

**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



На правах рукописи

Черных Анатолий Витальевич

ГИДРОГЕОЛОГИЯ АНАБАРО-ХАТАНГСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.6 – гидрогеология

Томск – 2024

Работа выполнена в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН)

Научный руководитель:

Новиков Дмитрий Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, Институт нефтегазовой геологии и
геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
заведующий лабораторией гидрогеологии
осадочных бассейнов Сибири

Официальные оппоненты:

Харитонов娜 Наталья Алексеевна

доктор геолого-минералогических наук,
Московский государственный университет им.
М.В. Ломоносова, профессор кафедры
гидрогеологии

Алексеева Людмила Павловна

доктор геолого-минералогических наук, Институт
Земной коры СО РАН, ведущий научный
сотрудник лаборатории гидрогеологии

Защита состоится «23» декабря в 13:00 часов на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.25
Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу:
634028, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5 (корпус 20, ауд. 504).



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической
библиотеке Томского политехнического университета и на сайте
dis.tpu.ru при помощи QR-кода.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДС.ТПУ.25
доктор геолого-минералогических наук



Лепокурова Олеся Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования заключается в том, что Анабаро-Хатангское междуречье (АХМ) рассматривается в последние годы, как один из перспективных регионов для прироста ресурсной базы углеводородов в пределах арктических районов Восточной Сибири, в том числе шельфа моря Лаптевых. Интерес недропользователей к АХМ требует детального изучения гидрогеологических условий учитывая, что здесь поисковые работы осложнены рядом факторов, таких как: мощная криогенная толща с криопэгами, низкие температуры атмосферного воздуха большую часть года, отсутствие транспортной инфраструктуры и т.д. Гидрогеологическая изученность исследуемой территории крайне низка, а нефтегазопроявления выявлены по всему разрезу. Стоит отметить, что на исследуемой территории присутствует два типа вертикальной гидрогеохимической зональности, а подземные воды крайне разнообразны по химизму и степени их метаморфизации, вследствие чего остаются открытыми множество вопросов, от процессов формирования состава подземных вод до обоснования гидрогеологических критериев нефтегазоносности.

Объектом изучения являются подземные воды нефтегазоносных отложений АХМ. **Предметами** исследования являются химический состав подземных вод, гидродинамические условия, геотермический режим недр.

Целью работы является обоснование комплекса гидрогеологических критериев нефтегазоносности АХМ. **Научная задача** состояла в том, чтобы на основе полученных данных по проведенным гидрогеологическим исследованиям дать оценку перспектив нефтегазоносности исследуемой территории.

Основные задачи заключались в: анализе состояния изученности особенностей геологического строения (стратиграфии и литологии, тектоники и нефтегазоносности) на основе опубликованных и фондовых материалов; обработке имеющихся материалов результатов бурения с помощью программ CorelDraw 21.0, LASgLOG, Microsoft Office Excel; составлении электронной базы данных результатов испытаний скважин; уточнении гидрогеологической стратификации разреза; изучении структуры геотермического поля, выявлении характера вертикальной и латеральной геотермической зональности, и гидродинамического режима недр; анализе химического состава подземных вод (ионно-солевой и микрокомпонентный), выявлении закономерности распределения основных катионов и анионов, вертикальной гидрогеохимической зональности, основных генетических типов и степени метаморфизации подземных вод; выполнении палеогидрогеологических реконструкций, составлении принципиальной схемы периодизации гидрогеологической истории АХМ и выполнении палеогидрогеохимических реконструкций; выявлении гидрогеологических показателей перспектив нефтегазоносности и обосновании оптимального комплекса гидрогеохимических критериев и выполнении регионального прогноза перспектив нефтегазоносности АХМ.

Фактический материал и методы исследования. Основой для научных исследований послужили фондовые материалы научных и производственных организаций (НИИГА, ИНГГ СО РАН, СНИИГГиМС, ЗАО «Координационный центр «РОСГЕОФИЗИКА») и опубликованные материалы по АХМ и сопредельным территориям. Электронный банк данных представлен результатами испытаний по 120 объектам 15 поисковых площадей и включает в себя 5 замеров пластовых давлений,

данные термометрии по 14 скважинам и 122 точечных замера пластовых температур, 255 анализов полного химического состава подземных вод, 4 пробы водорастворенного газа и 3 пробы растворенного органического вещества. При составлении карт пластовых температур на основные стратиграфические уровни была принята методика, основы которой были заложены А.Э. Конторовичем, А.Р. Курчиковым, И.И. Нестеровым, Б.П. Ставицким в 60-е-70-е гг. прошлого столетия. На основе имеющихся материалов были рассчитаны геотермические параметры (геотермический градиент и ступень) геологического разреза. Для составления карт пластовых температур были использованы структурные построения по основным отражающим горизонтам палеозойских и мезозойских отложений, выполненные в ИНГГ СО РАН. Химические типы подземных вод выделены по классификации С.А. Щукарева, согласно которой название типа складывается из ведущих анионов и катионов, содержания которых больше 25 %-экв. Для сравнения геохимии и степени метаморфизации подземных вод было выбрано более 1900 анализов химического состава подземных вод по нефтегазоносным бассейнам Арктики и более 350 проб по себхам Ближнего Востока. Реконструкция гидрогеологической истории осадочного бассейна основывается на периодизации – выделении гидрогеологических циклов и этапов. При проведении палеогидрогеохимических реконструкций в основу были положены палеогеографические карты, составленные сотрудниками ИНГГ СО РАН, и методика, предложенная Е.А. Басковым (Карцев и др., 1969; Басков, 1983), некоторые аспекты которой были уточнены Я.В. Садыковой (Садыкова, 2010; Садыкова, 2016). Для гидрогеологических расчетов и моделирования в работе использована разработанная М.Б. Букаты программа равновесного физико-химического численного моделирования процессов в системе вода-порода HG-32 (HydroGeo) (Букаты, 2002). Основой для разработки оптимального комплекса гидрогеохимических критериев прогноза перспектив нефтегазоносности АХМ послужили многочисленные классификации А.А. Карцева, В.А. Кротовой, Е.В. Стадника, М.И. Субботы, В.А. Сулина и других (Кротова, 1957; Карцев, 1963; Зорькин и др., 1974; Суббота и др., 1996; Зытнер, Чибисова, 2013).

Научная новизна. В результате детального и комплексного анализа имеющегося геологического, гидрогеологического и геохимического материала по АХМ и прилегающих территорий: 1) уточнено гидрогеологическое строение разреза; 2) выполнено комплексное изучение химического состава (макро- и микрокомпонентного) подземных вод, геотермического и гидродинамического режимов недр нефтегазоносных отложений АХМ; 3) выявлен характер вертикальной геотермической зональности с последующим районированием территории; 4) составлен комплект геотермических карт; 5) установлен характер распространения толщи многолетнемерзлых пород и ее влияния на гидрогеологические условия АХМ; 6) установлено доминирование в разрезе двух генетических типов рассолов: инфильтрогенных и седиментогенных; 7) в результате численного физико-химического моделирования установлены величины общей минерализации и химический состав предельно насыщенных рассолов равновесных к соленосной толще девонского возраста при ее растворении в процессе инфильтрации поверхностными водотоками; 8) разработан оптимальный комплекс гидрогеологических показателей и выполнена региональная оценка перспектив нефтегазоносности; 9) составлена схема районирования вероятной нефтегазоносности АХМ по гидрогеологическим показателям.

Достоверность результатов работы, обобщенных в виде защищаемых положений и выводов диссертации определяется применением современных методов исследований, степенью проработки фактического материала и литературы по теме исследования, апробацией основных научных результатов на различных международных конференциях и публикациями в ряде в рецензируемых журналов.

Практическая значимость. Комплексный анализ подземных вод нефтегазоносных отложений АХМ позволил обосновать набор гидрогеологических критериев и выполнить региональный прогноз перспектив нефтегазоносности Анабаро-Хатангского междуречья и выделить категории земель по уровню перспективности. Данный комплекс гидрогеологических критериев прогноза нефтегазоносности может послужить для последующего анализа территорий Восточной Сибири слабо обеспеченных гидрогеологическими данными. Результаты, полученные при написании диссертации, использовались в отчетных материалах по базовым научным проектам ИНГГ СО РАН, ПАО «Газпром» и других недропользователей.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследований по теме диссертационной работы докладывались на 10 конференциях, 3 из которых международные (Новосибирск, 2012, 2017, 2018) и 7 всероссийских (Новосибирск, 2014, Москва, 2015, Томск, 2015, Пермь, 2017, Новосибирск, 2018, Владивосток, 2019). По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 6 в журналах из перечня ВАК (4 из них вышли в журналах Q2) (Геология и Геофизика; Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов; Отечественная геология; Известия высших учебных заведений. Нефть и газ).

Личный вклад автора. Автор при подготовке диссертационной работы лично провел анализ личных дел скважин, результатов испытаний, данных ГИС. На основе обработки каротажного материала уточнил гидрогеологическую стратификацию, на современной единой методической основе установил генетические типы подземных вод. Провел разбраковку материалов термометрии скважин, создал комплект картографического материала современных пластовых температур. Создал принципиальную схему периодизации гидрогеологической истории и комплект карт палеогидрогеохимических реконструкций. Провел термодинамические расчеты процессов в системе вода-порода НГ-32. Впервые обосновал комплекс гидрогеологических критериев и самостоятельно на основе их комплексной интерпретации выполнил региональный прогноз нефтегазоносности и выделил перспективные зоны нефтегазоаккумуляции.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем - 117 страниц, включая 40 рисунков, 4 таблицы и список литературы (159 наименований).

В главе 1 представлены данные о состоянии изученности территории, приведена характеристика фактического материала и описание методики исследований. Глава 2 содержит описание геологического строения, тектонико-структурных характеристик и нефтегазоносности изучаемого региона. В главе 3 описывается гидрогеологическое строение региона, особенности геотермического и гидродинамического режима недр. В главе 4 описываются геохимические особенности подземных вод исследуемого региона, приводятся палеогидрогеологические реконструкции, выполнено физико-химическое моделирование и установлен генезис подземных вод. В главе 5 установлен оптимальный комплекс гидрогеологических критериев перспектив нефтегазоносности и выполнено

районирование изучаемого региона по вероятности открытия новых залежей углеводородов.

