

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Янников Алексей Михайлович

**Структурная гидрогеология коренных алмазных месторождений
Западной Якутии**

Специальность 1.6.6. Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2026

Диссертация подготовлена в институте «Якутнипроалмаз» АК АЛРОСА (ПАО)

Официальные оппоненты – **Железняк Михаил Николаевич**
доктор геолого-минералогических наук,
член-корреспондент РАН,
Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова Сибирского отделения
Российской академии наук, директор
Лаврушин Василий Юрьевич
доктор геолого-минералогических наук,
Геологический институт Российской академии
наук, заместитель директора по научной
работе
Рыбникова Людмила Сергеевна
доктор геолого-минералогических наук,
Институт горного дела Уральского отделения
Российской академии наук, лаборатория
экологии горного производства, главный
научный сотрудник

Защита диссертации состоится 16 октября 2026 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.1 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ, корпус «А», геологический факультет, аудитория 415.

Электронная почта: mgu.04.01@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3975>

Автореферат разослан 07 июля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук

Н.А. Харитонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Исследования криогидрогеологических условий кимберлитовых трубок Западной Якутии (рис. 1) были начаты практически сразу после их открытия. Работы выполнялись сотрудниками Амакинской ГРЭ и Западной экспедицией ИМЗ АН СССР.



Рисунок 1 — Обзорная карта кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции (по Костровицкому и др., 2015)¹

Последующая добыча алмазов потребовала планомерного изучения рассолов и гидрогеологической характеристики вмещающих пород. Исследования проводились многими учёными и специалистами: Абрамов В.Ю., Авдеева В.И., Агринский А.В., Акишев А.Н., Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Андреева С.М., Анциферов А.С., Асташкин В.А., Атрощенко Ф.Г., Афанасенко В.Е., Балашов Л.С., Балашов Ю.А., Балобаев В.Т., Баранов И.Я., Басков Е.А., Бобров А.К., Борисов В.Н., Ваганов В.И., Васильчук Ю.К.,

¹ Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции/С.И. Костровицкий и др.; науч. ред. Н.П. Похиленко; Акционерная компания «АЛРОСА», Науч. исслед. геологоразведочное предприятие (НИГП), ФАНО Институт геохимии РАН. – Мирный : Изд во НИГП АЛРОСА, 2015. – 480 с

Вахромеев А.Г., Великин С.А., Вельмина Н.А., Власов Н.А., Всеволожский В.А., Втюрин Б.И., Гавич И.К., Гензель Г.Н., Гиниятулин И.М., Гинсбург Г.Д., Готовцев С.П., Дроздов А.В., Ершов Э.Д., Ефимов А.И., Иванов А.В., Иост Н.А., Карцев А.А., Кирюхин В.А., Климентов П.П., Климовский И.В., Колганов В.Ф., Косыгин Ю.А., Крайнов С.Р., Лобанов В.В., Мельников П.И., Милашев В.А., Мироненко В.А., Овчинников А.М., Пиннекер Е.В., Романовский Н.Н., Тагильцев С.Н., Толстихин Н.И., Устинова З.Г., Хаин В.Е., Харьков А.Д., Шварцев С.Л., Швецов П.Ф., Шепелёв В.В. и др. В результате этих исследований были охарактеризованы криогидрогеологические условия месторождений, позволившие выполнить классификацию выделенных водоносных комплексов, провести стратификацию рассолов до глубин 500–800 м от дневной поверхности.

Дальнейшее развитие горных и добычных работ на месторождениях потребовало доизучения гидрогеологических и газодинамических условий, причём мощность впервые изучаемых и характеризующихся отложений в зависимости от месторождения составляла от 300 до 1000 м. Работы по изучению были выполнены непосредственно автором в 2014–2017 гг, либо под его прямым руководством в 2017–2024 гг в рамках разведочных проектов, а также в процессе эксплуатационно-разведочных работ и научно-методического сопровождения добычи.

Используя принципы и подходы, изложенные в работах В.М. Степанова по структурной гидрогеологии Восточной Сибири, автор применяет их к Якутской алмазонасной провинции, где криогидрогеологические условия существенно отличаются не только от аналогичных криоартезианских бассейнов из-за влияния зон динамического воздействия ультраосновных и основных интрузий, но и характеризуются вариативностью в пределах кимберлитовых полей и отдельных месторождений (Янников, 2022, 2023).

С точки зрения горно-геологического и структурно-гидрогеологического строения, практически любая кимберлитовая трубка, её тело и близлежащий массив вмещающих пород в радиусе (зависящем от её площади и, как правило,

составляющем от 200 до 1500 м), является локальной структурой сложного строения из-за невыдержанности коллекторов, наличия «гидравлических окон» по зонам эндо- и экзоконтактов, влияния микроблочных структур и малоамплитудной тектоники, а также зон вторичной минерализации и массопереноса, возникших на гидротермальном этапе развития.

Выявление структурных особенностей месторождений и их взаимосвязи с последующей локализацией в рамках отдельных кимберлитовых полей заключается в учёте фактической гидрогеологической и газодинамической ситуации в нижнепалеозойских кембрийских вмещающих породах в зонах динамического воздействия ультраосновного и основного магматизма, в том числе в отдельной оценке выделяемых в ММП пластов-коллекторов, расположенных в отметках отработки.

Таким образом, развивая подходы В.М. Степанова, автор обосновывает выделение структурной гидрогеологии как обособленного направления в рамках гидрогеологии криолитозоны алмазоносных провинций Восточной Сибири.

Цель работы – структурно-гидрогеологический анализ формирования локальных и региональных современных гидрогеологических условий в пределах кимберлитовых полей и трубок, обусловленных совокупностью природных и техногенных факторов для обоснования дальнейшей устойчивой открытой и подземной отработки алмазных месторождений, утилизации и использования дренажных вод.

Задачи исследований. Для достижения поставленной цели автору потребовалось решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ, провести исследования по оценке криогидрогеологических условий Западной Якутии с последующей схематизацией в пределах кимберлитовых полей и детализацией до уровня отдельных отрабатываемых месторождений и эксплуатируемых участков закачки. Рассмотреть основные аспекты криогидрогеологических условий формирования глубоких горизонтов главных месторождений.

2. Выявить и охарактеризовать факторы, влияющие на гидродинамический режим основных водоносных комплексов и горизонтов региона, в пределах карьерных и шахтных полей ключевых алмазоносных трубок.

3. Провести систематизацию структурно-тектонических и структурно-гидрогеологических условий коренных месторождений алмазов и установить степень влияния разрывных нарушений на гидрогеологические режимы шахтных и карьерных полей кимберлитовых трубок, включая формирование техногенных водоносных горизонтов в зонах закачки.

4. Оценить характер, объёмы и интенсивность техногенного влияния на геологическую среду в связи с выбранным вариантом обращения с дренажными водами, в зависимости от криогидрогеологических условий конкретного кимберлитового поля.

5. Выявить динамику и установить закономерности трансформации криогидрогеологических условий в результате техногенного воздействия, связанного с формированием природно-техногенных систем от разрабатываемых месторождений и участков закачки.

6. Изучить влияние разномасштабных техногенных нагрузок на криогидрогеологические условия кимберлитовых полей и локальные изменения геотермического режима, а также определить ключевые процессы и границы их воздействия.

7. Рассмотреть возможность применения дренажных рассолов отработанных месторождений в качестве гидроминерального сырья для добычи лития и оценить ресурсный потенциал на всем «жизненном цикле» отработки. Разработать критерии, позволяющие обосновывать необходимость и возможность строительства систем водозащиты карьеров и рудников, с наименьшим техногенным воздействием на геологическую среду.

Объект исследования — водоносные комплексы и горизонты криогидрогеологических бассейнов Западной Якутии, в том числе природно-техногенного происхождения, приуроченные к нижнепалеозойским,

преимущественно кембрийским породам и отложениям, слагающим осадочный чехол в отметках техногенного воздействия в пределах Якутской алмазоносной провинции.

Фактический материал, методы исследований. В основу диссертации легли результаты работы автора в АК АЛРОСА (ПАО) в период 2012-2024 гг. В результате был проведен весь комплекс исследований, как в полевых условиях, так и в подземных и открытых горных выработках. Работы, выполненные автором, включали: документацию керна скважин, сооружаемых с дневной поверхности и из подземных горных выработок (автором лично задокументировано и изучено более 20 тыс. п.м. керна); проведение режимных наблюдений по сети опытных скважин: замеры уровней, расходов рассолов, газов, компрессионные испытания; автором лично в полевых условиях и в подземных горных выработках выполнено более 120 тыс. замеров; составление отчетов с использованием результатов физико-механических, коллекторских, теплофизических и гидрохимических анализов керновых проб пород. Анализы выполнялись в специализированных сертифицированных лабораториях аккредитованных организаций. Автор являлся ответственным исполнителем более 80 производственных и научно-технических отчетов, заключений по проведенным работам и исследованиям, охватывающим все ключевые месторождения.

