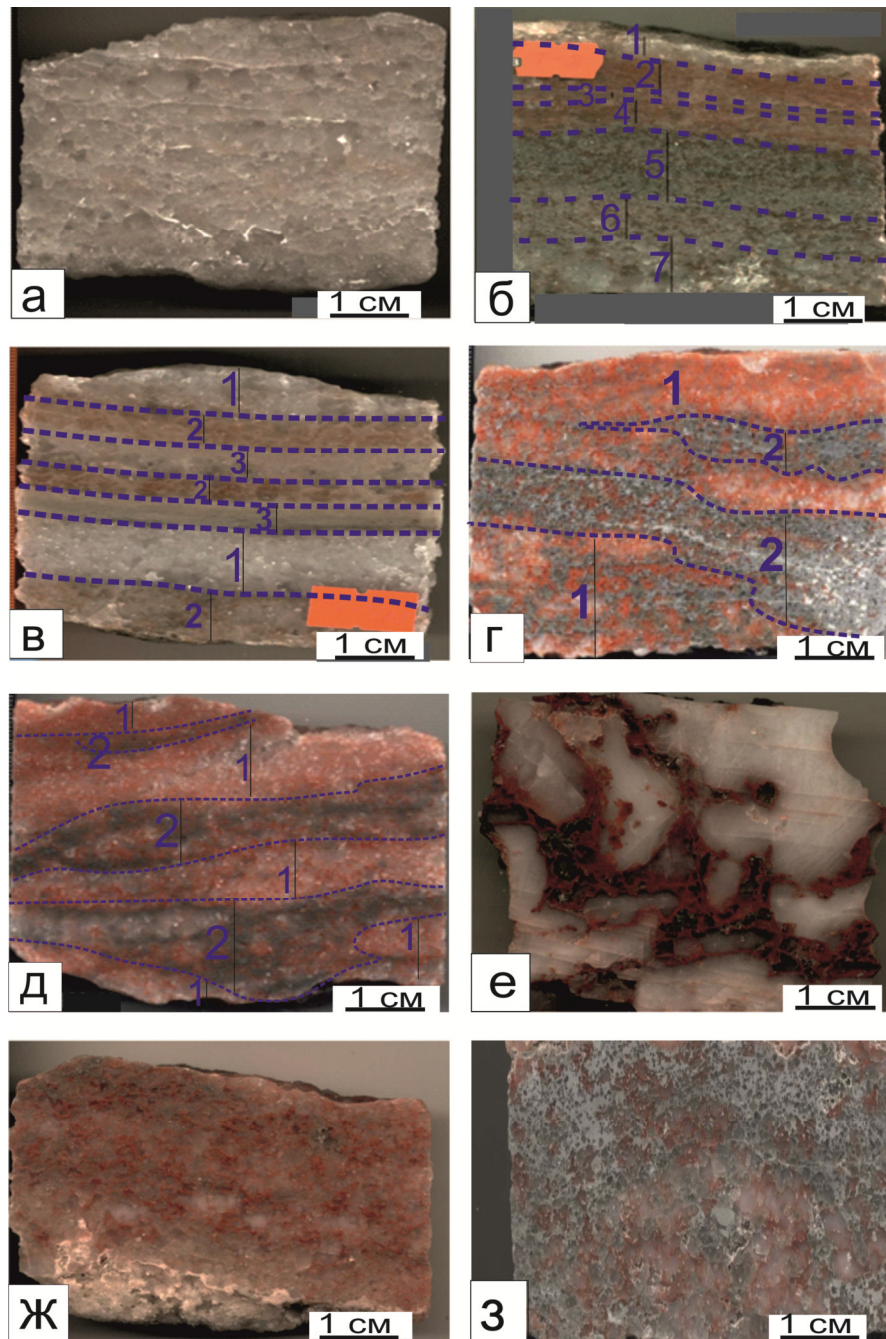


Рисунок 2 Пример текстур сильвинитов в сканированных аншлифах:

а – массивная текстура (1-й тип), Перелюбский участок, скв. 107, гл. 813,35 м; б – слоистая текстура (2-й тип), Гремячинское месторождение, скв. 17-3, гл. 1182,74 м; в – ритмично-слоистая текстура (3-й тип), Гремячинское месторождение, скв. 28-2, гл. 1102 м; г – слоистая реликтовая текстура (4-й тип), Перелюбский участок, скв. 101, гл. 689,08 м; д – ритмично-слоистая реликтовая текстура (5-й тип), Перелюбский участок, скв. 108, гл. 797,7; е – брекчиевидная текстура (6-й тип), Равнинный участок, скв. 48, гл. 1176,4 м; ж – пятнистая текстура (6-й тип), Перелюбский участок, скв. 204, гл. 1041,14 м; з – сетчатая текстура (6-й тип), Перелюбский участок, скв. 204, гл. 1040,37 м.