Благодарности. Автор выражает особую признательность и благодарность научному руководителю Дмитрию Анатольевичу Новикову за требовательность, постоянное обсуждение результатов, замечания и объективную критику при написании работы, а также за приобретенные ценные навыки. Автор признателен директору ТФ ИНГГ СО РАН, д.г.-м.н. Лепокуровой Олеся Евгеньевне, старшему научному сотруднику лаборатории сейсмогеологического моделирования природных нефтегазовых систем ИНГГ СО РАН, д.г.-м.н. Филиппову Юрию Федоровичу и к.г.-м.н. Фоминой Яне Владиславовне за обсуждение, консультативную помощь, советы и ценные рекомендации. Автор благодарен коллективу лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири за поддержку и создание благоприятных условий для проведения научных исследований, и отдельно Максимовой А.А. за проведенную корректорскую работу. Большая сердечная благодарность Черных Наталье Алексеевне за моральную поддержку, помощь и доверие.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. *В нефтегазоносных отложениях Анабаро-Хатангского междуречья установлены подземные воды с величиной общей минерализации варьирующей от 0,1 до 312,3 г/дм³ преимущественно Cl Na, Cl Na-Ca и Cl-HCO₃ Na состава. В районе распространения солянокупольных структур развит инверсионный тип вертикальной гидрогеохимической зональности, а в зонах их отсутствия – прямой. Степень метаморфизации рассолов ниже, чем в подземных водах Сибирской платформы, генетические коэффициенты варьируют в следующих интервалах: Ca/Cl до 0,1, Br/Cl·10³ от 8 до 28, rNa/rCl от 0,6 до 1,1 и Cl/Br от 50 до 800.*

Изучаемый регион расположен в арктических районах восточной части Красноярского края и западной части республики Саха (Якутия) (Рисунок 1). Гидрогеологические работы на его территории начинаются еще в 20-х годах прошлого столетия, а в период с 1942 г. по 1980 г. были проведены исследования гидрогеологических условий, гидрогеохимии и криогенной толщи, результаты которых приведены в работах П.Д. Сиденко, М.К. Калинин, И.П. Зайцева, Е.А. Баскова, Г.Д. Гинсбурга и других (Калинко, Сиденко, 1955; Калинин 1959; Гинсбург, 1971; Анциферов, 1989). Геологоразведочными работами с середины XX века были открыты ряд мелких месторождений нефти и газа, таких как Нордвикское и Южно-Тигянское, снятых на данный момент с баланса, согласно Российскому Федеральному Геологическому Фонду. В настоящее время юг изучаемого региона слабо изучен бурением. В начале XXI века была подготовлена энергетическая стратегия России на период до 2020 г. и разработана долгосрочная Федеральная программа лицензирования недр Восточной Сибири. ОАО «ЮжМорГеология» в 2010-2014г. проводила сейсмические работы в Хатангском заливе. Эти работы позволили на новом современном уровне оценить геологическое строение палеозойских и мезозойских отложений.

В настоящее время, в связи с возросшим интересом к геологии Арктики и морей Северного Ледовитого океана интерес к этой проблеме резко возрос. Исследуемый район является одним из перспективных для прироста запасов нефти и газа в пределах

арктических районов Восточной Сибири, в том числе шельфа моря Лаптевых, где при бурении поисковой скважины Центральнo-Ольгинская № 1 июне 2017 года на шельфе Хатангского залива ПАО «Роснефть» открыто новое месторождение.

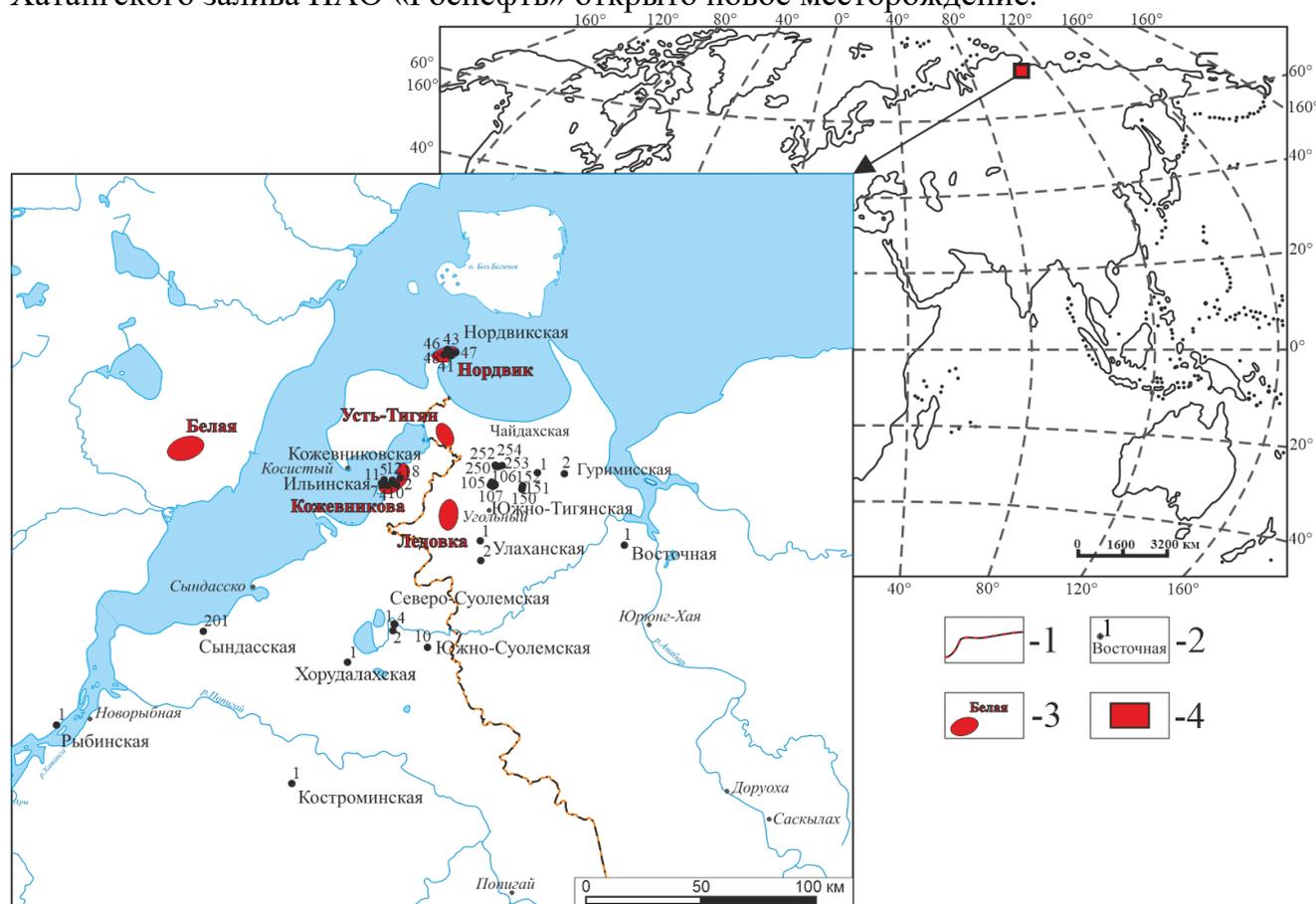


Рисунок 1 – Местоположение Анабаро-Хатангского междуречья.

1 – административные границы, 2 – скважины, 3 –местоположение основных солянокупольных структур, 4 – район исследования.

Изучаемый комплекс отложений в пределах территории исследования охватывает широкий стратиграфический диапазон – от докембрийских отложений, до верхнего мела включительно. Мощность осадочного чехла достигает 8 км, он сложен верхнепротерозойскими и ниже-среднепалеозойскими преимущественно карбонатными породами и верхнепалеозойско-мезозойскими терригенными породами (Пронкин и др., 2012). В разрезе установлены внутрисреднепалеозойское (в разрезе отсутствуют ордовикские и силурийские породы), предпермское (позднерцинская фаза складчатости) и позднеюрское (позднекиммерийская фаза складчатости) основные несогласия. В конце пермского–начале триасового периода произошла магматическая активизация, что привело к накоплению вулканогенно-обломочных отложений и насыщению палеозойского разреза интрузиями основного состава (Кусов, Ступакова, 2013). В пределах территории исследования формирование осадочного чехла происходило в тесной связи и под влиянием окружающих территорий. С позднего протерозоя исследуемый район входил в состав единого Северо-Азиатского кратона и представлял часть крупного седиментационного бассейна, в котором накапливались мощные толщи субплатформенного и платформенного облика. Значительное влияние оказали на него две смежные мобильные области: Таймырская на севере и Верхоянская

на востоке. В результате сложной и длительной истории геологического развития, на севере Сибирской платформы образовались крупные геоструктуры: Енисей-Хатангский региональный прогиб, Лено-Анабарский региональный прогиб и разделяющая их Анабаро-Хатангская седловина (Степаненко, 1985). Центральная часть территории характеризуется сложной дислоцированностью пород, проявлением солянокупольной и дизъюнктивной тектоники. Соляные купола выявлены на Нордвикской, Кожевниковской и других площадях (Рисунок 1) (Конторович и др., 2021). По геофизическим данным предполагается ряд поднятий с "погребенными" соляными куполами (Калинко, 1959). Складкообразовательные процессы, имевшие место в конце меловой эпохи, по-видимому, дали толчок для формирования соляных штоков, которые приводили к изменению структурных планов некоторых локальных поднятий, дроблению структур на блоки и возникновению новых дизъюнктивных нарушений в зонах проявления процессов соляной тектоники. Длительное время территория исследования была приподнята над смежными территориями севера Сибирской платформы. Это должно было способствовать массовой миграции углеводородов со стороны погруженных зон к седловине.

Исследуемый регион большей частью относится к одноименной Анабаро-Хатангской НГО. В результате геологоразведочных работ наряду с уже известными поверхностными нефтепроявлениями были открыты также нефтепроявления различной интенсивности на Кожевниковской, Ильинской, Чайдахской площадях глубокого бурения (Граммберг, 1968). Основные залежи локализованы в пермских и триасовых отложениях, а разрозненные нефтепроявления отмечены в породах от девона до юры. Максимальная насыщенность нефтью отмечается в пермских отложениях, в зоне между верхней частью нижнекожевниковской и нижней частью верхнекожевниковской свит (Каширцев и др., 2013). Исходя из особенностей строения, состава пород, слагающих осадочный чехол, истории развития региона, можно выделить пять основных перспективных нефтегазоносных комплексов: верхнепротерозойский, нижне-среднепалеозойский, верхнепалеозойский, триасовый и средне-верхнемезозойский.