Научная новизна результатов исследований заключается в следующем:

1. В работе впервые на всю глубину отработки проанализированы криогидрогеологические и газодинамические условия глубоких горизонтов 11 ключевых кимберлитовых трубок. Определены границы распространения водоносных комплексов, осложняющих отработку месторождений алмазов.

2. Установлено влияние распределения разрывных нарушений на водообильность вмещающих пород в рамках карьерных и шахтных полей. Выявленные закономерности прослеживаются по всей осадочной толще в интервале фактической и планируемой отработки.

3. Впервые для коллекторов в зонах динамического воздействия ультраосновного и основного магматизма установлены закономерности распределения углеводородных газов, выявлена их зависимость от фильтрационных свойств.

4. Выявлены и охарактеризованы техногенные и природные факторы, влияющие на гидродинамический и геотермический режимы криолитозоны, а также региональных водоносных горизонтов и комплексов.

5. Впервые выявлены закономерности трансформации криогидрогеологических условий и геотермического режима в пределах природно-техногенных систем, сформированных в результате функционирования водоотливов и сопряжённых участков закачки. Разработаны основы количественного прогноза криогидрогеологических обстановок и динамики их изменения в результате техногенного воздействия.

6. По результатам изучения влияния техногенных нагрузок на криогидрогеологические условия и геотермический режим, предложена авторская классификация участков закачки. Определено, что ключевым фактором, определяющим локальные криогидрогеологические условия, являются системы разломов.

7. Обоснованы принципы дегазации коллекторов, опережающего водопонижения, а также разработаны критерии строительства систем осушения и защиты рудников и карьеров от затопления в зоне ММП.

8. Оценена возможность и перспективность использования дренажных рассолов всех коренных месторождений алмазов, приуроченных к пяти кимберлитовым полям: Алакит-Мархинскому, Верхне-Мунскому, Далдынскому, Мирнинскому и Накынскому, с учётом прогнозируемого изменения притоков, в качестве гидроминерального сырья для добычи лития.

Практическая значимость криогидрогеологического изучения Якутской алмазоносной провинции заключается в обеспечении безопасных промышленных и экологических условий на эксплуатируемых коренных и россыпных месторождениях, обоснования способов инженерной защиты

выработок рудников и карьеров от возможного затопления и загазованности, а также в накопления опыта, необходимого при последующей отработке других месторождений (в том числе алмазоносных трубок и углеводородов).

Апробация работы. Результаты и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 39 российских и международных совещаниях и конференциях: Воронеже (2018-2025), Екатеринбурге (2024), Иркутске (2019-2023), Мирном (2017-2021), Москве (2021-2023), Новосибирске (2018, 2021), Перми (2018-2022), Петрозаводске (2018), Санкт-Петербурге (2022), Саратове (2018), Томске (2023), Улан-Удэ (2021, 2023), Чите (2018), Якутске (2018-2024).

Публикации автора по теме диссертации. Основные положения, результаты и выводы диссертации отражены в 21 научной работе, 18 из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук.

Структура и объём диссертации. Диссертация содержит два тома. Том 1 изложен на 345 страницах, состоит из введения, восьми глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 504 наименования. Текст иллюстрирован 127 рисунками, содержит 47 таблиц. Том 2 (Приложения) имеет общий объём 48 страниц и состоит из 25 приложений.

Защищаемые положения:

1. С позиций структурной гидрогеологии водообильность коллекторов во вмещающих породах определяется разломно-блоковым строением месторождений, сформированным распределением разрывных нарушений в границах карьерных и шахтных полей. При этом наиболее проводящие зоны по всему разрезу осадочной толщи приурочены к северным и северо-восточным флангам кимберлитовых трубок, а площадь максимально обводнённых участков обусловлена рангом и количеством разрывных нарушений в пределах каждого блока шахтного поля конкретного месторождения.

2. Динамика трансформации криогидрогеологических условий в районах разработки кимберлитовых полей Западной Якутии имеет комплексную природу. Интенсивность изменений определяется взаимодействием доминирующих техногенных факторов: режимом и интенсивностью закачки дренажных рассолов с региональными природными условиями: структурно-тектоническое строение, гидрогеологический режим. Установлено, что в результате современного техногенного воздействия на Алакит-Мархинском, Далдынском, Мирнинском и Накынском полях уже произошли необратимые разнонаправленные изменения криогидрологических условий на площади порядка 800 км². Расчеты, основанные на текущей динамике, показывают, что к середине XXI века эта площадь увеличится до 2100 км².

3. Отработка месторождений алмазов и закачка дренажных рассолов во второй и третий ярусы криолитозоны сформировали сложные природно-техногенные криогидрогеологические системы с локальным изменением геотермического поля, составляющего от $-3,0$ до $+0,85$ °C, создав в криогенной толще рассолонасыщенные интервалы техногенных водоносных горизонтов. Их формирование, контролируемое теплотой фазового перехода, уже привело к плавлению 180 млн м³ жильных и конституционных подземных льдов. Дальнейшая закачка высокоминерализованных вод увеличит площадь этих систем до 250 км², а объем талых подземных вод к середине XXI века достигнет 550 млн м³.

4. Разработанная совокупность прогнозных гидрогеологических моделей позволила обосновать криогидрогеологические критерии, определяющие способы осушения и защиты рудников от затопления подземными водами, рациональные методы сбора и утилизации дренажных вод, а также оценить их ресурсный потенциал, как литий содержащих промышленных вод, составляющий для всех кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции не менее 48 тыс. тонн.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Постановка проблемы и методы исследований

В первой главе диссертации рассматривается текущее состояние изученности территории, указываются имеющиеся проблемы, требующие проведения научно-исследовательских работ. Охарактеризованы основные отличительные особенности горно-геологических и криогидрогеологических условий кимберлитовых трубок Западной Якутии. Описаны методы, применявшиеся в процессе исследований. Приведена краткая историческая информация по основным этапам становления алмазодобывающей промышленности. В завершающей части главы сформированы выводы-обоснования научных и прикладных задач, решаемые автором в рамках диссертационного исследования.

Глава 2. Геокриологические, криогидрогеологические условия и структурно-гидрогеологические модели Алаakit-Мархинского, Далдынского, Мирнинского и Накынского кимберлитовых полей

Формирование криолитозоны в пределах изучаемой территории обусловлено глобальными изменениями климата, которые начали происходить с конца неогена. Развитие мощной криогенной толщи контролируется тремя основными параметрами: температурой поверхностного слоя, теплопроводностью горных пород и мантийным тепловым потоком. Изучение криолитозоны на территории Западной Якутии началось в 60-е годы XX века. По результатам глубокого бурения и сопряжённых геотермических наблюдений, было установлено, что суммарная мощность отрицательно температурных горных пород, достигает 1450 м. Проведенные ранее исследования позволили получить базовую информацию о региональных геокриологических условиях.

Интенсивное техногенное воздействие, связанное с перемещением в процессе циклов «откачка-закачка» в течение 25 лет более 400 млн м³ высокоминерализованных дренажных вод, оказало существенное влияние на

геокриологические условия территории, что потребовало проведения специальных исследований.

В результате было доказано, что криогенная толща в пределах всех изучаемых кимберлитовых полей имеет трехъярусное строение, осложнена отрицательно температурными межмерзлотными и подмерзлотными водоносными комплексами (табл. 1) (Янников, 2022, 2023).

С точки зрения криогидрогеологической схематизации, геологическая среда была разделена на четыре типа пород: 1) коллекторы; 2) водоупоры; 3) криогенные водоупоры; 4) воздушно-сухие или частично льдонасыщенные породы, отрицательно температурной зоны аэрации.

Таблица 1 — Строение криогенной толщи (сост. Янников А.М.)

Кимберлитовое поле	Мощность криогенной толщи, м	Количество ярусов	Отрицательно температурные водоносные комплексы
Алакит-Мархинское	700–1000	3	Межмерзлотный нижнеордовикский (НоВК); Подмерзлотный верхнекембрийский (ВВК)
Далдынское	620–850	3	Подмерзлотный верхнекембрийский (ВВК); Подмерзлотный среднекембрийский (СВК)
Мирнинское	470–730	3	Подмерзлотный метегеро-ичерский (МИВК)
Накынское	700–900	3	Межмерзлотный верхнекембрийский (МВВК); Подмерзлотный верхнекембрийский (ПВВК)

Вмещающая толща трубок Алакит-Мархинского кимберлитового поля представлена преимущественно карбонатными породами венда, кембрия, ордовика и силура. Общая мощность толщи осадочных пород составляет 2,2–3,6 км. Перекрывающие породы представлены терригенно-пирокластическими образованиями алакитской толщи (P_2-T_1al) и комплексом траппов ($\gamma\beta P_2-T_1$).

Информация о вскрываемых водоносных толщах, в интервале планируемой отработки представлена в табл. 2.

Таблица 2 — Криогидрогеологические условия Алакит-Мархинского кимберлитового поля (сост. Янников А.М.)