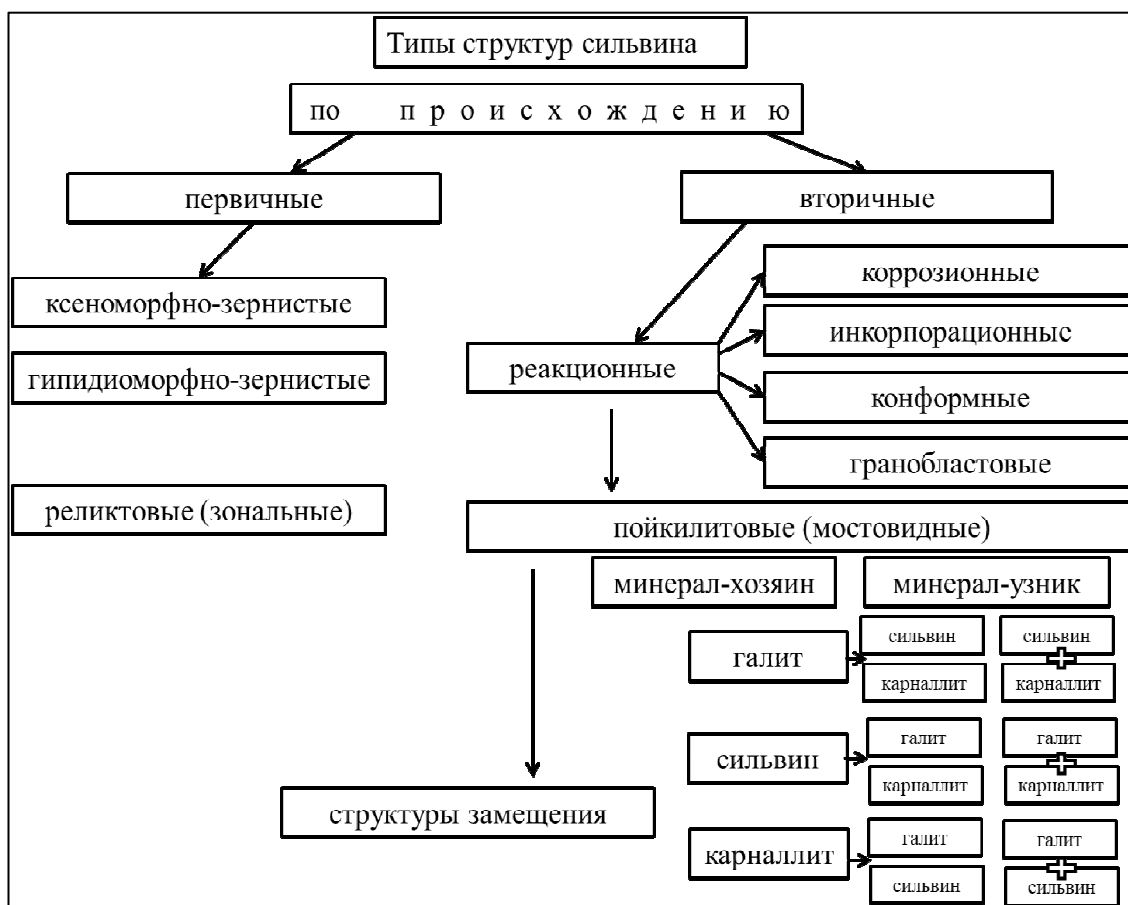


Рисунок 3 Типы структур сильвина в изученных породах

Первичные структуры сильвина показаны на Рисунке 4.

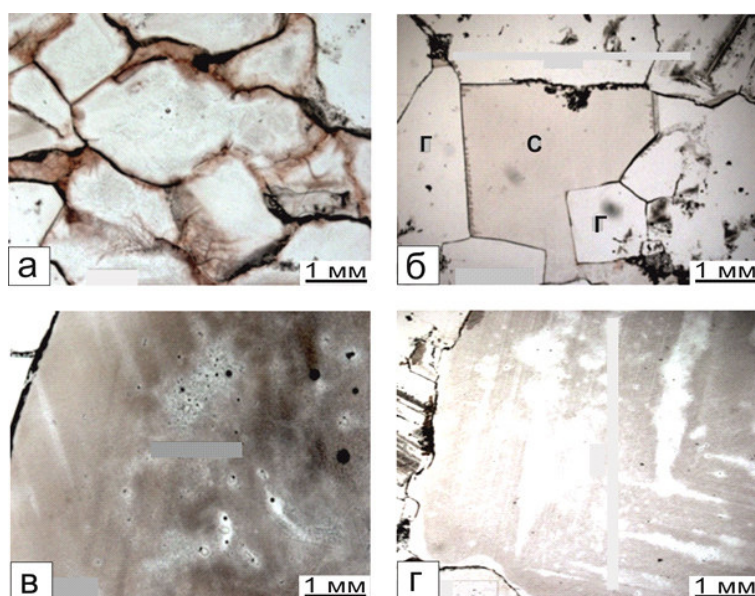


Рисунок 4 Первичные структуры сильвина в шлифах: а – ксеноморфоно-зернистая структура сильвина. Западно-Перелюбский участок, скв. 108, обр. 3, глубина отбора 797,7 м; б – гипидиоморфно-зернистая структура сильвина. Западно-

Перелюбский участок, скв. 103, обр. 5, глубина отбора 696,18 м, в – реликтовая структура сильвина. Западно-Перелюбский участок, скв. 101, обр. 4, глубина отбора 569,08 м; г – зональная структура сильвина. Восточно-Перелюбский участок, скв. 204, обр. 7, глубина отбора 1035,69 м.