Согласно карте гидрогеологического районирования Российской Федерации (Карта гидрогеологического..., 2001; Пояснительная записка..., 2001) территория исследования расположена в пределах двух артезианских бассейнов: Нордвикского и Хатангского. Для изучаемой территории можно выделить два водоносных этажа: верхний (верхнемезозойско-кайнозойский этаж – повсеместно распространенный – толща многолетнемерзлых пород (ММП), являющаяся мощным флюидоупором для всей территории, и нижний этаж (протерозой-среднемезозойский) – это нижне-среднемезозойские, палеозойские и протерозойские отложения, находящиеся ниже границы зоны промерзания. Анализ опубликованных данных и имеющегося фактического материала (результаты ГИС по 32 скважинам 13 площадей) позволил выделить 11 гидрогеологических комплексов (снизу – вверх): рифейский, венд-кембрийский, девонский, каменноугольный, пермский, триасовый, нижне-среднеюрский, верхнеюрский, неокомский, апт-альб-сеноманский, четвертичный (Таблица 1) (Черных, 2012, 2014).

В рамках исследования были обработаны результаты 255 проб полного химического анализа водоносных комплексов Анабаро-Хатангского междуречья с целью выделения химических типов вод. Подземные воды изученных комплексов

относятся преимущественно к хлоридному натриевому типу (по С.А. Щукареву) с соленостью вод от 0,1 до 312,3 г/дм³ (Рисунок 2а).

Таблица 1 – Сводная гидрогеологическая стратификация АХМ

Эратема	Система	Гидрогеологические подразделения					
		водоносный/водоупорный горизонт		водоносный комплекс		водоносный этаж	
KZ	Q	плейстоцен-голоценовый	2(Q ₁₋₂)	четвертичных отложений	8Q	Верхний	9(MZ ₃ -KZ)
		среднеапт-сеноманский	2(K _{1a1} -K _{2s})	апт-альб-сеноманский	8(K _{1a} -K _{2s})		
MZ	K	нижнеаптский	4(K _{1a})			неокомский	8(K _{1v} -K _{1br})
		валанжин-барремский	2(K _{1v} -K _{1br})				
		титонский	4(J _{3tt})				
	J	оксфордско-киммериджский	2(J _{3o} -J _{3km})	верхнеюрский	8(J ₃)		
		батский	4(J _{2bt})				
		аален-байосский	2(J _{2a} -J _{2b})	нижнесреднеюрский	8(J ₁₋₂)		
		плинсбах-тоарский	4(J _{1p} -J _{1t})				
		геттанг-синемюрский	2(J _{1h} -J _{1s})				
	T	верхненорийский	4(T _{3n2})	триасовый	8(T)		
		верхнеоленекско-нижненорийский	2(T _{1o2} -T _{3n1})				
		индско-нижнеоленекский	4(T _{1i} -T _{1o1})				
	PZ	P	вятский	4(P _{3v})	пермский	8(P)	Нижний
ассельско-северодвинский			2(P _{1a} -P _{3s})				
C		турнейско-серпуховский	2(C _{1t} -C _{1s})	каменноугольный	8(C)		
D		франско-фаменский	4(D _{3f} -D _{3fm})	девонский	8(D)		
		эмско-живетский	2(D _{1e} -D _{2zv})				
		жединско-зигенский	4(D _{1z} -D _{1zg})				
E		амгинско-майский	4(E _{2am} -E _{2m})	венд-кембрийский	8(V-E)		
	эдиакарско-тойонский	2(V _{2e} -E _{2tn})					
PR	V	билляхский	4(Rf ₃)	рифейский	8(Rf)		
	Rf	мукунский	2(Rf ₂)				

Водоносный комплекс четвертичных аллювиальных и ледниковых отложений отличается разнообразием химического состава подземных вод от хлоридного

натриевого до гидрокарбонатного кальциевого, а также большим диапазоном изменения общей минерализации от 0,1 г/дм³ до 303 г/дм³. В связи с наличием в регионе криогенной толщи мощностью до 600 м верхние водоносные горизонты в мезозойских отложениях заморожены. Апт-альб-сеноманский водоносный комплекс представлен подземными водами гидрокарбонатного натриевого состава, реже – хлоридного натриевого, с минерализацией 0,5 – 3,0 г/дм³. Воды неокомского водоносного комплекса хлоридного натриевого состава, реже хлоридно-гидрокарбонатного натриевого, гидрокарбонатно-хлоридного натриевого и гидрокарбонатного кальциево-натриевого. Общая минерализация варьирует в пределах 2,7 – 8,7 г/дм³. Воды верхнеюрского водоносного комплекса хлоридные и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые метановые воды с минерализацией от 7 до 16 г/дм³. Подземные воды ниже-среднеюрского водоносного комплекса были изучены на Нордвикской площади, по составу они хлоридные натриевые с минерализацией до 305 г/дм³. В восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба на Рассохинской площади воды хлоридные натриевые с довольно низкой минерализацией – от 8 до 15 г/дм³. Многочисленными скважинами, пройденными в непосредственной близости от соляных штоков, в песчаниках и алевролитах триасового водоносного комплекса на глубинах 70 – 80 м вскрыты рассолы хлоридного натриевого состава с минерализацией до 312 г/дм³.

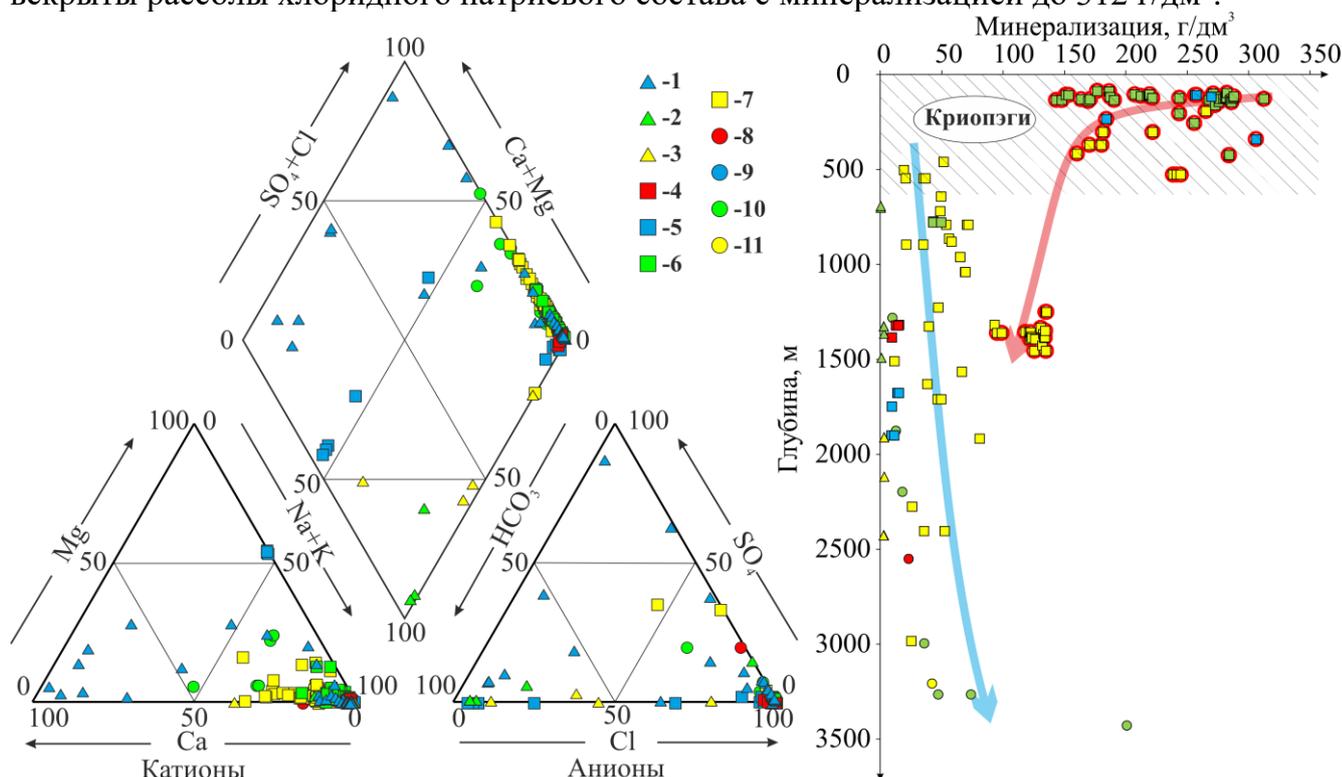


Рисунок 2 – Диаграмма Пайпера состава подземных вод Анабаро-Хатангского междуречья (а) и типы вертикальной гидрогеохимической зональности (б).

Водоносные комплексы – 1 – 8(Rf), 2 – 8(V-Є), 3 – 8(D), 4 – 8(C), 5 – 8(P), 6 – 8(T), 7 – 8(J₁₋₂), 8 – 8(J₃), 9 – 8(K_{1v}-K_{1br}), 10 – 8(K_{1a}- K_{2s}), 11 – 8Q.

Водоносность пермских отложений изучалась на Нордвикской, Ильинской, Чайдахской и других антиклинальных структурах, осложненных соляной тектоникой. Установлено наличие рассолов в основном хлоридного натриевого и натриево-кальциевого состава с минерализацией от 52 – 54 до 120 – 135 г/дм³, величина

отношения Ca/Cl составляет до 0,2. Хлоридные натриевые рассолы с минерализацией от 238 г/дм^3 , установлены в пермских терригенных и угленосных отложениях лишь на Нордвикском соляном куполе.