Водоносный горизонт/комплекс	Отм. залегания, м	T, м ² /сут	Q, м ³ /сут	Примечание
Водоносные горизонты таликов	+620/+420	50–200	120–140	Пресные надмерзлотные безнапорные горизонты несквозных подрусловых и подоёрных таликов
НоВК	+260/+70	0,0014–0,01	10–12	Отрицательно температурные Cl-Mg-Ca рассолы, М до 130 г/л. Н до 20 м.
ВВК	-10/-600	0,02–0,60	150–450	Отрицательно температурные Cl-Mg-Ca рассолы, М до 348 г/л. Н до 300 м.
СВК	-650/-700	0,01–0,35	300–400	Положительно температурные Cl-Ca рассолы, М до 400 г/л. Н до 350–400 м.

В пределах Далдынского кимберлитового поля осадочный чехол также сложен преимущественно карбонатными породами венда и кембрия. Общая мощность осадочной толщи составляет 2,4–2,5 км (рис. 2). Перекрывающие породы в отм. +370/+350 м представлены маломощными терригенными отложениями четвертичного возраста и вулканогенными породами триаса.

Структурная позиция Далдынского кимберлитового поля определяется его положением в пределах Далдынской флексуры, разбитой на блоки глубинными субмеридиональными разломами, контролирующими среднепалеозойский трапповый магматизм. Непосредственно трубка Удачная – главное месторождение кимберлитового поля, расположена в опущенном крыле Далдынской флексуры. В осадочном чехле в интервале планируемой отработки выделяют три подмерзлотных комплекса (табл. 3).

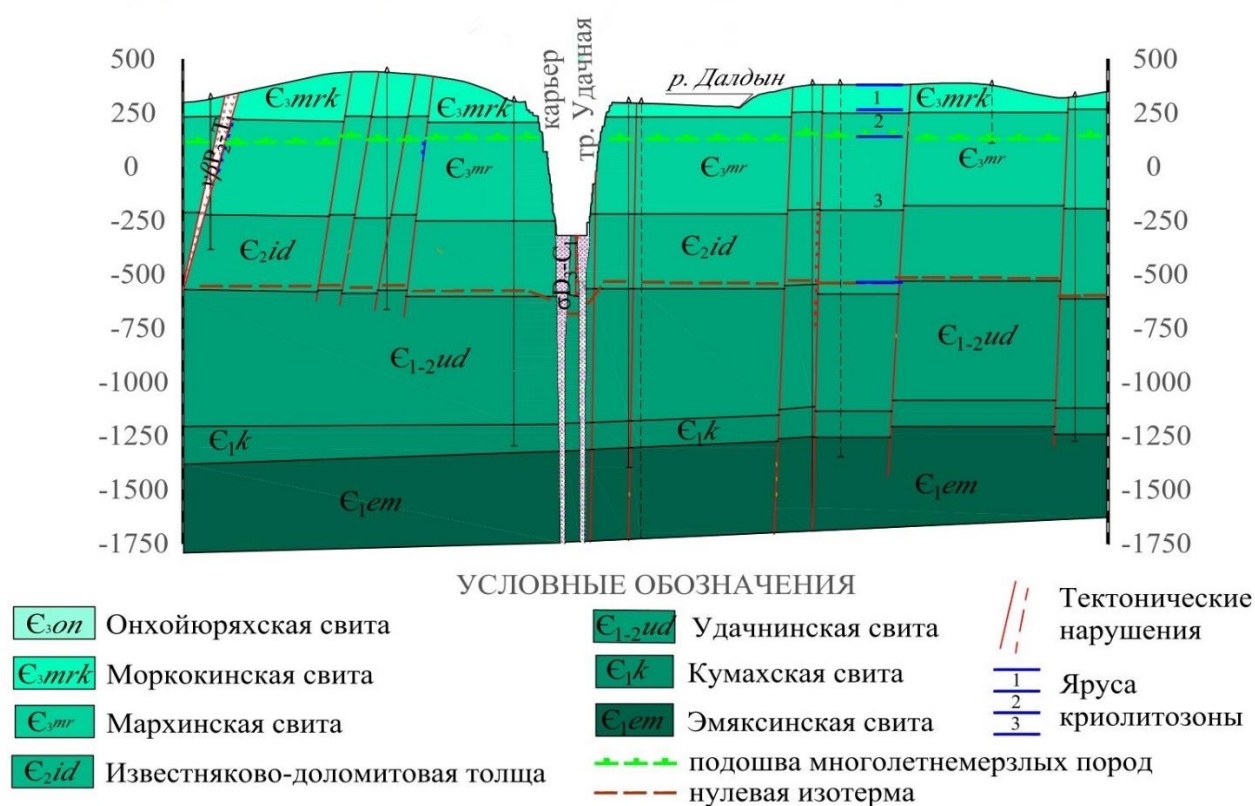
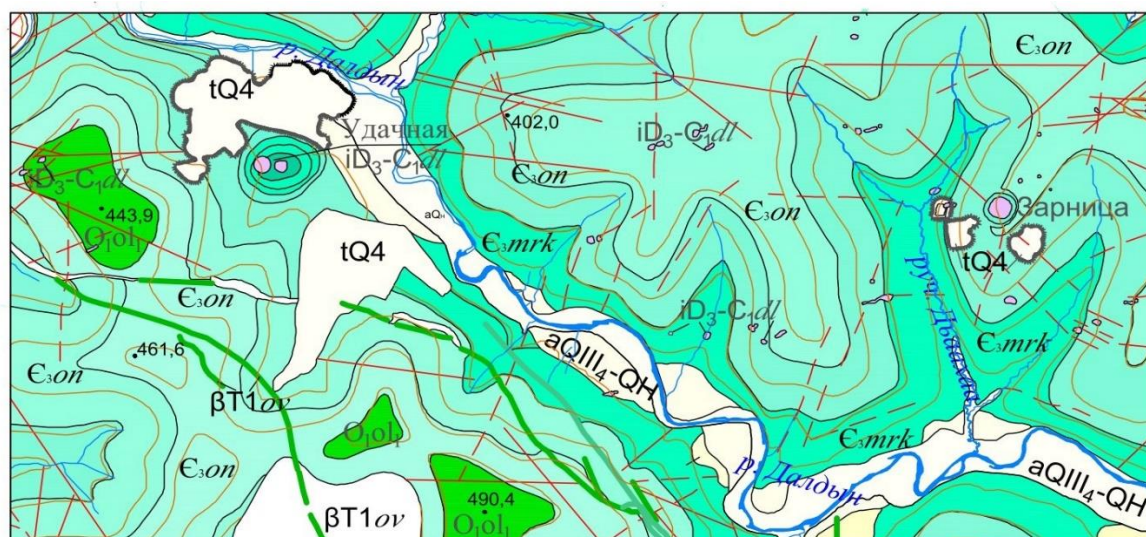


Рисунок 2 — Геологическая карта Далдынского кимберлитового поля (Янников, 2022)
(составлена по материалам Мирнинской геологоразведочной экспедиции (МГРЭ)).

Таблица 3 — Криогидрогеологические условия Далдынского кимберлитового поля
(сост. Янников А.М.)

Водоносный комплекс	Отм. залегания, м	T, м ² /сут	Q, м ³ /сут	Примечание
ВВК	+99/-200	0,001–0,3 (до 1,0)	10-1000	Отрицательно температурные Cl-Mg-Са рассолы, М до 300 г/л. Н до 50 м.
СВК	-200/-1000	2,5–40 (до 60,0)	7200-14000	Отрицательно температурные Cl-Са рассолы, с М до 380 г/л. Н до 450 м.
НВК	-1050/-1450	15–100 (до 150-200)	до 40 000	Положительно температурные Cl-Са рассолы, с М до 420 г/л. Н до 1200 м

В пределах Мирнинского кимберлитового поля осадочный чехол представлен карбонатно-терригенными отложениями венда, галогенно-карбонатными и терригенно-карбонатными породами кембрия. Суммарная мощность галогенных отложений ($\epsilon_{1\check{r}}$), (ϵ_{1tb}), (ϵ_{1nl}) и (ϵ_{1jur}) в осадочном чехле составляет 380-400 м (18%). Общая мощность осадочной толщи в районе ~ 2,1-2,2 км. Перекрывающие породы представлены терригенными породами юрского и четвертичного возраста (рис. 3).

Структурная особенность Мирнинского кимберлитового поля определяется его положением в пределах Мирнинского свода, разбитого на блоки Вилуйско-Мархинской зоной глубинных субмеридиональных разломов.

Мирнинское кимберлитовое поле отличается наличием в разрезе нескольких водоносных горизонтов и комплексов (табл. 4).

Таблица 4 — Криогидрогеологические условия Мирнинского кимберлитового поля (сост. Янников А.М.)