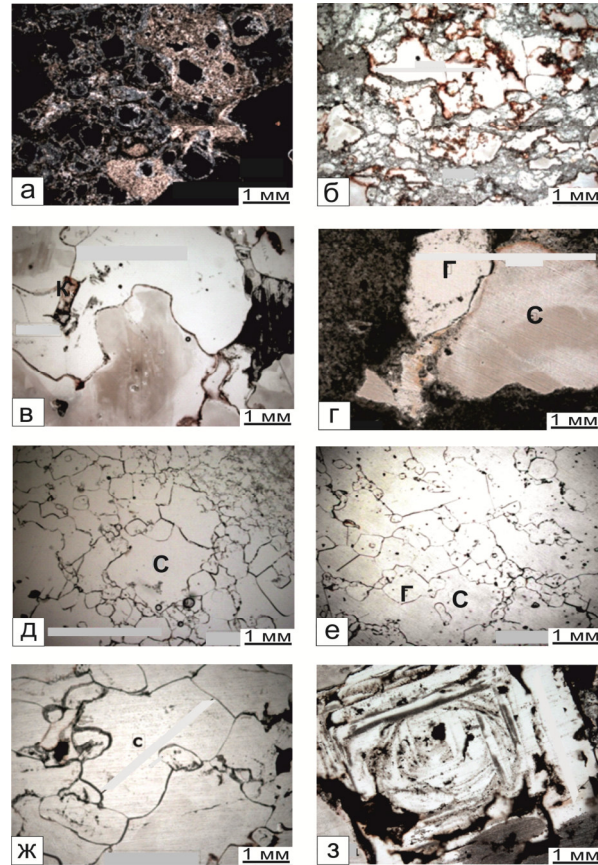


Рисунок 5 Вторичные структуры сильвина и галита в шлифах: а – каркасная (очковая) структура сильвина. Восточно-Перелюбский участок, скв. 203, обр. 8, глубина отбора 1018,11 м, б – коррозионная структура сильвина. Восточно-Перелюбский участок, скв. 203, обр. 9, глубина отбора 1018,17 м; в – инкорпорационная структура сильвина. Западно-Перелюбский участок, скв. 109, обр. 13, глубина отбора 770,68 м; г – конформная структура сильвина. Западно-Перелюбский участок, скв. 103, обр. 4, глубина отбора 695,74 м; д – гранобластовая структура сильвина. Даргановский участок, Гремячинское месторождение, скв. 63, обр. 14, глубина отбора 1270 м; е – пойкилитовая структура сильвина. Равнинный участок, Гремячинское месторождение, скв. 43, обр. 26, глубина отбора 1120,3 м; ж – мостовидная структура сильвина. Равнинный участок, скв. 46, обр. 18, глубина отбора 1021,3 м; з – лодочковая структура галита со следами регенерации. Восточно-Перелюбский участок, скв. 204, обр. 11, глубина отбора 1040,37 м.

Таким образом, наличие целой гаммы промежуточных, переходных текстур в изученных сильвинитах, обладающих светлой окраской свидетельствуют о первично-седиментогенном их происхождении. Наличие реликтовых слоистых и ритмичнослоистых, пятнистых, сетчатых и брекчиевидных текстур в сильвинитах с преобладающей ксеноморнозернистой формой зерен сильвина и встречающиеся псевдоморфозы сильвина по карналлиту свидетельствуют о вторичном, постседиментационном происхождении значительной части этих пород из карналлитовых осадков. Полученные выводы в данной главе доказывают первое защищаемое положение.

Глава 4. Модель формирования калийных отложений западного и северо-западного прибортового обрамления Прикаспийской впадины

Цикличность галогенного процесса определяет модель, по которой происходило формирование калийных отложений. Цикличность выражается в повторении в разрезе элементов последовательного ряда минеральных парагенетических ассоциаций или минеральных зон (ритмов), образующихся в процессе сгущения морской воды при ее солнечном испарении [Горбов, 1971, Корневский, 1978]. Иными словами «цикл» – характеризует особенности протекания галогенного процесса, а «ритм» является результатом этого процесса. Существуют различные подходы к иерархии циклов, нами принята следующая иерархия.

Циклы первого порядка являются циклами высшего порядка, и отражают основные этапы галогенной седиментации в регионе. Для Прикаспийского региона, солеродная толща, залегающая над карбонатно-сульфатной – это цикл первого порядка.