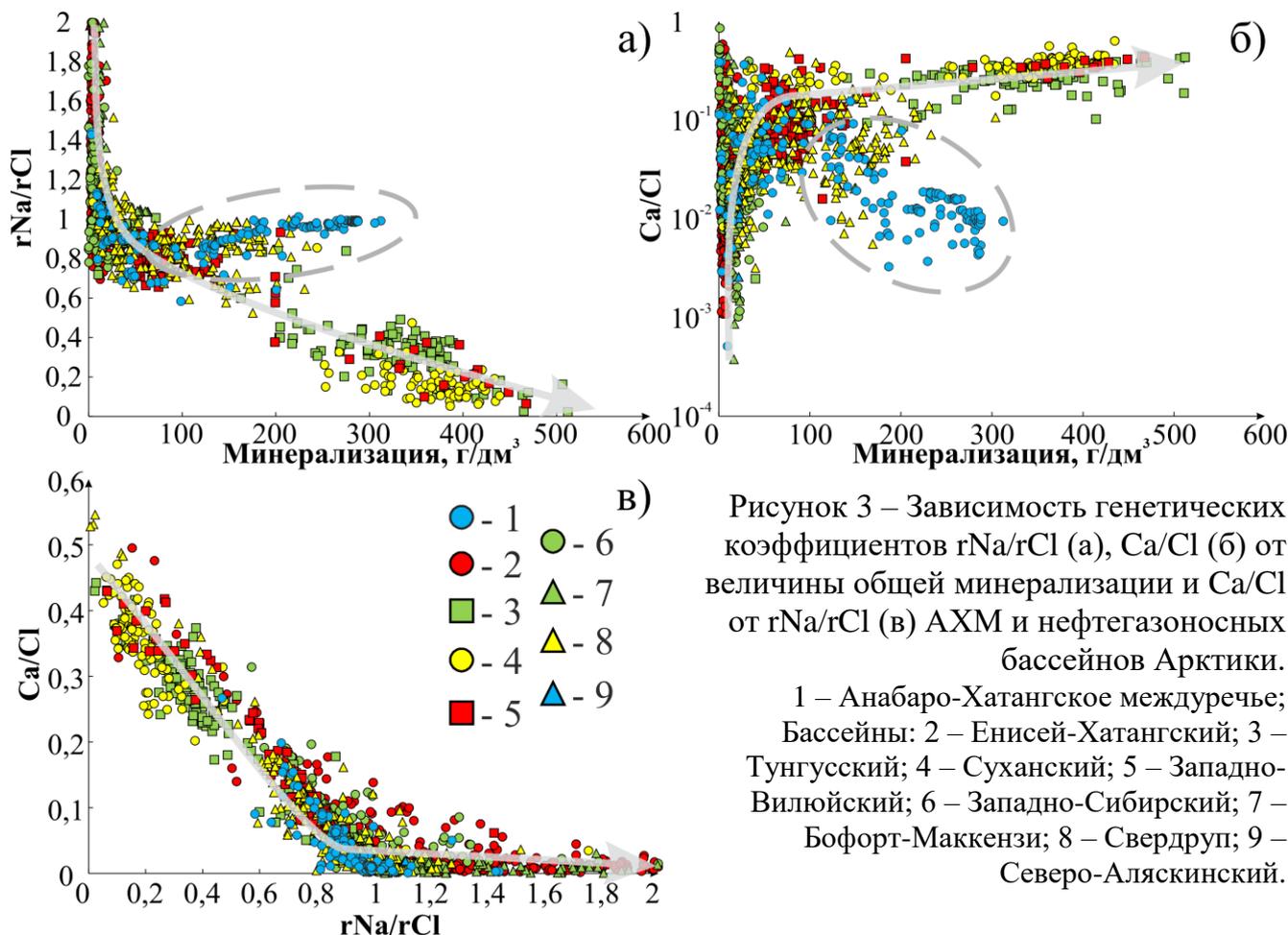
Каменноугольные отложения изучены фрагментарно в районе Нордвикского соляного купола и на Южно-Суолемской площади. В известняках Нордвикской площади установлены хлоридные натриевые рассолы с минерализацией до $237 - 266 \text{ г/дм}^3$, а на Южно-Суолемской площади минерализация не превышает $23,1 \text{ г/дм}^3$. Отложения девонского водоносного комплекса изучены бурением на Нордвикской и Кожевниковской площадях, где воды хлоридные натриевые с величиной общей минерализации $220 - 287 \text{ г/дм}^3$. Гидрогеохимические исследования водоносного комплекса венд-кембрийских отложений проведены на Северо-Суолемской, Костроминской и Хастахской площадях. По химическому составу подземные воды хлоридные кальциево-натриевые, натриево-кальциевые и хлоридные натриевые с величиной общей минерализации от 10 г/дм^3 на Костроминской площади и до $73,9 \text{ г/дм}^3$ на Северо-Суолемской, где отмечены высокие содержания йода ($51,48 \text{ мг/дм}^3$) и брома ($62,76 \text{ мг/дм}^3$). В пределах АХМ водоносный комплекс рифейских отложений изучен на Хастахской площади. По химическому типу воды хлоридные натриевые, хлоридные кальциево-натриевые с величиной общей минерализации 42 г/дм^3 .

Анализ гидрогеохимических данных позволил установить основные тенденции изменения состава подземных вод с глубиной в пределах Анабаро-Хатангского междуречья. В разрезе выделено два типа вертикальной геохимической зональности (см. Рисунок 2б). Первый – инверсионный, развит в зоне распространения солянокупольных структур. Величина общей минерализации подземных вод уменьшается с глубиной, что связано с выщелачиванием каменной соли (Нордвикская, Южно-Тигянская и другие солянокупольные поднятия) инфильтрационными водами. В пределах криогенной толщи в зоне их влияния распространены отрицательно-температурные рассолы (криопэги), с температурой от 0 до $-12 \text{ }^\circ\text{C}$. Второй тип – нормальной (прямой) вертикальной геохимической зональности доминирует в АХМ и сопровождается увеличением величины общей минерализации и ростом основных макро- и микрокомпонентов с глубиной.

Для сравнения степени метаморфизации подземных вод и выделения их генетических типов были выбраны данные по гидрогеохимии некоторых нефтегазоносных бассейнов Арктики (Рисунок 3). Установлено, что подземные воды метаморфизованы в разных направлениях. При сравнительном анализе гидрогеологических особенностей нефтегазоносных бассейнов Арктики и подземных вод, развитых в их пределах, установлено три гидрогеохимические группы.

Первая представлена солоноватыми, солеными водами и слабыми рассолами пестрого состава с величиной общей минерализации до $60-70 \text{ г/дм}^3$, имеющими преимущественно $\text{HCO}_3\text{-Cl Na}$, $\text{Cl-HCO}_3 \text{ Na}$, Cl Na , иногда Cl Na-Ca состав. Они отличаются низкими отношениями Ca/Cl до 0,05 и $\text{Br}/\text{Cl} \cdot 10^3$ до 8, высокими коэффициентами rNa/rCl в интервале 0,9-2,0 и $\text{Cl/Br} - 150-850$. Эти воды повсеместно распространены в водоносных горизонтах молодых мезозойско-кайнозойских обсадочных бассейнов с отсутствием эвапоритов. Они доминируют в пределах молодых бассейнов: Западно-Сибирского, Енисей-Хатангского, Бофорт-Маккензи и северного склона Аляски. В эту группу входят: древние инфильтрационные воды, проникшие в водоносные комплексы при регрессии моря или при инфильтрации в краевых частях

бассейнов; слабоизмененные за счет процессов взаимодействия с вмещающими горными породами реликтовые седиментогенные воды; литогенные воды, попавшие в водоносные горизонты при термодегидратации глинистых минералов в условиях элизионного водообмена и конденсатогенные воды, сформированные одновременно с залежами УВ.



Вторая группа включает в себя рассолы осадочных бассейнов с эвапоритами, сформированными во временном интервале от девона до перми, с величиной общей минерализации до $300-320 \text{ г/дм}^3$ (стадии садки галита). Рассолы имеют преимущественно $Cl \text{ Na}$ и $Cl \text{ Na-Ca}$ состав. Величины основных генетических коэффициентов варьируют в следующих интервалах: Ca/Cl от 0,05 до 0,2, $Br/Cl \cdot 10^3$ от 8 до 10, rNa/rCl от 0,6 до 0,9 и Cl/Br от 120 до 800. На этом фоне инфильтрогенные рассолы выщелачивания каменной соли, развитые в пределах солянокупольных структур АХМ, отличаются наиболее низким Ca/Cl отношением, которое ниже 0,01. Эти рассолы распространены в пределах соленосных толщ Анабаро-Хатангского междуречья, Западно-Виллойского бассейна и бассейна Свердруп. В генетическом плане они представлены древними инфильтрогенными рассолами выщелачивания каменной соли и седиментогенными рассолами эвапоритовых толщ.

Минерализация рассолов третьей гидрогеохимической группы достигает $500-510 \text{ г/дм}^3$ и представлена рассолами древних осадочных бассейнов с кембрийскими эвапоритами и кристаллических щитов архей-протерозойского возраста. По

химическому составу рассолы относятся к Cl-Na, Cl-Na-Ca, Cl-Ca-Na, Cl-Ca-Mg и Cl-Ca, при доминировании смешанных Cl-Ca-Na и Cl-Na-Ca типов. Они характеризуются высокими отношениями Ca/Cl от 0,2 до 0,6 и Br/Cl·10³ от 10 до 28, низкими коэффициентами rNa/rCl в интервале 0,1-0,6 и Cl/Br 50-150. Рассолы этой гидрогеохимической группы установлены в пределах нефтегазоносных отложений Тунгусского и Суханского бассейнов. В эту группу входят седиментогенно-инфильтрогенные рассолы межсолевых горизонтов подвергшиеся процессам геологически длительного взаимодействия в системе вода – порода.

Таким образом, на самой начальной стадии метаморфизации находятся воды пестрого химического состава молодых осадочных бассейнов с отсутствием эвапоритов. Затем идут рассолы осадочных бассейнов с галогенными формациями от девона до перми. Заключительным звеном в этой цепи с максимальной степенью метаморфизации химического состава выступают сверхкрепкие рассолы древних осадочных бассейнов с кембрийскими соленосными толщами.