Водоносный горизонт/комплекс	Формация	Отм. залегания, м	T, м ² /сут	Q, м ³ /сут	Примечание
МИВК	надсолевая	+20/-150	5–300 (до 400,0)	24 000– 30 000	Отрицательно температурные Cl-Na рассолы, М 120 г/л. Н до 250 м.
ОлВГ	межсолевая	-550/-650	0,01–0,1 (до 0,5)	60–370	Положительно температурные Cl-Ca рассолы, М до 450 г/л. Н до 750 м.
ТолВК		-790/-1050	0,01–0,1 (до 0,5)	100–560	Положительно температурные Cl-Ca рассолы, М до 520 г/л. Н до 800 м
ЭлВГ		-1070/-1120	0,001–0,01 (до 0,1)	5–14	Положительно температурные Cl-Ca рассолы, М до 520 г/л. Н до 1100 м

Существенное уменьшение расходов природных рассолов в интервале толбачанского водоносного комплекса (ТолВК), олекминского (ОлВГ) и эльганского водоносных горизонтов (ЭлВГ), объясняется глубиной их залегания, и приуроченностью к зоне крайне затрудненного водообмена (Янников, 2019, 2021).



Рисунок 3 — Геологическая карта Мирнинского кимберлитового поля (Янников, 2022)

(составлена по материалам МГРЭ)

Вмещающая толща трубок Накынского кимберлитового поля в интервалах отработки +130/-530 м представлена терригенно-карбонатными породами кембрия и ордовика. Перекрывающие отложения +250/+130 м представлены терригенными породами юрского и четвертичного возраста. Структурно-тектонические условия определяют Ботубинский, Диагональный и Широтный разломы. Выделяются межмерзлотные (МВБК) и подмерзлотные (ПВБК) комплексы (табл. 5).

Таблица 5 — Криогидрогеологические условия Накынского кимберлитового поля (сост. Янников А.М.)

Водоносный комплекс	Отм. залегания, м	T, м ² /сут	Q, м ³ /сут	Примечание
МВБК	+160/-150	0,001–0,02	40–60	Отрицательно температурные Cl-Mg-Ca рассолы, М до 162 г/л. Н до 20 м.
ПВБК	-160/-844	0,001–0,31	100–180	Отрицательно температурные Cl-Ca рассолы, М до 300 г/л. Н до 250 м.

Наиболее сложными криогидрогеологическими условиями характеризуются Далдынское и Мирнинское кимберлитовые поля, Алакит-Мархинское и Накынское кимберлитовые поля имеют менее сложные условия.

Отличительные особенности Мирнинского кимберлитового поля: - мощные толщи галогенных пород, предопределили формирование надсолевых и межсолевых рассолов; - выделение в интервале метегерской и ичерской свит МИВК, насыщенного Cl-Na рассолами; - выделение в интервале олекминской, толбачанской и эльгянской свит коллекторов насыщенных Cl-Ca рассолами с минерализацией 450–520 г/литр.

Отличительными особенностями Далдынского кимберлитового поля являются: – обратная (аномальная) вертикальная зональность: увеличение водообильности водоносных комплексов с глубиной, обусловленная синергетическим влиянием структурно-тектонических, литолого-фациальных и криогидрогеологических условий; – все выделяемые в разрезе рассолы имеют Cl-Ca или Cl-Mg-Ca состав.

Алакит-Мархинское и Накынское кимберлитовые поля, несмотря на приуроченность к разным склонам Анабарской антеклизы, имеют ряд схожих черт: - низкие дебиты вскрываемых водоносных комплексов; - подмерзлотные рассолы претерпели несколько стадий метаморфизма; – рассолы межмерзлотных комплексов относятся к рассолам вымораживания, формируя природные линзы криопэги, приуроченные к зонам динамического воздействия разрывных нарушений.

Глава 3. Пластовые газы в пределах зон динамического воздействия кимберлитовых трубок: типизация, формы нахождения в коллекторах, проблемы опережающей дегазации при проходке

В процессе отработки глубоких горизонтов подземным способом проблемой, требующей детального исследования, является наличие коллекторов, содержащих углеводородные газы. Вскрываемые неструктурные скопления представляют угрозу для безопасного ведения проходческих и

добычных работ. Т.к. газоносность пород, состав и форма содержащихся газов определяют параметры вентиляции, скорость горнопроходческих работ, технологические решения по опережающей дегазации массива.

В процессе проведения исследований на всех кимберлитовых трубках было зафиксировано наличие углеводородных газов (таблица 6).

Таблица 6 — Состав пластовых газов (Янников и др., 2021, 2022, 2023)

Кимберлитовое поле	Интервал газонасыщенных пород: <u>от дневной поверхности</u> абс. отм., м	Среднее содержание в пробе, объёмная доля, %				
		СН ₄ (метан)	С ₂ Н ₆ (этан)	С ₃ Н ₈ (пропан)	С ₄ Н ₁₀ (бутан)	С ₅ Н ₁₂ (пентан)
Алакит-Мархинское	604-1000 -4/-400	84-85	2-10	0,3-2	0,02-0,2	0,05-0,35
Далдынское	650-1200 -300/-900	95-98	1-2,5	0,1-3	0,1-0,4	0,01-0,1
Мирнинское	544-1650 -205/-1300	92-98	1-6	0,2-0,7	0,05-0,2	0,02-0,2

В пределах Алакит-Мархинского кимберлитового поля углеводородное насыщение отмечено в коллекторах ВВК. Формирование скоплений углеводородных газов обусловлено литологическими и структурно-тектоническими факторами: — наличием в мархинской свите пластов-покрышек; — влиянием разноранговых тектонических нарушений; — наличием биогенного материала.

Анализ результатов опробования указывает на доминирующее положение метана. В процессе исследований был выявлен факт присутствия свободных пластовых газов во вмещающих породах, Q до 3,0 м³/ч. Наличие в разрезе ВВК газонасыщенных коллекторов подтверждалось фактом вскрытия пластовых газов на отм. -189,2 м, а рассолов на отм. -279,2 м; преобладанием V (2 850 м³) выделившегося газа над V (57 м³) рассолов; — отсутствие прямой связи между притоком рассолов и выделением газа.

Углеводородное насыщение осадочных пород Далдынского кимберлитового поля, связано со вскрываемыми водоносными комплексами: СВК и НВК, характеризующимися повсеместным углеводородным газонасыщением, составляющим 1-3,5 м³/м³, и увеличивающимся с глубиной.

Фактически полученные на трубке Удачной Q углеводородных газов соответствуют Q рассолов, с учётом газонасыщенности 1-1,5 м³/м³.

Газоносность кимберлитов трубки Удачная изменчива: в разрезе были установлены участки разуплотнённых пород, заполненных рассольно-газовой смесью, мощностью от 1,0 до 5–10 м. При вскрытии таких зон в течении 3-4 месяцев происходит выделение рассольно-газовой смеси Q до 15–20 м³/час.

Доминирующая часть газов выделяется при дегазации рассолов. Анализируя динамику истечения пластовых газов и природных рассолов из опытных скважин, отмечено синхронное изменение истечения газов и природных рассолов.

Месторождения Мирнинского кимберлитового поля характеризуются наиболее сложными газодинамическими условиями. Насыщенные углеводородными газами коллекторы выделены во всех нижнекембрийских породах (Янников, 2019, 2022). Зафиксированные скопления углеводородных газов обусловлены наличием пластов-покрышек; – влиянием разноранговых тектонических нарушений; – наличием биогенного материала.

Наибольшие скопления углеводородных газов зафиксированы в коллекторах толбачанской свиты. Находящийся в породах газ сопряжён с неструктурными залежами и пропластками. В целом изменение дебита во времени по скважинам имеет нисходящий тренд (табл.7).

Таблица 7 — Объём пластовых газов (Янников, 2021)

Год	Количество скважин, шт	Q, м ³ /час	V, м ³
2014	7	12,67	777 039.96
2015	21	3,13	575 874.51
2016	24	2,48	521 500.56
2017	24	1,06	223 801.56
2018	12	1,44	151 372,80
2019	14	2,09	256 317,60
2020	13	1,50	170 820,00
2021	11	0,65	62 634,00
2022	11	0,53	51 070,80

В настоящее время дегазация вмещающих пород выполняется на рудниках Интернациональный и Удачный (Янников, Харченко, 2021). Большинство выделенных коллекторов связано с карбонатными разностями:

известняками, доломитами. В первоначальном, неразгруженном состоянии, массив характеризуется не только достаточно высокими дебитами природного газа (Q более $150 \text{ м}^3/\text{час}$), но и высокими первоначальными пластовыми давлениями (свыше 100 кгс/см^2). Эффективность применяемых методов дегазации вмещающих пород подтверждается существенным (в 20-30 раз) падением дебитов газопроявлений.

В результате проведенных исследований была выполнена характеристика газодинамических условий:

- Вмещающие породы коренных месторождений Алакит-Мархинского кимберлитового поля не формируют значительных запасов УГВ. Это позволяет вести подземную добычу без опережающей дегазации.

- УГВ на месторождениях Далдынского кимберлитового поля, по причине преимущественного (до 90%) нахождения в растворенном состоянии в природных рассолах СВК и НВК, удаляются из массива комплексно в процессе осушения.

- Наиболее сложные газодинамические условия характерны для месторождений Мирнинского кимберлитового поля, а именно совокупность горно-геологических факторов, способствует формированию неструктурных газовых залежей, требующих проведения опережающей дегазации.