Циклы второго порядка при подходе к стратификации галогенных толщ по Ю.А. Писаренко [Goncharenko et al., 2018] соответствуют ритмопачкам (свитам), в которых отражается общая закономерность в последовательности кристаллизации солей. Циклы второго порядка, соответствующие нормальной последовательности кристаллизации солей, могут нарушаться за счет постседиментационных процессов, метаморфизации и распреснения рапы, явления высаливания хлорида натрия и калия в рапе. Распреснение (опреснение) рапы происходит в результате поступления в бассейн рассолов меньшей концентрации ионов, например за счет растворения каменной соли, агрессивных по отношению к карналлитам. В результате происходит сильвинитизация карналлита. Высаливание – это способность вытеснять «конкурентов», исходя из их кристаллохимических свойств, т.е. ионы, имеющие меньшее значение кристаллографического радиуса осаждают ионы большего радиуса. Процессы

высаливания на заключительных стадиях галогенеза происходят не только для хлорида натрия, но также и хлорида калия [Московский и др., 2016].

Циклы третьего порядка выражаются в чередовании наборов пород в пределах минеральных зон, а в гидрохимии – в периодических изменениях степени концентрации или метаморфизации рапы на фоне ее направленного изменения.

Нами принято следующее: циклы третьего порядка, внутри погожской ритмопачки, соответствуют галитовому, бишофитовому, карналлитовому и сильвинитовому пластам, а также пластам, установленным внутри калиеносной части разреза (сильвинитовой и карналлитовой), и выделены на Перелюбских участках и Гремячинском месторождении.

Сильвиниты погожской ритмопачки в пределах Перелюбских участков формировались в инт.: 687,45–715,95 м в стадию седиментогенеза (характеризуются текстурами 1 и 2 типов, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl} = 2,86\text{--}3,13$) и в инт.: 690,41–715,95 м в стадию диагенеза за счет разложения карналлитов или в результате процессов переотложения ранее образованных калийных отложений (характеризуются текстурами 4, 5 и 6 типов, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl} = 4,31\text{--}4,54$). *Сильвиниты долинной ритмопачки на Гремячинском месторождении* формировались в инт.: 1052,7–1063,6 м в стадию седиментогенеза или раннего диагенеза, о чем свидетельствуют окисло-глинистые каемки вокруг частично растворенных зерен сильвина (текстура 1 и 2 типа, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl} = 0,83\text{--}2,10$). *Сильвиниты погожской ритмопачки на Гремячинском месторождении* формировались в инт.: 1269,5–1309,9 м в пределах Равнинного участка в стадию седиментогенеза (текстура 1 типа, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl} = 3,37\text{--}3,67$), в инт.: 1220–1225,65 в пределах Даргановского участка в стадию раннего диагенеза (текстура 4, реже 1 типа, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl} = 4,15\text{--}4,25$). *Сильвиниты луговской ритмопачки на Гремячинском месторождении* формировались в инт.: 1253,9–1274,1 м в пределах Даргановского участка в стадию диагенеза за счет разложения карналлитов (текстура 4, 5 и 6 типов, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl} = 5,55\text{--}8,40$).

Значения бром-хлорного коэффициента в монофракциях сильвина нанесены на генетические диаграммы (Рисунок 6).

Таким образом, для обоснования формирования сильвина в изученных разрезах происходило по следующим моделям (таблица 1):

а) *термофильной модели при наличии термоклина и галоклина на ранней стадии диагенеза* в процессе раскристаллизации порового раствора в галитовой матрице, формирующейся за счёт поверхностной садки;

б) *модели инконгруэнтного разложения карналлита* в результате поступления в акваторию бассейна растворов меньшей концентрации, что

подтверждается по наличию реликтов карналлита в сильвине и значениями бром-хлорного коэффициента;

в) модели высаливания из рапы карналлитовой стадии сгущения. При поступлении растворов меньшей концентрации в акваторию бассейна и воздействии их на верхнюю часть отложений карналлитовой толщи, происходила сильвинитизация карналлита, при этом степень сгущения растворов не снижалась ниже стадии кристаллизации сильвина, и, как следствие, приводило к высаливанию сильвина.