Второе защищаемое положение. *Палеогидрогеохимические реконструкции и результаты физико-химического моделирования позволяют обосновать наличие в водоносных комплексах Анабаро-Хатангского междуречья трех генетических типов подземных вод: 1) инфильтрогенные рассолы выщелачивания каменной соли в пределах нижне-среднеюрского, триасового, пермского, каменноугольного комплексов; 2) седиментогенные рассолы, смешанные с инфильтрогенными, повсеместно установленные в венд-кембрийском и рифейском комплексах, а в пермском и триасовом комплексах только вне зон развития соляных структур; 3) древние инфильтрогенные воды, развитые в апт-альб-сеноманском, неокомском и верхнеюрском комплексах.*

Для характеристики сингенетичных вод АХМ были составлены схематические палеогидрогеохимические карты с элементами фациальной зональности и современной гидрогеохимии (химический тип подземных вод и величина общей минерализации). Можно предположить, исходя из метода актуализма, что в прошлые геологические эпохи формирование ионно-солевого состава вод в континентальных и морских обстановках обуславливалось теми же факторами и являлось результатом тех же процессов, что и в настоящее время.

Гидрогеологическую историю Анабаро-Хатангского междуречья можно разделить на 12 гидрогеологических циклов (Рисунок 4): архейско-карелийский (I); рифейско-нижневендский(II); верхневендско-силурийский (III); нижнедевонский (IV); среднедевонско-каменноугольный (V); пермско-нижнеоленинский (VI); верхнеоленинский (VII); среднетриасовый (VIII); карнийско-нижнерэтский (IX); верхнерэтский (X); юрско-эоплейстоценовый (XI); неоплейстоценово-голоценовый (XII).

Архейско-карелийский цикл (I) характеризуется формированием отложений фундамента и началом формирования плитного комплекса, доминированием инфильтрационных процессов. В начале раннего рифея произошла крупная трансгрессия, охватившая всю территорию исследования, ознаменовавшая начало нового рифейско-нижневендского гидрогеологического цикла (II). Шел процесс терригенно-карбонатной седиментации и захоронения морских вод вместе с осадками – элизионный этап.

Отсутствие отложений нижнего венда указывает на инфильтрационный этап. Для верхневендско-силурийского цикла (III) характерен длительный элизионный этап с преимущественно карбонатной седиментацией, закончившийся перерывом в осадконакоплении в период ордовика и силура. на границе оленекского и анизийского веков (Сакс и др., 1959). В среднем триасе (VIII) район исследования испытывал постепенный переход от морских условий к континентальным (Рисунок 5б).

В позднесилурийское время исследуемый регион представлял собой возвышенную сушу, в пределах которой активно протекали процессы эрозии и денудации, преобладал инфильтрационный водообмен, повсеместно захоранивались пресные метеогенные воды гидрокарбонатного кальциевого состава. Суша был окаймлена с севера и запада мелководным шельфом, где в обстановках закрытого шельфа накапливались известняк и карбонатно-глинистые осадки и протекали процессы испарения морской воды.

Подобные обстановки просуществовали до начала эмского века (IV), который связан с началом обширной трансгрессии. Максимуму трансгрессии соответствует морская карбонатная толща юктинской свиты. Интенсивное соленакопление в Нордвикской части происходило в эмское-эйфельское время. В ее пределах сформировался закрытый бассейн, рапа которого достигала величины общей минерализации до 330 г/дм³, захоранивались воды хлоридного натриевого, хлоридного кальциевого и хлоридного магниевое состава (Рисунок 5а). С франского века (V) начался новый трансгрессивный этап, в течение которого морской бассейн расширился. В наиболее открытых частях бассейна накапливались карбонатные осадки и вместе с ними захоранивались солоноватые воды с минерализацией 5–15 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺. В фамене регрессия охватила все бассейны севера Сибири, обстановки стали более мелководными.

В пермско-нижнеоленекском цикле (VI) выделяется пермский элизионный этап. В индское время исследуемая территория представляла в основном мелкое море, ограниченное с юга прибрежно-морской равниной и алювиально-озерной равниной на юго-востоке. Практически на всей территории формировались сингенетичные солоноватые воды с минерализацией 5-15 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺ при повышенном содержании ионов Mg²⁺ и Ca²⁺. В середине оленекского века заканчивается пермско-нижнеоленекский цикл и начинается верхнеоленекский (VII), когда на юго-востоке территории протекает терригенное осадконакопление с перерывом

В анизийско-ландинское время в северной части исследуемой территории также находилось мелкое море и формировались сингенетичные солоноватые воды с минерализацией 5-15 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺ при повышенном содержании ионов Mg²⁺ и Ca²⁺. Центральная часть находилась в обстановке переходного осадконакопления, здесь захоранивались солоноватые воды с минерализацией 2-5 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺ при повышенном содержании Ca²⁺ и HCO₃⁻. В верхнем триасе можно выделить два гидрогеологических цикла: карнийско-нижнерэтский (IX) – характеризующийся регрессией, которая в итоге привела к перерыву в осадконакоплении в период с середины нория до середины рэта и преобладанием инфильтрационных процессов; верхнерэтский (X) – с одновременным протеканием элизионных и инфильтрационных процессов в прибрежно-морских условиях и захоронением солоноватых вод с минерализацией 2-5 г/дм³, закончившийся перерывом в осадконакоплении.

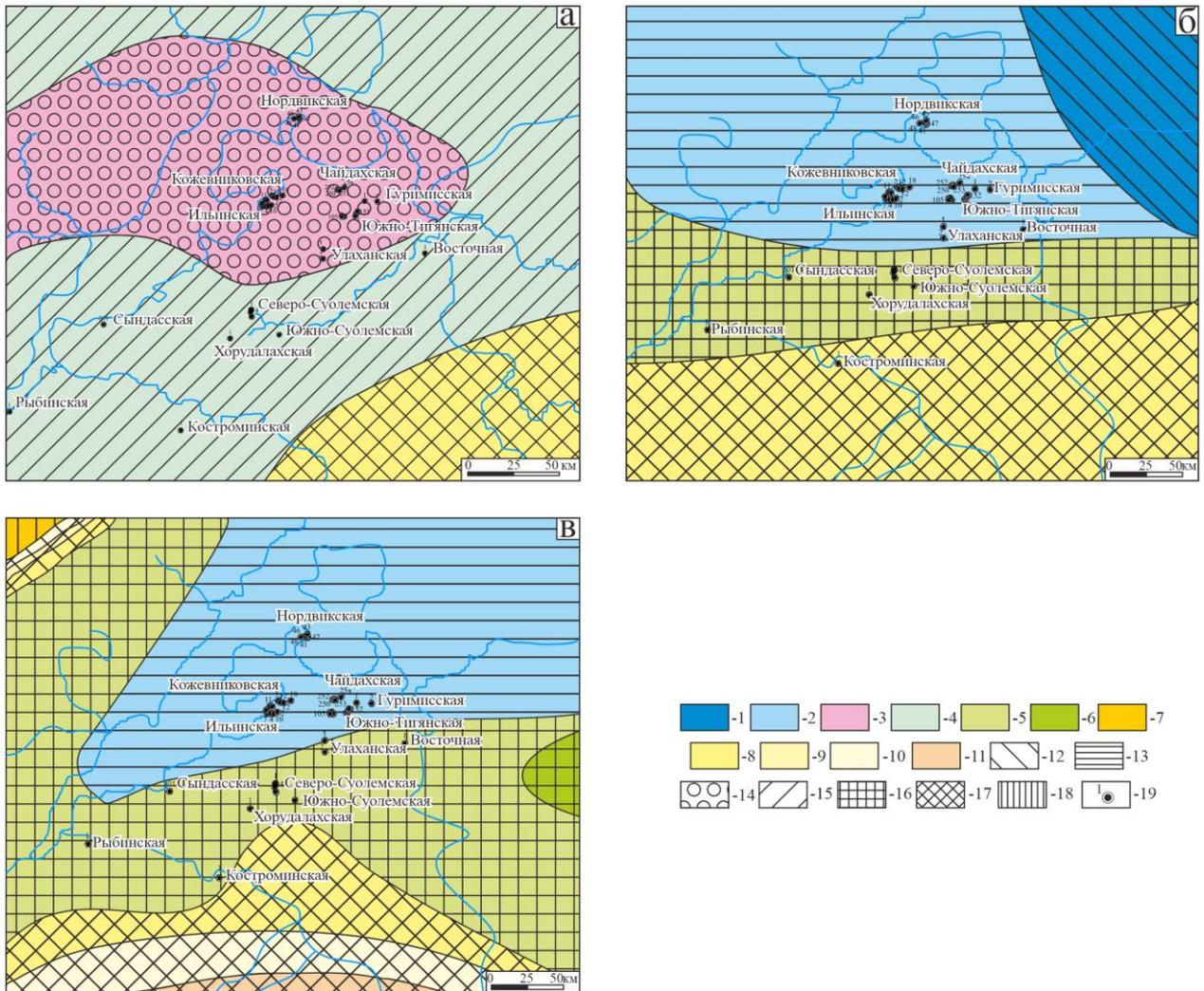


Рисунок 5 – Палеогидрогеохимические реконструкции на: (а) эмско-эйфельское; (б) анизийско-ладинское и (в) геттанг-келовейское время (палеогеографическая основа по материалам ИНГГ СО РАН, 2011).

Палеогеографические области осадконакопления: Морского: 1 – море, мелкая часть шельфа и прибрежная зона (50-100 м); 2 – море мелкое, островная часть шельфа (0-50 м); 3 – замкнутый бассейн, лагуна, прибрежная себха, солончак или соленое озеро; 4 – замкнутый или полузамкнутый внутришельфовый бассейн; Переходного: 5 – прибрежно-морская равнина (0-50 м); 6 – прибрежное мелководье (0-20 м); Континентального: 7 – горы низкие (500-700 м); 8 – алювиально-озерная равнина (20-100 м); 9 – равнина холмистая (100-200 м); 10 – равнина возвышенная денудационная (200-300 м); 11 – денудационное плато (300-500 м);

Палеогидрогеохимические зоны формирования: 12 – соленые (талассогенные) воды с минерализацией 15-20 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Mg²⁺; 13 – солоноватые воды с минерализацией 5-15 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺ при повышенном содержании ионов Mg²⁺ и Ca²⁺; 14 – рассольные воды с минерализацией 50-400 г/дм³, с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺; 15 – соленые воды с минерализацией 35-50 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺; 16 – солоноватые воды с минерализацией 2-5 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺ при повышенном содержании HCO₃⁻ и Ca²⁺; 17 – пресные и солоноватые инфильтрогенные воды с минерализацией 0,5-2 г/дм³ с преобладанием в составе ионов HCO₃⁻ и Ca²⁺ при повышенном содержании Cl⁻ и Na⁺; 18 – пресные инфильтрогенные воды с минерализацией до 0,5 г/дм³ с преобладанием ионов HCO₃⁻ и Ca²⁺; 19 – скважины.