Глава 4. Крупномасштабные структурно-тектонические условия и водопритоки в пределах шахтных полей кимберлитовых трубок Якутии

Практическая применимость вариаций водопритоков заключается в учёте наиболее проницаемых и флюидообильных блоков при строительстве подземных горных выработок. Систематизация и последующая корреляция вмещающих массивов кимберлитовых трубок Айхал, Интернациональная, Мир, Удачная и Юбилейная выполнялись по фактически наблюдаемым и замеренным притокам. Прогнозные карты-схемы месторождений строились после корреляционного сопоставления планового расположения водопроявлений и систем разрывных нарушений.

В пределах шахтного поля трубки Интернациональная выделено 4 блока-зоны (рис. 4). Наиболее водообильная зона №1 (до 46,2 м³/сут) расположена на северном фланге, приурочена к малоамплитудному тектоническому нарушению. Наименее водообильная (до 5,2 м³/сут) не осложнена разломами.

Территория шахтного поля трубки Мир приурочена к субмеридиональной зоне влияния Параллельного разлома, относящегося к региональным тектоническим нарушениям. В карьере трубки Мир Параллельный разлом фиксируется во вмещающих породах зоной дробления, мощностью до 30 м. Трещиноватость вмещающих пород уменьшается по мере удаления от контакта с рудным телом. В приконтактной зоне (5–10 м) во вмещающих породах установлена радиальная и концентрическая трещиноватость. В результате определения фактических водопритокков шахтное поле месторождения можно разделить на 3 блока-зоны (рис. 5).

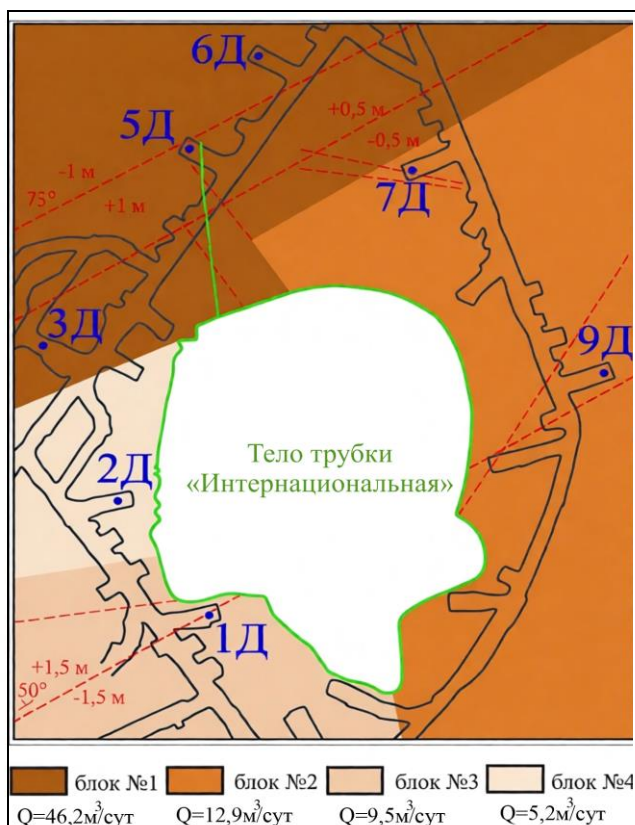


Рисунок 4 — Схема расположения зон, водообильности ТолВК, тр. Интернациональная²

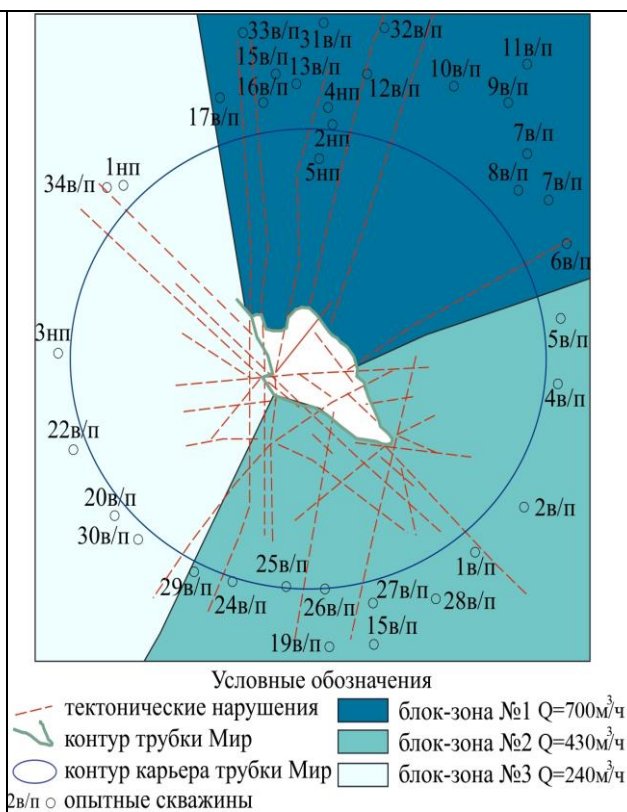


Рисунок 5 — Схема расположения зон водообильности МИВК, тр. Мир (сост. Янников А.М.)

² Схема составлена по материалам: Янников А.М. Информационный отчет о результатах мониторинговых замеров по сети дегазационных скважин гор. -790 рудника «Интернациональный» за 2013-2015 гг. Мирный.

Самая водообильная блок-зона №1 (до 700 м³/час), приурочена к северному и северо-восточному флангам месторождения, коррелируется с зоной динамического воздействия Параллельного разлома (северной части). S~9,22 млн.м². В данной зоне выделены 7 групп разрывных нарушений.

Наименее водообильная зона №3 (до 240 м³/час), в рамках данной зоны выделяются 3 системы разрывных нарушений. Все разрывные нарушения представлены малоамплитудными взбросами (до 1 м) или системами субвертикальной трещиноватости, проявлений складчатой тектоники в рамках зоны не зафиксировано.

В результате сопоставления выявленных разрывных нарушений и фактических притоков, в пределах шахтного поля трубки Удачная было выделено 3 зоны (рис. 6). Наиболее водообильная зона №3 (до 5760 м³/сут) приурочена к северо-восточному флангу месторождения. В пределах выделяемой зоны зафиксировано 8 взаимно пересекающихся разломов, причём для точек узлового пересечения характерна потеря геофизической корреляции, а также типичны карбонатные брекчии, с большим количеством систем субвертикальных открытых трещин, достигающих 10–15 см.

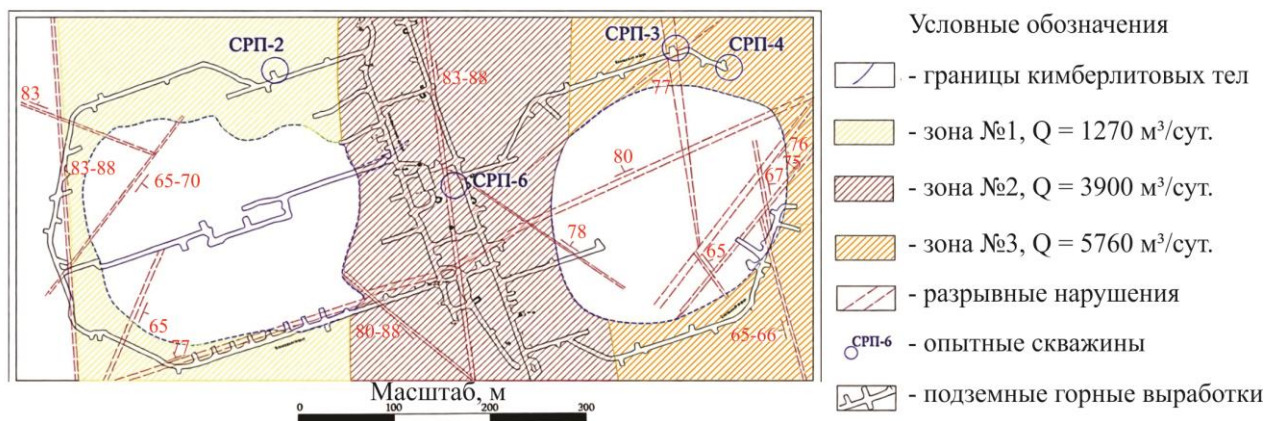


Рисунок 6 — Схема расположения зон водообильности СВК тр. Удачная (Янников, 2023)

Влияние выявленных тектонических нарушений на толщину вмещающих пород в пределах карьерного поля трубки Юбилейная определялось при

помощи планового изменения параметра притоков. Наиболее проницаемые блоки приурочены к СВ флангу (рис. 7).