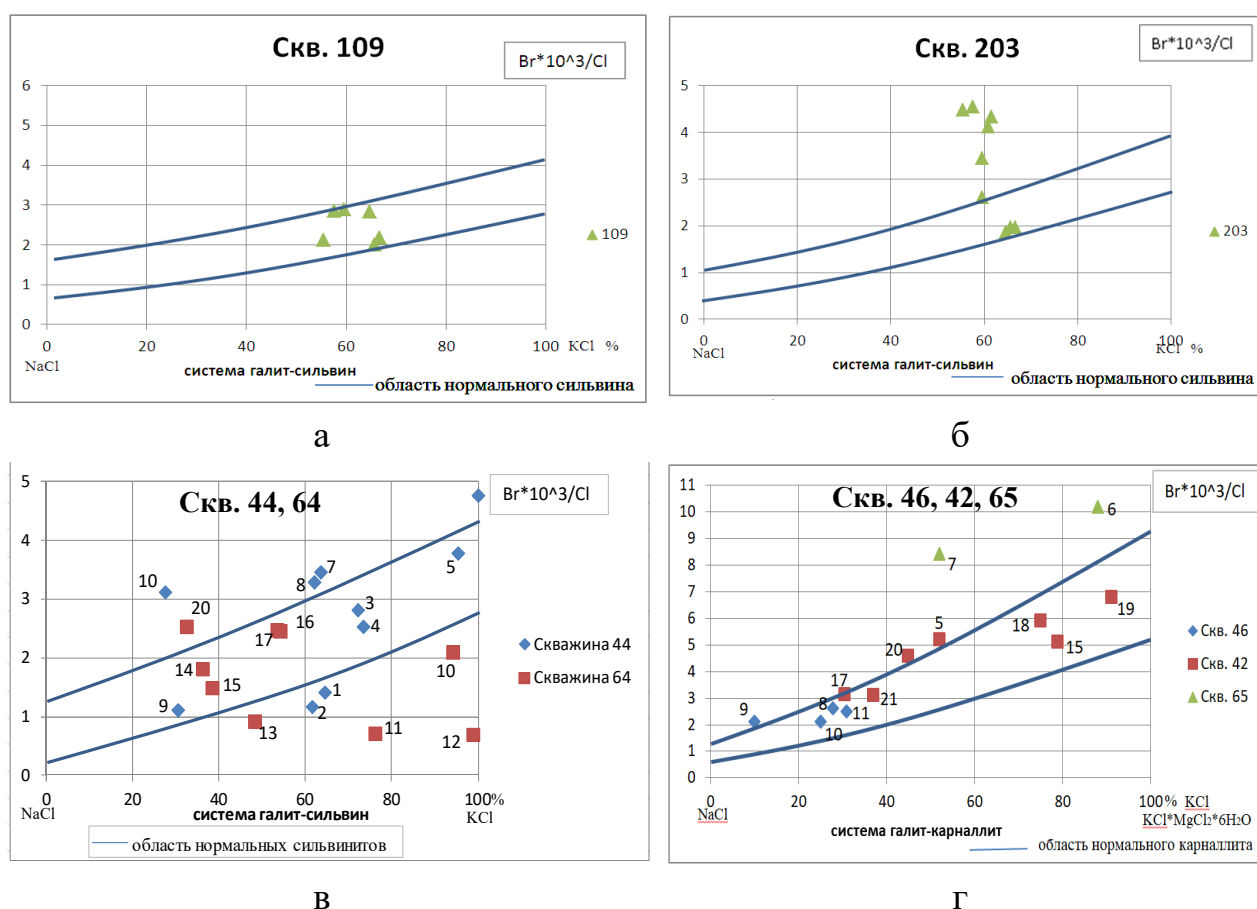


Рисунок 6 – Значения бром-хлорного коэффициента в монофракциях сильвина на диаграммах NaCl-KCl на шкале нормальных величин бром-хлорного отношения на сильвинитовой стадии (а–в); на диаграмме NaCl-KCl·MgCl₂·6H₂O на шкале нормальных величин бром-хлорного отношения на карналлитовой стадии (г); а, б: Перелюбские участки, погожская ритмопачка; в, г: Гремячинское месторождение, долинная, погожская и луговская ритмопачки.

Таблица 1 – Тектурно-структурные особенности калийных отложений и их геохимические характеристики

Участок	Ритмо-пачка	Номер цикла	Диапазон глубин циклов, м	Текстура сильвинитов и сильвин-галитовых пород	Структура сильвина в шлифах	Bt*10 ³ / Cl в сильвине	Стадия калийного литогенеза
Перелюбские (Западный и Восточный)	погожская	1	687,45– 689,08	массивная (1-й тип)	разнозернистые, зональные ксеноморфно-зернистые, гипидиоморфно-зернистые, реликтовые (зональные)	2,84- 2,86	Седиментогенеза
		2	690,41– 698,58	слоистая реликтовая (4-й тип), брекчиевидная (6-й тип)	реакционные (коррозионные, инкорпорационные, структуры замещения)	2,87- 2,89	диагенеза (сильвин – продукт разложения карналлита)
		3	700,90– 715,95	слоистая реликтовая (4-й тип), ритмично-слоистая реликтовая (5-й тип), брекчиевидная (6-й тип)	конформные, инкорпорационные, коррозионные, пойкилитовые, каркасные (очковые)	3,12- 3,13	постдиагенетическая (вторичного минералообразования) : процессы переотложения ранее образованных калийных пород
Равнинный участок, Гремячинское месторождение	погожская	2	1269,5– 1309,9	массивная (1-й тип)	разнозернистые, реликтовые (зональные)	3,37- 3,67	седиментогенеза
Даргановский участок, Гремячинское месторождение	луговская	3	1309,9– 1350,0	слоистая реликтовая (4-й тип), ритмично-слоистая реликтовая (5-й тип), брекчиевидная (6-й тип)	реакционные, инкорпорационные	5,55- 8,40	диагенеза (сильвин – продукт разложения карналлита)
	долинная	1	1052,7– 1063,6	массивная (1-й тип), слоистая (2-й тип)	разнозернистые, реликтовые (зональные)	0,83- 2,10	седиментогенеза, раннего диагенеза
	погожская	2	1220,0– 1225,65	слоистая (2-й тип), слоистая реликтовая (4-й тип)	разнозернистые, реакционные, инкорпорационные	4,15- 4,25	седиментогенеза, раннего диагенеза
Даргановский участок, Гремячинское месторождение	луговская	3	1253,9– 1274,1	слоистая реликтовая (4-й тип), ритмично-слоистая реликтовая (5-й тип), брекчиевидная (6-й тип)	реакционные, инкорпорационные	5,55- 8,40	диагенеза (сильвин – продукт разложения карналлита)

Глава 5. Основные направления поисково-разведочных работ на калийные соли по результатам проведенных исследований

Перспективными для промышленного освоения и разработки на настоящее время остаются территории северо-западного прибортового обрамления Прикаспия.