На протяжении всей юры и раннего неокома (XI) на территории АХМ проходило спокойное терригенное морское осадконакопление (Рисунок 5в) (Никитенко и др., 2011; Кох, 2014). В геттанге и синемюре север территории исследования представляла собой прибрежно-морскую равнину, в пределах которой захоранивались солоноватые воды с минерализацией 2-5 г/дм³ преимущественно хлоридного натриевого состава с высоким содержанием кальция и гидрокарбонат – иона (Кох, 2014; Садыкова, 2017). В центральной и южной частях формировались пресные и солоноватые инфильтрационные воды с минерализацией 0,5-2 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Ca²⁺ и HCO₃⁻ при повышенном содержании Cl⁻ и Na⁺. В плинсбахское время на большей части территории захоранивались соленые воды с минерализацией 5-15 г/дм³ преимущественно хлоридного натриевого состава. В тоаре на территории исследования мелководное море затопило денудационную равнину, теперь его ограничивало лишь денудационное плато, расположенное в пределах современного Таймыра. Повсеместно захоранивались воды с минерализацией 5-15 г/дм³.

В байосе совместно с осадками захоранивались соленые таласогенные воды с минерализацией 5-15 г/дм³. В западной части территории захоранивались таласогенные хлоридные натриевые воды соленостью 15-20 г/дм³. Хатангское море обрамляли возвышенные части суши в виде денудационной равнины и денудационного плато. В батский век АХМ представляло собой мелководно-морской бассейн, где совместно с отложениями захоранивались солоноватые воды с минерализацией 2-5 г/дм³. В позднем готериве началась очередная крупная регрессия, которая привела к континентальным условиям осадконакопления практически на всей территории исследования в период с баррема по ранний сеноман (Никитенко и др., 2013). До неоплейстоцена АХМ представляло собой денудационное плато – инфильтрационный этап. Начиная с неоплейстоцена (XII) район подвергался воздействию многочисленных оледенений.

Как показали результаты палеогидрогеохимических исследований изучаемого района, в течение всего геологического времени подземные воды претерпевали различные и сложные изменения, но современный химизм подземных вод во многом носит унаследованный характер. Существовавший в раннем девоне солеродный бассейн, оказал большое влияние на дальнейшее формирование компонентного состава и величины минерализации для более молодых отложений каменноугольного, пермского, триасового, нижне-средне-юрского, а также четвертичного возрастов в пределах полуострова Юрюнг-Тумус. На территориях, где отсутствует соляная тектоника, воды неглубоко залегающих комплексов практически не были подвержены изменениям, когда более древние отложения пермского, каменноугольного, венд-кембрийского и рифейского возрастов изменили свой состав в процессе метаморфизации и взаимодействия в системе «вода-порода».

Выявление особенностей протекания процессов формирования высокоминерализованных рассолов триасового комплекса и инверсионной зональности является одним из важнейших вопросов. В качестве исходных данных для модели были выбраны химический и минералогический состав солей п-ва Юрюнг-Тумус (по материалам Калинин, Сиденко, 1955), химический состав атмосферных, речных и морских вод в районе полуострова, а также отобраны 49 проб подземных вод и рассолов наиболее характерных разновидностей их химического состава по каждому из водоносных комплексов. Учитывая парагенетическую связь подземных рассолов водоносных комплексов с породами в разрезе, в систему были включены 7 минералов,

присутствующих в составе солей полуострова Юрюнг-Тумус: галит, бишофит, гипс, ангидрит, кальцит, доломит и магнезит). Для галита, бишофита, гипса и ангидрита характерен рост степени насыщения с ростом величины общей минерализации. Как показали результаты расчетов, рассолы триасовых образований равновесны или близки к равновесию с галитом, гипсом, ангидритом, кальцитом, магнезитом и доломитом. Атмосферные и речные воды полуострова Юрюнг-Тумус резко недонасыщены практически ко всем минералам (Рисунок 6).

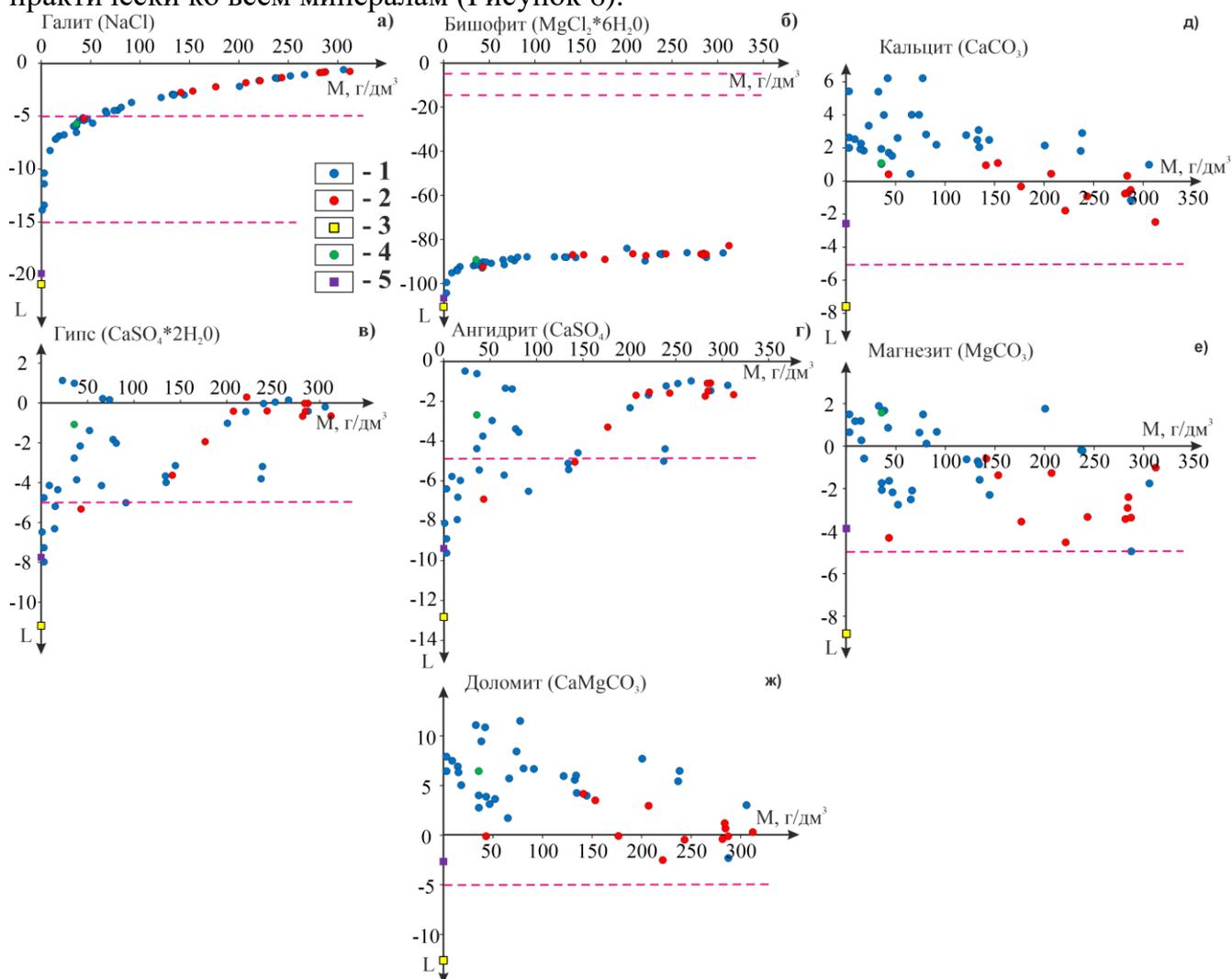


Рисунок 6 – Расчетная степень насыщения подземных вод некоторыми хлоридными, сульфатными и карбонатными минералами при стандартных условиях

Подземные воды: 1 – типовые пробы изученных водоносных комплексов, 2 – триасовых образований, 3 – атмосферные осадки, 4 – морская вода из Нордвикского залива, 5 – поверхностная вода из р. Анабар.

В целом, можно отметить, что выявленная первая группа минералов и солей, равновесных или весьма близких к состоянию равновесия с изученными подземными рассолами, включает, главным образом, породообразующие первичные эвапоритовые и биогенные минералы в составе соленосно-карбонатных фаций рассоловмещающих осадочных пород. С некоторыми из них равновесны практически любые подземные рассолы (например, с кальцитом, доломитом и гипсом). В результате численного физико-химического моделирования установлены величина общей минерализации и

химический состав предельно насыщенных рассолов равновесных к соленосной толще девонского возраста при ее растворении в процессе инфильтрации поверхностными водотоками. Их минерализация могла достигать 330 г/дм^3 , а состав был хлоридным натриевым. Последующее снижение общей минерализации до современного уровня в $150 - 300 \text{ г/дм}^3$ происходило посредством разубоживания рассолов инфильтрационными водами. Таким образом, появление рассолов в пределах водоносного комплекса триасовых образований полуострова Юрюнг-Тумус обязано процессу выщелачивания девонских солей в приконтактных зонах соляного штока, что подтверждается выполненными палеогидрогеологическими реконструкциями и результатами численного моделирования (Новиков, Черных, 2019).

В качестве показателей, отражающих генезис подземных вод, были приняты генетический коэффициент, предложенный В.А. Сулиным (1946): $r\text{Na}/r\text{Cl}$, характеризующий количественные соотношения между различными компонентами состава вод, а также коэффициент Ca/Cl . По мнению А.А. Карцева (1969) если натрий-хлорный коэффициент выше $0,87$, то воды можно отнести к малометаморфизованным инфильтрогенным, либо седиментогенным из опресненных внутренних водоемов; если натрий-хлорный коэффициент ниже $0,87$, то воды следует считать седиментогенными морскими, подвергшимися метаморфизации, либо сильно метаморфизованными инфильтрогенными.

В АХМ установлено доминирование в разрезе двух генетических типов рассолов: 1) инфильтрогенных рассолов и 2) седиментогенных рассолов. В отложениях апт-альб-сеноманского, неокомского и верхнеюрского комплексов развиты древние инфильтрогенные воды (I) (Рисунок 7) (Новиков и др., 2020, 2021).