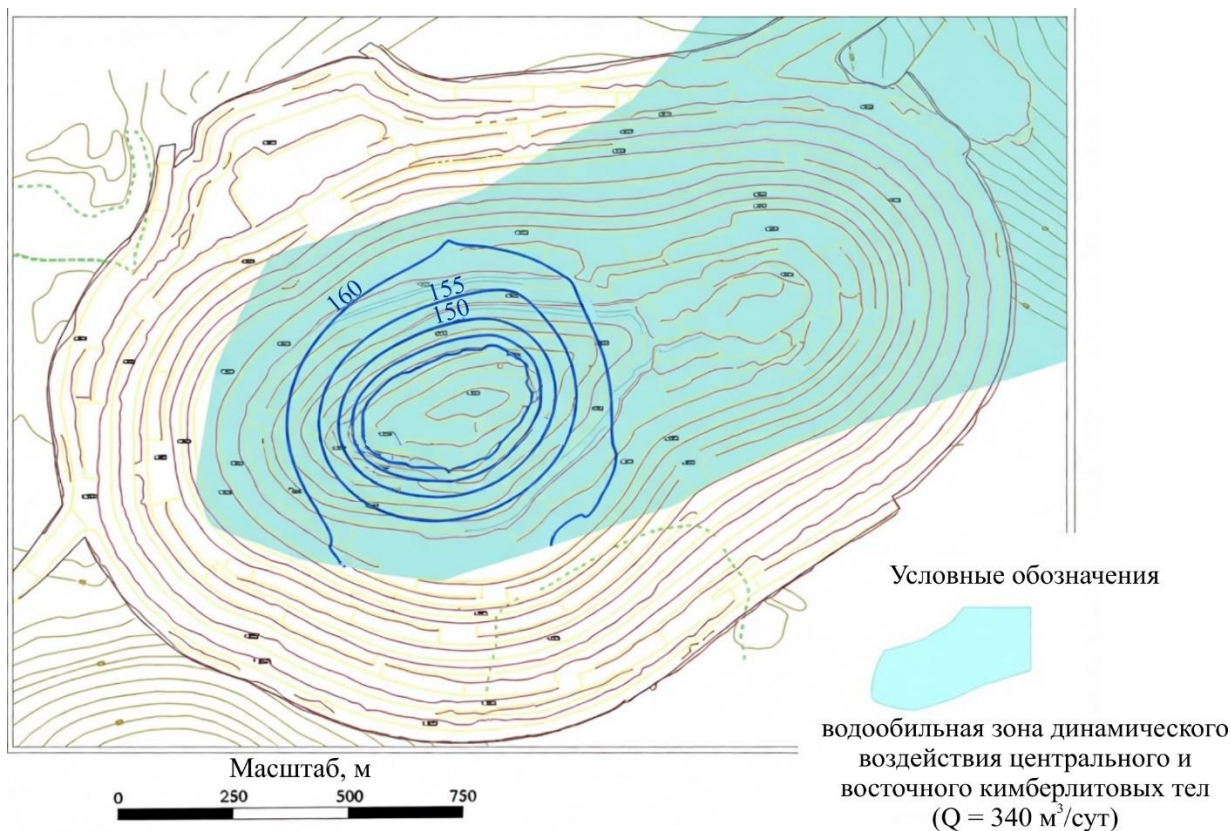


Рисунок 7 — Схема расположения зон водообильности карьерного поля тр. Юбилейная (Янников, 2022)

Обозначенная зона формирует 80% прогнозируемого к подземному руднику притока: 840 из 1050 м³/сут.

Влияние разрывных нарушений на обводнение трубки Айхал сводится к увеличенной ёмкости коллекторов непосредственно в зонах динамического воздействия и на небольшом удалении от них (до 10–15 м). Незначительные мощности выделяемых зон обусловлены низкоранговым характером изучаемых разломов, а также физико-механическими свойствами вмещающих пород.

Q рассолов на настоящий момент ~ 150 м³/сут, причём 70% приходится на зону динамического воздействия СВ кимберлитового тела (рис. 8).

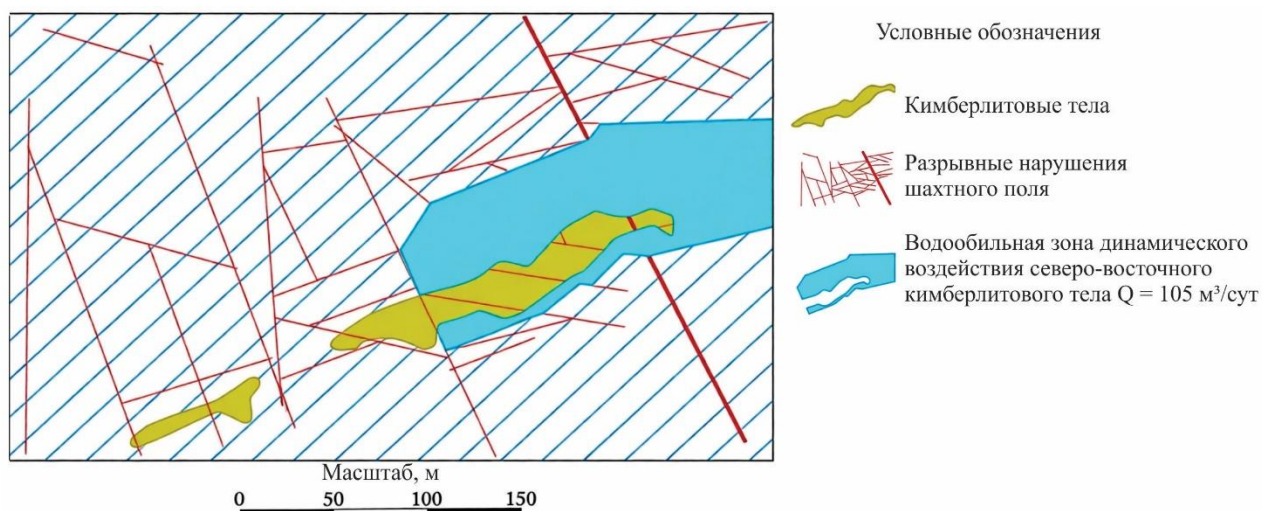


Рисунок 8 — Схема расположение зон водообильности шахтного поля тр. Айхал (Янников, 2022)

Проведенные исследования, результаты которых представлены в главах 2, 3 и 4 подтвердили закономерности, выносимые на защиту в рамках первого защищаемого положения; доказав, что водообильность коллекторов во вмещающих породах определяется структурно-гидрогеологическим фактором — разломно-блоковым строением месторождений, сформированным распределением разрывных нарушений в границах карьерных и шахтных полей. При этом наиболее проводящие зоны по всему разрезу осадочной толщи приурочены к северным и северо-восточным флангам кимберлитовых трубок, а площадь максимально обводнённых участков обусловлена рангом и количеством разрывных нарушений в пределах каждого блока шахтного поля конкретного месторождения. Причём на крупных трубках (Мир, Удачная и Юбилейная) данные зависимости более выраженные, чем на мелких (Айхал и Интернациональная).

Глава 5. Проблемы утилизации дренажных рассолов, их связь с криогидрогеологическими условиями кимберлитовых полей.

В настоящее время дренажные воды закачиваются обратно в недра, используется два вида коллекторов — формируемые в толще ММП и региональных водоносных комплексов. Процесс откачка-закачка является основообразующим для формирования изучаемых природно-техногенных

систем, определяющих гидродинамический режим водоносных горизонтов и комплексов в пределах рассматриваемых кимберлитовых полей. Объёмы перемещаемых природных рассолов не имеют аналогов, как на территории нашей страны, так и за рубежом. Закачка дренажных вод началась в конце 80-х годов 20-го века в пределах двух опытных участков: одного – эксплуатирующего коллекторы МИВК и второго – Октябрьского, ориентированного на толщу ММП. В процессе эксплуатации участков возник ряд проблем, связанных, прежде всего, с прогнозированием формируемого в результате закачки репрессионного купола растекания, а также с оценкой эффективной ёмкости коллекторов толщи ММП и режимом работы закачных скважин. Информация, полученная в процессе эксплуатации участков, а также при выполнении комплекса исследований, позволила не только масштабировать уже имеющиеся наработки по закачке на все кимберлитовые поля, но и уточнить ряд поисковых критериев. В результате было обосновано, что структурно-тектонический фактор является наиболее важным при формировании полезной ёмкости используемых участков, а также определяет производительность закачных скважин и процесс формирования зон вертикальной фильтрации.

Глава 6. Изменения гидродинамического режима подземных вод при отработке коренных месторождений алмазов и формирование природно-техногенных водонапорных систем в процессе откачка-закачка

Для месторождений Алакит-Мархинского кимберлитового поля для закачки рассолов трубок Айхал, Заря и Юбилейная используется толща ММП на участках Заречный и Ноябрьский. Глубина закачных скважин на участке Заречный составляет 200-250 м; на участке Ноябрьский – 230 м. Эксплуатация участков закачки приведёт к формированию межмерзлотных техногенных водоносных горизонтов V 3,2 и 5,5 млн m^3 соответственно. Выделенные два кластера природно-техногенных систем рассмотрены отдельно, т.к. они не оказывают друг на друга взаимного воздействия.

Первый включает в себя: рудник Айхал, с сопутствующим образованием локальной депрессионной воронки, с R до 2,0 км; участок закачки Ноябрьский, в 3 км от рудника.

Второй кластер состоит из: карьера Юбилейный; участка закачки Заречный, в 4 км от карьера.