Для установления наиболее качественных разностей сильвинитов с позиции максимального процентного содержания KCl и минимального содержания Н.О. в породе, нами проведен анализ распределения значений KCl и типа текстуры. Установлено, что максимальные значения KCl % – 35-57 соотносятся с 1-м, 2-м и 4-м текстурным типом сильвинитов.

Минимальные значения KCl % – 12-32, тяготеют к 5-ому и 6-ому текстурному типу сильвинитов.

На основании этого, предлагается выделять следующие разности сильвинитовых пород по степени качества.

1. Качественные разности с текстурой 1-го типа, с содержанием Н.О. менее 5%, KCl 38% на Перелюбских участках и 57 % на Гремячинском месторождении.

2. Качественные разности, но в меньшей степени текстурой 2-го типа и 4-го типа, с содержанием Н.О. от 5% до 8%, KCl 35% на Перелюбских участках и 47 % на Гремячинском месторождении.

3. Менее качественные разности с текстурой 5-го и 6-го типа, с содержанием Н.О. от 8% до 20%, KCl 28% на Перелюбских участках и 45 % на Гремячинском месторождении.

На основании проведенных исследований, нами выделены перспективные зоны на сильвинит: I(c), II(c) и III(c), в пределах северо-западной части Прикаспия, где мощность всего сильвинитового пласта изменяется от 4 м до 7 м, а содержание KCl в качественных разностях (1) и качественных в меньшей степени (2) находится в пределах от 32,5% до 40%.

Предложено ранжирование северо-западного обрамления Прикаспийской впадины по приоритетности на сильвинит. Выделены наиболее перспективные участки (I(c), II(c) и III(c)) для разработки сильвинита (Рисунок 7).

Заключение

В результате комплексных литолого-геохимических исследований калийных отложений западной и северо-западной прибортовой зоны Прикаспийской впадины, нами выявлены текстурно-структурные особенности их строения, уточнена модель формирования отложений, учитывающая цикличность галогенного процесса, разработаны литологические критерии выделения