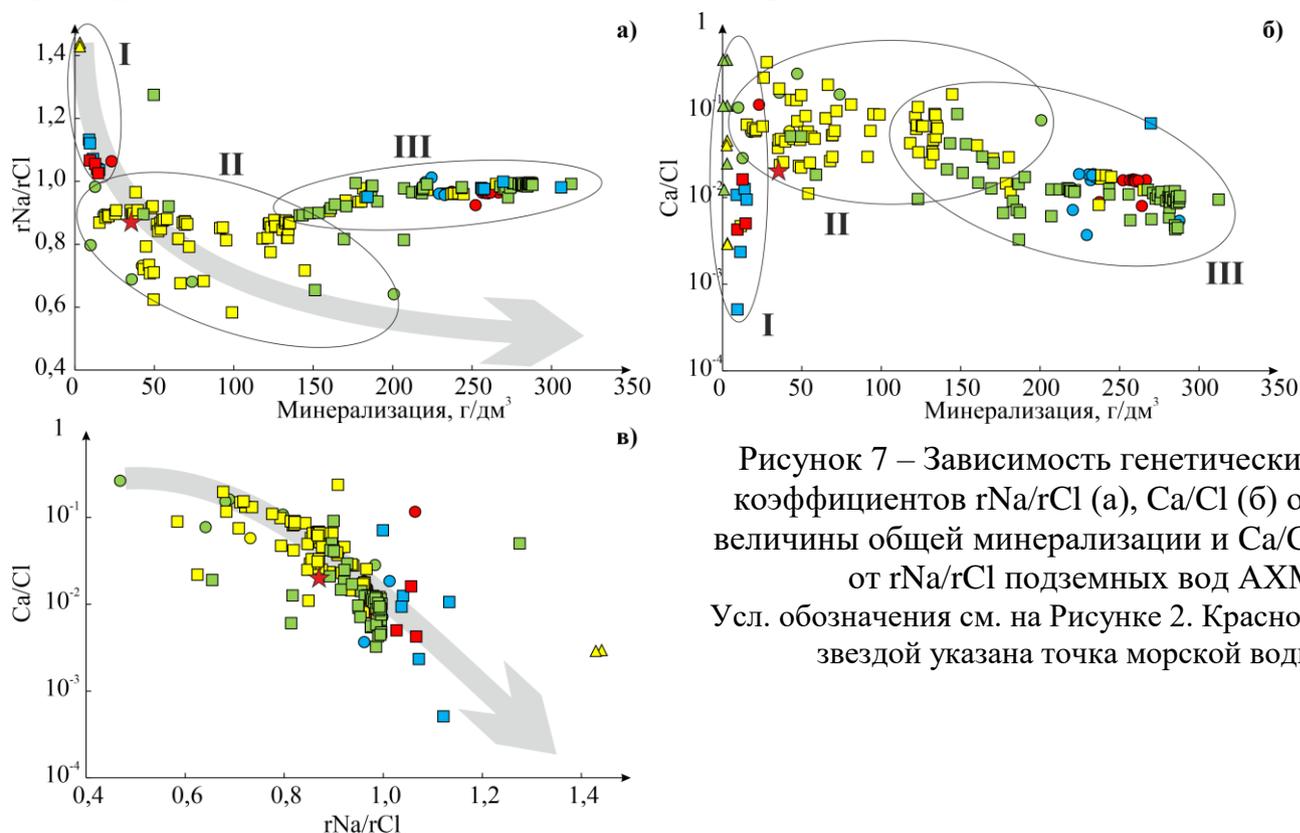


Рисунок 7 – Зависимость генетических коэффициентов $r\text{Na}/r\text{Cl}$ (а), Ca/Cl (б) от величины общей минерализации и Ca/Cl от $r\text{Na}/r\text{Cl}$ подземных вод АХМ Усл. обозначения см. на Рисунке 2. Красной звездой указана точка морской воды

Рассолы выщелачивания (III) формировались за счет растворения каменной соли. Как правило, они содержат небольшие количества калия и брома при общей минерализации не выше 320 г/дм³ и формируются в зонах свободного и затрудненного водообмена.

Наибольшим распространением в водоносных горизонтах ниже-среднеюрского, триасового, пермского и каменноугольного комплексов пользуются рассолы первого типа (преимущественно хлоридного натриевого состава) с величиной общей минерализации 50-312 г/дм³, генетически связанные с процессами растворения каменной соли. Седиментогенные рассолы (II) хлоридного натриевого состава распространены в пермских и триасовых отложениях вне зон развития соляных структур; воды хлоридного натриево-кальциевого состава с минерализацией 55-145 г/дм³ развиты в водоносных горизонтах венд-кембрийского и рифейского комплексов, появление которых обязано процессам смешения глубокозалегающих высоко метаморфизованных рассолов с более пресными водами других типов.

Третье защищаемое научное положение. *Комплексная интерпретация гидрогеохимических, геотермических, гидродинамических данных, результатов палеогидрогеохимических реконструкций позволила впервые обосновать оптимальный комплекс гидрогеологических критериев нефтегазоносности Анабаро-Хатангского междуречья и выполнить региональный прогноз нефтегазоносности. Наибольшие перспективы следует связывать с нижнемезозойскими в северной и северо-восточной и с пермскими отложениями в центральных частях исследуемого региона.*

Анабаро-Хатангское междуречье по общегидрогеологическим и палеогидрогеологическим критериям можно отнести к перспективному. Регион характеризуется мощным (до 8-9 км) осадочным чехлом с выдержанными по простиранию водоносными комплексами с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами (пористость до 35-50 %, а проницаемость до 0,131 мкм²) (Зуйкова, 2006). В исследуемом районе также повсеместно развита мощная криогенная толща, толщины которой достигают в южной части 400-500 м.

Криолитозона является надежным флюидоупором и оказывает существенное влияние на температурный режим недр и залежей углеводородов. По результатам проведенных палеогидрогеологических реконструкций установлено, что в центральной части региона долгое время доминировали морские условия седиментации, что благоприятно сказывалось на захоронении сингенетичных хлоридных натриевых вод совместно с глинистыми осадками, богатыми органическим веществом. Континентальный режим осадконакопления преобладал в краевых частях исследуемого региона. На исследуемой территории достаточно четко выделяются два гидродинамических этажа. Верхний этаж, включающий зоны свободного и затрудненного водообмена, характеризуется наличием в настоящее время взаимосвязи с дневной поверхностью; воды нижнего гидродинамического этажа практически не участвуют в современном круговороте природных вод. Положения статических уровней в триасовом, пермском и каменноугольном комплексах на Нордвикской, Чайдахской, Южно-Тигянской и Северо-Суолемской площадях указывают на их гидравлическую изолированность водоупорными толщами. Согласно проведенным геотермическим исследованиям, в пределах мезозойско-кайнозойских отложений пластовые температуры не превышают 60°C. Температуры палеозойского комплекса на глубинах от 1,5 до 3 км в свою очередь находятся в диапазоне благоприятных значений для протекания процессов нефтегазобразования от 60°C до 120°C практически на всей

территории исследования. Пластовые температуры в подошве палеозойских отложений на севере изучаемого региона достигают 180-220°C. В целом на севере и в центральных районах АХМ значения температурного градиента не превышают 2,6 °С/100м. Среди гидрогеохимических показателей, из-за отсутствия данных по водорастворенным газам и ОВ, был выбран ряд генетических коэффициентов ($r_{Na/rCl}$, $r_{Ca/rMg}$), химический тип вод, величина общей минерализации, низкие значения концентрации сульфат-иона, повышенные содержания ряда микрокомпонентов (Черных, 2015а).

Анализ комплекса критериев позволил закартировать в исследуемом регионе четыре категории земель по вероятности открытия новых залежей углеводородов: 1) малоперспективная, 2) низкоперспективная, 3) среднеперспективная и 4) высокоперспективная (Рисунок 9).

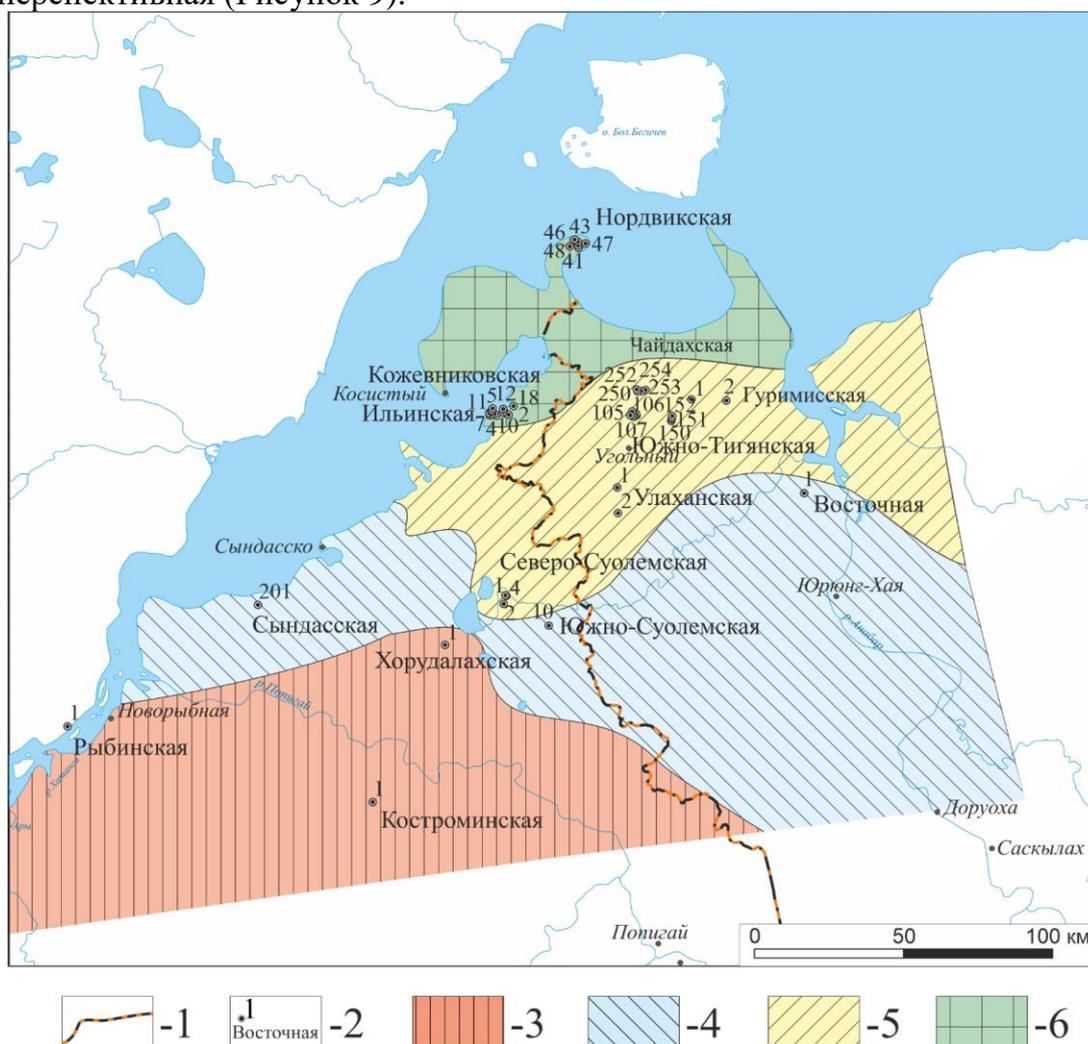


Рисунок 8 – Схема районирования вероятной нефтегазоносности Анабаро-Хатангского междуречья

Условные обозначения: 1 – административные границы; 2 – скважины; категории земель: 3 – малоперспективная; 4 – низкоперспективная; 5 – среднеперспективная; 6 – высокоперспективная.