Размеры природно-техногенных систем будут иметь ограниченное распространение, локализованное в пределах отдельных шахтных полей и участков закачки. Радиусы депрессионных воронок от отработки месторождений Алакит-Мархинского кимберлитового поля составят от 1,5 до 4,5 км. Эксплуатация участков закачки Ноябрьский и Заречный приведёт к формированию ограниченных по площади техногенных водоносных горизонтов (13,0–13,5 км²). Суммарная S техногенного воздействия составит ~ 40 км².

Для закачки рассолов трубок Далдынского кимберлитового поля используются коллекторы толщи ММП и НВК. Схема расположения участков закачки (на ММП и НВК) приведена на рис. 9.

Исследования, проведенные коллективом учёных ИЗК СО РАН и ИМЗ СО РАН, позволили обосновать использование толщи ММП для закачки дренажных вод. Предложенная технология имеет 30-летний опыт применения в АК АЛРОСА.

В настоящее время начата эксплуатация уже 4 участка закачки, данного типа. На 01.01.2023 г. закачано ~ 45 млн м³ дренажных рассолов, в том числе: 10,6 млн м³ в участок Октябрьский; 13,0 млн м³ в участок Киенгский; 21,0 млн м³ в участок Левобережный и 0,4 млн м³ в участок Левобережный-2. Распространение рассолов в ММП связано с уменьшением минерализации рассолов за счет разбавления растаявшим льдом. Это снижает агрессивность рассолов ко льду, что в наибольшей мере проявляется на периферии участков закачки. Пороговая минерализация нахождения в жидком состоянии ~ 50 г/л. Таким образом, 1 м³ рассола с минерализацией 350–400 г/л при $T -3^{\circ}\text{C}$ может растопить около 5 м³ льда. Дополнительным положительным фактором

выступает формирование зон перетока в нижележащий ВВК. Интервалы формирования коллекторов приурочены к карбонатным разностям моркокинской ($\text{Є}_3\text{mrk}$) и мархинской ($\text{Є}_3\text{mr}$) свит, т.е. находятся на глубинах 150–280 м от дневной поверхности.

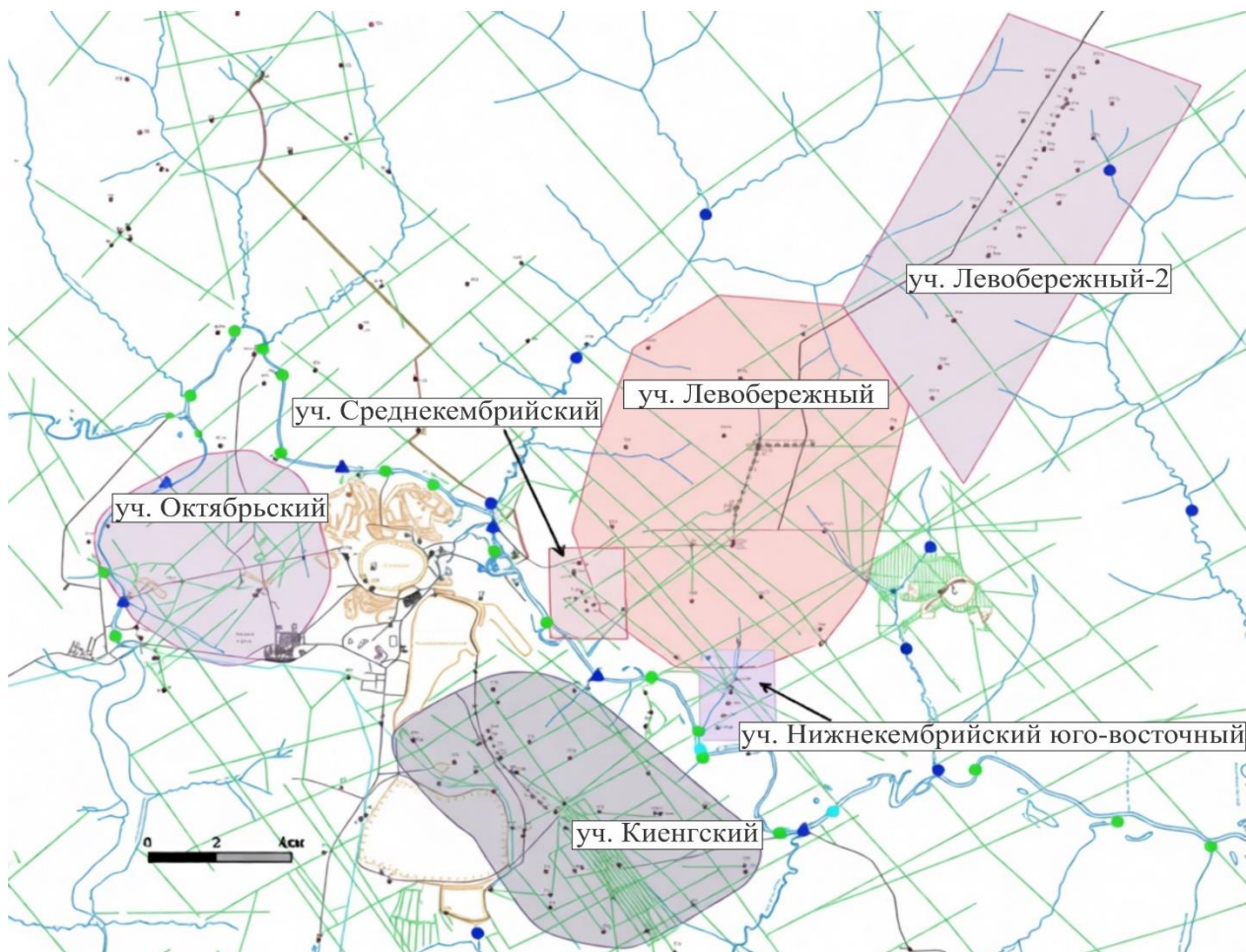


Рисунок 9 — Схема расположения участков закачки Далдынского кимберлитового поля
(Янников, 2022)

Учитывая текущую криогидрогеологическую ситуацию на руднике Удачный (Q рассолов $\sim 9000 \text{ м}^3/\text{сут}$), прогнозируемый рост притоков к системе ПГВ (до $\sim 40\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$ к 2062 г), закачка дренажных вод в зону ММП не может обеспечить растущую потребность. Поэтому в пределах Далдынского кимберлитового поля потребовалось строительство участков Среднекембрийский и Нижнекембрийский юго-восточный, использующих коллекторы НВК. Закачка дренажных вод на глубины 1450–1700 м от дневной поверхности, осуществлялась в опытном режиме в период 2016–2021 гг., всего в рамках ОФР было закачано $\sim 3,7 \text{ млн м}^3$.

Отработка трубки Удачная привела к разнонаправленным изменениям:

1. В пределах ВВК была сформирована депрессионная воронка R до 5 км, компенсируемая на участках Киенгский и Левобережный зонами вертикального перетока из техногенных водоносных горизонтов.

2. СВК подвергается интенсивному осушению в пределах шахтного поля трубки Удачная. По данным режимных наблюдений R воронки достиг 35 км.

3. Техногенное влияние на НВК будет разделено на 2 этапа. Этап 1 в период 2022–2035 гг. сопряжён с использованием коллекторов данного водоносного комплекса для закачки дренажных вод. В результате будет сформирован репрессионный купол $S \sim 350\text{--}400 \text{ км}^2$; Этап 2 в период с 2036–до конца отработки месторождения. В указанный временной интервал пьезометрическая поверхность НВК будет представлять собой дипольную природно-техногенную систему, состоящую из депрессионной воронки рудника Удачный, и куполов растекания от участков обратной закачки. Суммарная S природно-техногенной системы составит до 800 км^2 .

Для закачки дренажных рассолов месторождений Мирнинского кимберлитового поля используются коллекторы МИВК, испытывающего наибольшее техногенное воздействие (Янников и др., 2018, 2022). Техногенная нагрузка на гидродинамический режим тесно связана с этапами отработки трубок Мир и Интернациональная. Пьезометрическая поверхность МИВК в результате промышленного освоения будет представлять собой две депрессионных воронки компенсируемыми куполами растекания от участков закачки, расположенных в зонах динамического воздействия Восточного и Западного разломов. Процесс обратной закачки сформировал границу обеспеченного питания, формирующую планово ограниченные депрессионные воронки (Янников, 2021). Всего с 1989–2022 гг. в МИВК было закачено 340 млн м^3 дренажных вод. При этом V рассолов МИВК $\sim 294 \text{ млн м}^3$; 46 млн м^3 – это дебалансные воды и рассолы ОлВГ и ТолВК.

В рамках прогнозируемого периода (до 2050 г.) пьезометрическая поверхность МИВК претерпит существенные изменения (рис. 10).