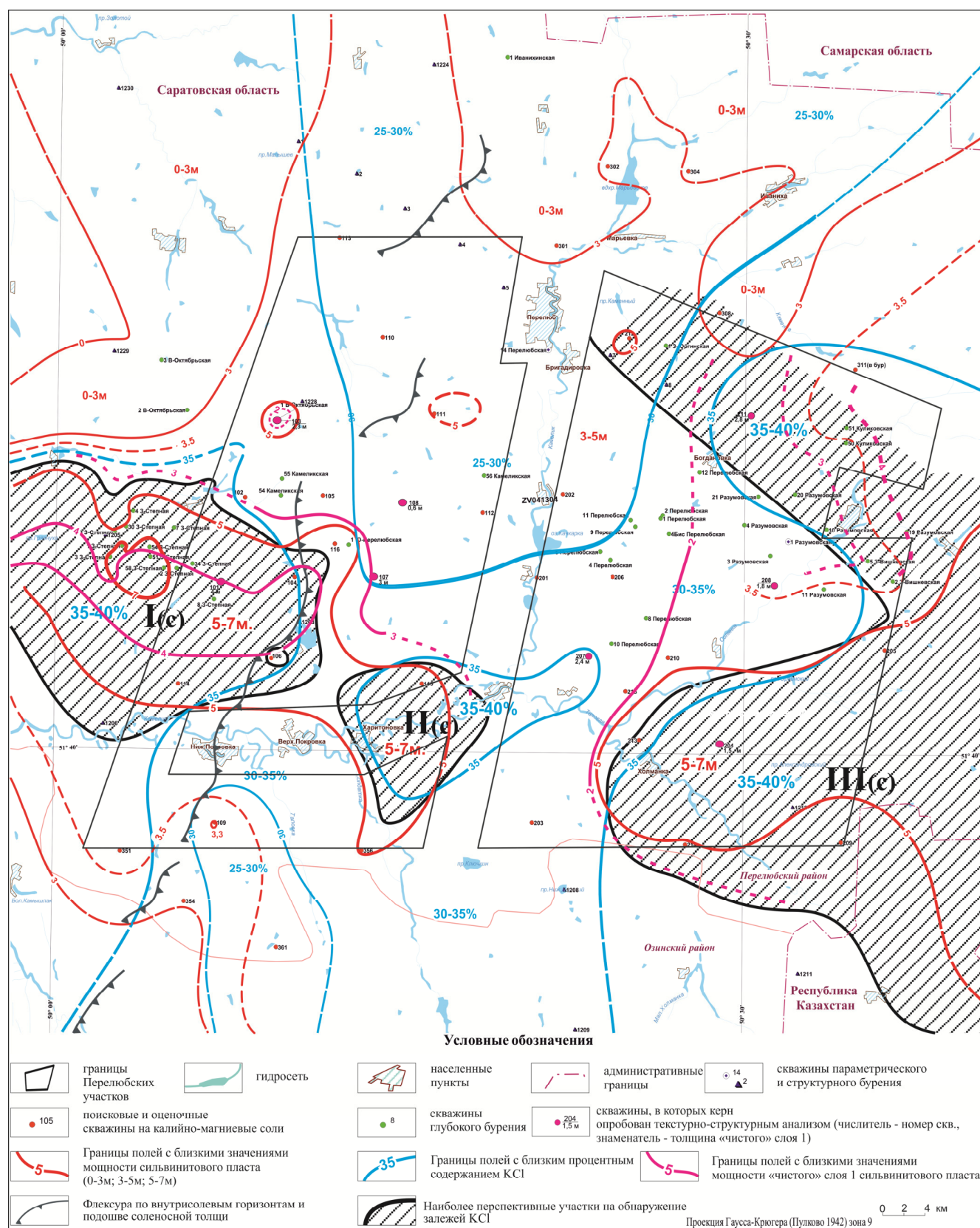


Рисунок 7 Приоритетные направления разведочных работ на сильвинит на территории северо-западной ботовой зоны Прикаспия

качественных разностей пород и предложены наиболее перспективные участки для разработки сильвинита.

Резюмируя полученные результаты в ходе проведенного исследования, можно сделать следующие выводы.

1. В изученных сильвинитах выделены *седиментационные* текстуры: массивная (1-й тип), слоистая (2-й тип) и ритмично-слоистая (3-й тип), отражающие особенности первичного осадконакопления, и *диагенетические, постдиагенетические*: слоистая реликтовая (4-й тип), ритмично-слоистая реликтовая (5-й тип), брекчиевидная, пятнистая, сетчатая (6-й тип), возникшие в результате постседиментационных изменений исходных пород.

Установлены: *седиментационные* структуры – ксеноморфно-зернистая, гипидиоморфно-зернистая, реликтовая (зональная), и *диагенетические, постдиагенетические* структуры – каркасная (очковая), коррозионная, инкорпорационная, конформная (гранобластовая), пойкилитовая, мостовидная, регенерационная.

2. *Сильвиниты погожской ритмопачки в пределах Перелюбских участков* формировались в диапазоне: 687,45–715,95 м в стадию седиментогенеза и в диапазоне: 690,41–715,95 м в стадию диагенеза за счет разложения карналлитов или в результате процессов переотложения ранее образованных калийных отложений. *Сильвиниты долинной ритмопачки на Гремячинском месторождении* формировались в диапазоне: 1052,7–1063,6 м в стадию седиментогенеза или раннего диагенеза. *Сильвиниты погожской ритмопачки на Гремячинском месторождении* формировались в диапазоне: 1269,5–1309,9 м в пределах Равнинного участка в стадию седиментогенеза, в диапазоне: 1220–1225,65 в пределах Даргановского участка в стадию раннего диагенеза. *Сильвиниты луговской ритмопачки на Гремячинском месторождении* формировались в диапазоне: 1253,9–1274,1 м в пределах Даргановского участка в стадию диагенеза за счет разложения карналлитов.

Формирование сильвина происходило по следующим моделям: а) термофильной модели при наличии термоклина и галоклина на ранней стадии диагенеза в процессе раскристаллизации порового раствора в галитовой матрице, формирующейся за счёт поверхностной садки; б) модели инконгруэнтного разложения карналлита в результате поступления в акваторию бассейна растворов меньшей концентрации ионов; в) модели высаливания из рапы карналлитовой стадии сгущения.

3. С позиции распределения Н.О. в породе, влияющего на тип текстуры, и максимального процентного содержания KCl в породе, разработана промышленная классификация сильвинитов. Выделено три типа промышленной категории сильвинитов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Соломон М.В.** Условия формирования и закономерности размещения боратов в пермском солеродном бассейне Прикаспийской впадины / М.В. Соломон, О.П. Гончаренко // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2017. - № 2. – С. 28-35.
2. Московский Г.А. Ритмичность строения продуктивной сильвинитовой залежи Гремячинского месторождения (юг приволжской моноклинали) / Г.А. Московский, О.П. Гончаренко, **М.В. Соломон** // Литология и полезные ископаемые. – 2018. - № 2. – С. 184-191.
3. **Соломон М.В.** Калийные и калийно-магниево-натриевые соли погожской ритмопачки западной части северного внешнего бортового обрамления Прикаспийской впадины: литологические особенности и условия формирования / М.В. Соломон, О.П. Гончаренко, Г.А. Московский // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2019. - № 1. – С. 51-59.
4. **Соломон М.В.** Генетическая интерпретация текстурно-структурного облика сильвинитовых пород Прикаспийской впадины / М.В. Соломон, О.П. Гончаренко // Литология и полезные ископаемые (в печати).