Земли малоперспективной категории расположены на юго-западе региона исследования. Осадочный чехол в этой зоне не превышает 2 км, а пластовые температуры достигают 60°C. Подземные воды преимущественно хлоридного кальций-натриевого и натрий-кальциевого состава характеризуются небольшими значениями

величины минерализации до 80 г/дм^3 и гNa/гCl отношения (до 0,8). В этой зоне перспективными отложениями следует считать нижнепалеозойские и верхнепротерозойские. К зоне малоперспективных земель примыкает пояс низкоперспективных зон нефтегазоносности. В его пределах мощность осадочного чехла достигает 4000 м, а криолитозоны 200-400 м. Пластовые температуры на глубинах до 3 км не превышают 120°C . Значения гNa/гCl отношения в доминирующих хлоридных натриевых водах составляют около 1. К низкоперспективным в этой зоне следует относить ниже-среднепермские отложения.

Севернее низкоперспективной зоны расположена среднеперспективная зона нефтегазоносности. К этой зоне приурочена часть выявленных нефтепроявлений УВ на Южно-Тигянской площади и нефтегазопроявления на Чайдахской площади. Она характеризуется сравнительно невысокой мощностью криолитозоны (до 200 м), пластовые температуры не превышают, как правило, 90°C . Также стоит отметить повышенные значения I до 15 мг/дм^3 . Наиболее перспективны в этой зоне ниже-среднепермские отложения в виду повышенных фильтрационно-емкостных свойств (пористость до 49% и проницаемость до $0,096 \text{ мкм}^2$), в меньшей степени мезозойские (триасовые, юрские и меловые). Значения гNa/гCl отношения как правило не превышают 0,8, гCa/гMg отношение меньше 6.

Северная часть изучаемого региона относится к высокоперспективной зоне нефтегазоносности. Здесь открыты нефтепроявления в пермских (Ильинская, Кожевниковская площади) и триасовых (Нордвикская площадь), а также выявлены нефтегазопроявления в ниже- и среднеюрских отложениях. Значения пластовых температур в пределах перспективных отложений не превышают 70°C , мощность многолетнемерзлых пород как правило не превышает 200-300 м. В этой зоне доминируют рассолы выщелачивания каменной соли с минерализацией до 312 г/дм^3 , значения гNa/гCl отношения в среднем составляют около 1, гCa/гMg отношение меньше 5. Перспективными отложениями в этой зоне являются в основном нижнемезозойские породы на сводах и склонах положительных структур, пермские отложения на изученных площадях имеют довольно низкие показатели фильтрационно-емкостных свойств (пористость до 10%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы. В установленных по данным бурения 11 водоносных комплексах выявлены подземные воды с величиной общей минерализации варьирующей от 0,1 до $312,3 \text{ г/дм}^3$ с доминирующими Cl Na, Cl Na-Ca и Cl- HCO_3 Na, типами вод. Их можно разделить на три генетических типа: 1) рассолов выщелачивания каменной соли, развитых в водоносных горизонтах ниже-среднеюрского, триасового, пермского и каменноугольного комплексов; 2) рассолов, смешанных с седиментогенными в водоносных горизонтах пермского, венд-кембрийского и рифейского комплексов и 3) древних инфильтрационных вод в отложениях апт-альб-сеноманского, неокомского и верхнеюрского комплексов. В зоне распространения солянокупольных структур сформировался инверсионный тип вертикальной гидрогеохимической зональности. В зонах их отсутствия установлена нормальная (прямая) вертикальная гидрогеохимическая зональность с закономерным ростом метаморфизации рассолов и увеличением роли седиментогенных вод с глубиной. Гидрогеологическую историю Анабаро-Хатангского междуречья можно

разделить на 12 гидрогеологических циклов. Наибольшее значение солености палеобассейна приходится на нижнедевонский цикл, во время которого в регионе существовал солеродный бассейн. На территориях, где отсутствует соляная тектоника, воды неглубоко залегающих комплексов практически не были подвержены изменениям, когда более древние отложения пермского, каменноугольного, венд-кембрийского и рифейского возрастов изменили свой состав в процессе взаимодействия в системе «вода-порода». Появление рассолов в пределах водоносного комплекса триасовых образований полуострова Юрюнг-Тумус обязано процессу выщелачивания девонских солей в приконтактных зонах соляного штока, что подтверждается выполненными палеогидрогеологическими реконструкциями и результатами численного моделирования. На основе комплексной интерпретация гидрогеохимических, геотермических, гидродинамических данных, результатов палеогидрогеохимических реконструкций обоснован оптимальный комплекс гидрогеологических критериев нефтегазоносности Анабаро-Хатангского междуречья и выполнен региональный прогноз нефтегазоносности с выделением перспективных зон вероятной нефтегазоносности. Наибольшие перспективы следует связывать с нижнемезозойскими отложениями на сводах и склонах положительных структур в северной и северо-восточной части и с пермскими отложениями в центральной части исследуемого региона.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, индексируемых международными реферативными базами данных Scopus, Web of Science и/или рекомендованных перечнем ВАК

1. Новиков, Д.А. Новые данные по изотопному составу (δD , $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, $^{87}Rb/^{86}Sr$ и $^{87}Sr/^{86}Sr$) рассолов Сибирской платформы / Д.А. Новиков, А.Н. Пыряев, **А.В. Черных**, Ф.Ф. Дульцев, А.В. Ильин, Е.О. Чертовских // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 7. – С. 20-33.
2. Новиков Д.А., Гордеева А.О., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Житова Л.М. Влияние траппового магматизма на геохимию рассолов нефтегазоносных отложений западных районов Курейской синеклизы (Сибирская платформа) / Д.А. Новиков, А.О. Гордеева, **А.В. Черных**, Ф.Ф. Дульцев, Л.М. Житова // Геология и геофизика. – 2021. – Т.62. – № 6. – С. 861-881.
3. Новиков, Д.А. Гидрогеохимия венда Сибирской платформы / Д.А. Новиков, **А.В. Черных**, Л.Н. Константинова, Ф.Ф. Дульцев, И.И. Юрчик // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – № 8. – С. 1081-1101.
4. Новиков, Д.А. Гидрогеохимия доюрских комплексов Западной Сибири / Д.А. Новиков, Ф.Ф. Дульцев, **А.В. Черных**, В.А. Хилько, И.И. Юрчик, А.Ф. Сухорукова // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61. – № 11. – С. 1561-1576.
5. Каширцев, В.А. Прямые признаки нефтегазоносности и нефтематеринские отложения Суханского осадочного бассейна Сибирской платформы / В.А. Каширцев, Т.М. Парфенова, С.А. Моисеев, **А.В. Черных**, Д.А. Новиков, Л.М. Бурштейн, К.В. Долженко, В.И. Рогов, Д.С. Мельник, И.Н. Зуева, О.Н. Чалая // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 10. – С. 1472-1487.
6. **Черных, А.В.** Палеогидрогеохимия нефтегазоносных отложений Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных, Д.А. Новиков // Отечественная геология. – 2020. – № 2. – С. 81-96.

7. **Черных, А.В.** Палеогидрогеология Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных, Д.А. Новиков // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 4 (130). – С. 27-33.

Публикации в других научных изданиях и материалах конференций

8. **Черных, А.В.** Гидрогеологическая стратификация Анабаро-Хатангской седловины / А.В. Черных // Материалы 50-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Геология. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2012. – С. 46-46.

9. **Черных, А.В.** Гидрогеология нефтегазоносных отложений Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири: Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов, посвящ. 80-летию акад. А.Э. Конторовича. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 128-129.

10. **Черных, А.В.** Периодизация гидрогеологической истории Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Материалы Всероссийской конференции с международным участием "Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии" с элементами научной школы. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2015. – С. 796-800.

11. **Черных, А.В.** Гидрогеологические критерии нефтегазоносности Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов: Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием к 90-летию А.А. Карцева. – М.: ГЕОС, 2015. – С. 117-121.

12. **Черных, А.В.** Особенности формирования рассолов в девонских отложениях Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2017. – Т. 1 – С. 177-181.

13. **Черных, А.В.** Палеогидрогеохимия нефтегазоносных отложений Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии. Развитие геологоразведочных работ: Сборник научных статей. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. – С. 385-393.

14. **Черных, А.В.** Гидрогеохимия Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. – С. 532-537.

15. **Черных, А.В.** Структура геотермического поля Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2018. – Т. 1. – С. 40-46.

16. Новиков, Д.А. Равновесие рассолов Анабаро-Хатангского бассейна с минералами вмещающих пород / Д.А. Новиков, **А.В. Черных** // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – № 16. – С. 443-447.

17. **Черных, А.В.** Гидрогеологические критерии нефтегазоносности Анабаро-Хатангского бассейна / А.В. Черных // Геология на окраине континента: I молодежная научная конференция-школа, приуроченная к 60-летию юбилею ДВГИ ДВО РАН: Материалы. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2019. – С. 144-147.