Публикация, проиндексированная в базе Web of Science

5. Goncharenko Olga. Refined Data on the Structure of the Kungurian Salt-Bearing Series and on Mineral Composition of Polyhalite Ores from the Sharlyk Field in the Orenburg Region / Goncharenko Olga, Pisarenko Yuri, **Solomon Maksim** // Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017. Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources. Kazan, Russian Federation. Filodiritto international proceedings, 2018. – PP.343-350.

Другие печатные издания

6. **Соломон М.В.** Особенности развития полигалитовой минерализации пермской соленосной формации в пределах Шарлыкской площади Оренбургской области // Мат.-лы научной конференции молодых ученых и специалистов ПАО «ВНИПИгаздобыча». Саратов, 2017. – С. 46–50.
7. **Соломон М.В.** Особенности состава и условий формирования сильвинитов погожской ритмопачки северного прибортового обрамления Прикаспийской впадины // Мат.-лы Международного научного форума «Ломоносов 2017», секция «Геология» [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2017.

8. **Соломон М.В.** Поиски месторождений полигалитов Прикаспийского региона, для производства сульфатных калийных удобрений, устанавливающих фонд резервных месторождений высоколиквидных полезных ископаемых // Мат.-лы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского [Электронный ресурс] – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. – 1 оптич. диск (DVD-ROM). С. 306-308.

9. Гончаренко О.П. Минеральный состав полигалитового горизонта Шарлыкского района Оренбургской области / О.П. Гончаренко, **М.В. Соломон**, Ю.А. Писаренко // Мат.-лы стратиграфического совещания им. Н.А. Головкинского. Казань, изд-во КФУ, 2017. – С. 69-71.

10. Гончаренко О.П. Морфоструктурные типы сильвинитов, сильвингалитовых пород Прикаспийской впадины / О.П. Гончаренко, Г.А. Московский, **М.В. Соломон**, Д.А. Шелепов // Экзолит – 2018. Москва, 14–15 мая 2018 г. Сборник научных материалов под ред. Ю. В. Ростовцевой. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – С.19-21.

11. **Соломон М.В.** Калийные и калийно-магниево-хлоридные соли хлоридного и сульфатного типа погожской ритмопачки северо-западной и северо-восточной части бортовой зоны Прикаспийской впадины / М.В. Соломон, О.-М.А. Радзиевская // Мат.-лы 3-й Всероссийской школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии: «Литология и я: от идеи до выводов». Екатеринбург, изд-во ИГГ УрО РАН, 2018. – С. 119-122.

12. **Соломон М.В.** Текстульно-структурные особенности сильвинитовых пород прибортовой зоны Прикаспийской впадины / М.В. Соломон, О.П. Гончаренко, Г.А. Московский // Мат.-лы IX Всероссийского литологического совещания (с международным участием). Казань, изд-во КФУ, 2019. – С. 444-445.

13. Московский Г.А. Модель пермского галогенеза Прикаспия: палеогеографический и физико-химический аспекты формирования солей / Г.А. Московский, О.П. Гончаренко, **М.В. Соломон**, Д.А. Шелепов, И.Л. Лашина // Мат.-лы научной межведомственной конференции (с международным участием) «Геологические науки – 2019». Саратов, изд-во «Техно-декор», 2019. – С. 52-54.

14. Гончаренко О.П. Условия формирования доломит-магнезит-ангидритовых пород из кровли продуктивного горизонта Гремячинского месторождения калийных солей / О.П. Гончаренко, Г.А. Московский, Д.А. Шелепов, **М.В. Соломон**, А.З. Байгузина // Мат.-лы научной межведомственной конференции (с международным участием) «Геологические науки – 2019». Саратов, изд-во «Техно-декор», 2019. – С. 48-49.

15. **Соломон М.В.** Текстульно-структурная характеристика сильвинитов погожской ритмопачки (западное прибортовое обрамление Прикаспия) / М.В. Соломон // Мат.-лы XX Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов

и молодых специалистов «Геологи 21 века». Саратов, изд.-во «Новый Проект», 2020. – С. 38-40.

16. **Соломон М.В.** Методика текстурно-структурного анализа калийных солей Прикаспийской впадины / М.В. Соломон // Мат.-лы 4-й Всероссийской школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии: «Методы, методы и снова методы в литологии». Екатеринбург, изд-во ИГГ УрО РАН, 2020. – С. 129-131.

17. **Соломон М.В.** Условия формирования калийных отложений западного и северо-западного прибортового обрамления Прикаспийской впадины / М.В. Соломон // Мат.-лы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2021» [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2021. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).

18. **Соломон М.В.** Калийный седиментогенез в пермском солеродном бассейне западного и северо-западного обрамления Прикаспийской впадины / М.В. Соломон // Мат.-лы XXI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Саратов, изд-во «Техно-Декор», 2021. – С. 40-41.

19. **Соломон М.В.** Калийный седиментогенез и постседиментационные преобразования в пермском солеродном бассейне западного и северо-западного обрамления Прикаспийской впадины / М.В. Соломон, О.П. Гончаренко // Экзолит – 2021. Актуальные проблемы литологии: задачи и решения. Годичное собрание (научные чтения). Москва, 25-26 мая 2021 г. – М.: "МАКС Пресс", 2021. – С. 58-60.