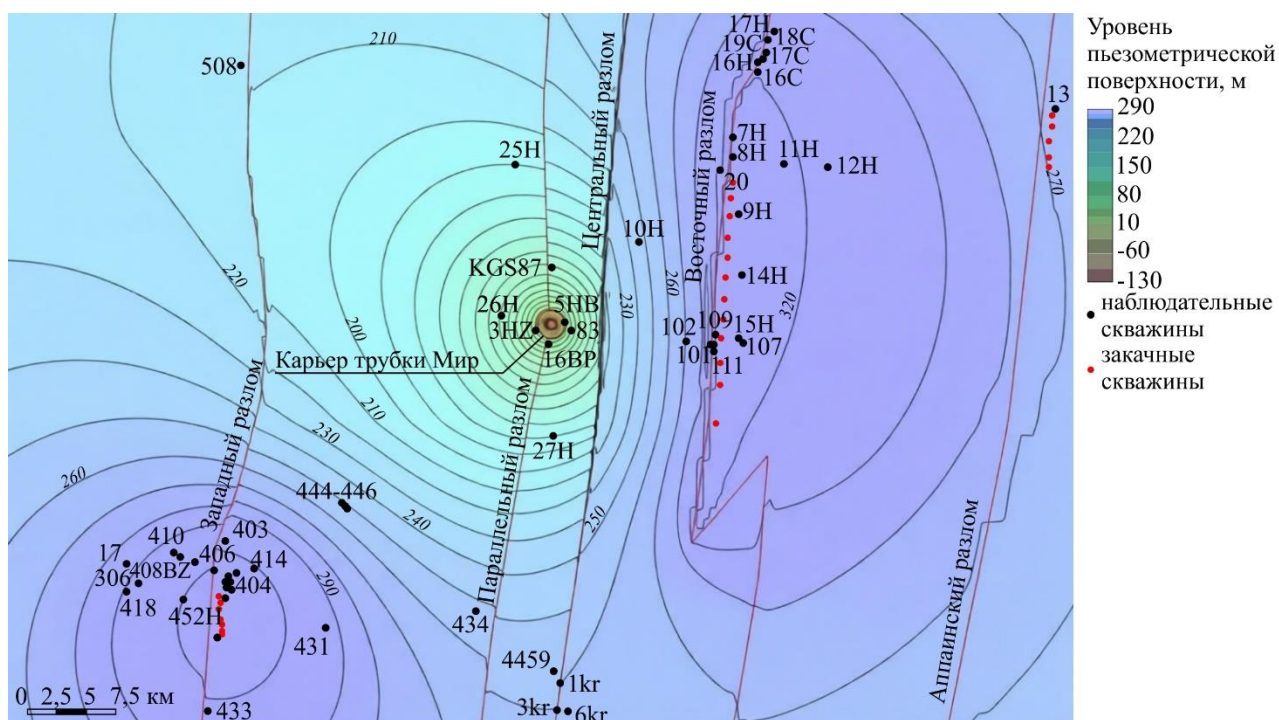


Рисунок 10 — Прогнозное распределение уровня подземных вод в МИВК на конец 2050 г (сост. Янников А.М.)

Прогнозируемые изменения будут происходить в несколько этапов:

Этап 1 — до 2026 гг., техногенное воздействие на МИВК будет заключаться в сравнительно небольших объемах дренажа и закачки в районе рудника Интернациональный: $V \sim 300\text{--}400$ тыс м^3 в год; продолжением восстановления уровней в районе трубки Мир до отм. +112/+115 м. Суммарная площадь техногенного воздействия $\sim 200 \text{ км}^2$ (Янников, 2022).

Этап 2 — 2027-2036 гг., техногенное воздействие на МИВК будет заключаться в полном вскрытии МИВК рудником Интернациональный, и закачке дренажных вод $V \sim 10,0\text{--}10,5$ млн м^3 в год; в районе трубки Мир будет продолжаться восстановление уровней. В пределах МИВК будет выделяться депрессионная воронка, с минимальным ЮЗ $R \sim 3 \text{ км}$; и максимальным СВ (до 20 км). S репрессионного купола за Западным разломом увеличится, репрессионный купол за Восточным разломом останется неизменным. Суммарная площадь техногенного воздействия увеличится до 400 км^2 .

Этап 3 — 2036-2044 гг., в районе трубки Интернациональная и участков закачки за Западным разломом изменений не произойдет; в районе трубки Мир начнется опережающее водопонижение; закачка дренажных вод будет

производиться за Восточным и за Аппаинским разломами в суммарном $V \sim 17,5\text{--}18,0$ млн м^3 в год. Воронка трубки Мир будет характеризоваться минимальным В и ЮЗ $R \sim 10$ км; и максимальным северным R (до 30–35 км). Площадь репрессионного купола за Западным разломом стабилизируется, репрессионный купол за Восточным и Аппаинским разломами сольётся в единую структуру. Суммарная площадь природно-техногенной системы, увеличится до 1000–1200 км^2 .

Этап 4 – с 2045 до остановки рудника Мир, техногенное воздействие на МИВК уменьшится из-за завершения отработки трубки Интернациональная, и будет состоять из депрессионной воронки трубки Мир и сопряжённого репрессионного купола. Суммарная площадь техногенного воздействия уменьшится и составит до 800 км^2 .

Депрессионные воронки в пределах ОлВГ и ТолВК будут ограничены шахтными полями трубок Интернациональная и Мир. Площадь суммарного техногенного воздействия на гидродинамический режим коллекторов олекминской и толбачанской свит составит $\sim 20\text{--}25$ км^2 .

Дренажные воды месторождений Накынского кимберлитового поля – трубок Ботуобинская и Нюрбинская закачиваются на участке Ботуобинский в коллекторы толщи ММП. Глубина закачных скважин составляет 205–210 м. В результате эксплуатации участка будет сформирован техногенный водоносный горизонт $V \sim 1,9$ млн м^3 . Радиусы депрессионных воронок от отработки месторождений Накынского кимберлитового поля составят для трубки Ботуобинская $\sim 2,5\text{--}3,0$ км, для трубки Нюрбинская $\sim 3,5\text{--}4,0$ км. Площадь суммарного техногенного воздействия на гидродинамический режим МВВК и ПВВК составит ~ 40 км^2 .

Текущее состояние гидродинамического режима изучаемой территории, а также прогнозируемые изменения, полученные с применением методов гидрогеологического моделирования, указывают на правомерность выносимых в рамках второго защищаемого положения теорий и принципов оценки, т.к. подтверждено наличие необратимых разнонаправленных

изменений криогидрологических условий на площади порядка 800 км², с последующим увеличением к середине XXI века площади техногенного воздействия до 2100 км². При этом динамика трансформации определяется доминирующим воздействием техногенных факторов, а также влиянием структурно-гидрогеологических особенностей месторождений, предопределяющих площадные параметры и характер формирования природно-техногенных систем в пределах изучаемой территории.

Глава 7. Изменения геотермического режима пород при отработке коренных месторождений алмазов в результате формирования природно-техногенных систем

Изучение геотермического режима пород в пределах участков закачки проводилось сотрудниками ИМЗ СО РАН и ИЗК СО РАН на первых этапах эксплуатации участков Октябрьский, Киенгский и Тымтайдахский. В результате проведенных исследований (Готовцев, Шепелёв и др.) были сделаны выводы о том, что закачка оказывает разнонаправленное действие на породы криогенной толщи, формируя аномальное распределение температур по стволу закачных скважин, выделялись участки как с положительными, так и с отрицательными градиентами.

Автором на основе всей имеющейся информации (1986–2022 гг.) была выполнена оценка динамики изменения температур горных пород на участках локализованного интенсивного техногенного воздействия, связанного с функционированием систем закачки дренажных рассолов.

Характеристика происходящих изменений была выполнена с учётом режима эксплуатации и криогидрогеологических условий конкретного кимберлитового поля. Главными параметрами, определяющими динамику изменений, являются интенсивность закачки (дебит и объём), наличие природных рассолов в интервалах закачки и температура пород в интервалах поглощения. Перечисленные факторы позволили создать классификацию участков закачки (табл. 8).

Таблица 8 — Классификация участков закачки (сост. Янников А.М.)

№ группы	Кимберлитовое поле	Название участка
1	Алакит-Мархинское, Накынское	Ботубинский, Заречный, Ноябрьский
2	Мирнинское	Узел обратной закачки (УОЗ), узел закачки вод(УЗВ)
3	Далдынское	Октябрьский, Киенгский, Левобережный, Левобережный-2
4	Мирнинское	Тымтайдахский, Южный
5	Далдынское	Среднекембрийский, Нижнекембрийский юго- восточный

1 группа – участки, эксплуатируемые с малой интенсивностью: Q закачки до $45 \text{ м}^3/\text{час}$, в качестве рассолопоглощающих используются породы второго яруса криогенной толщи.

2 группа – участки, эксплуатируемые с малой интенсивностью: Q закачки до $45 \text{ м}^3/\text{час}$, использующие в качестве рассолопоглощающих охлажденные породы третьего яруса криогенной толщи.

3 группа – участки, эксплуатируемые с средней и высокой интенсивностью: Q закачки $150\text{-}350 \text{ м}^3/\text{час}$, использующие в качестве рассолопоглощающих породы второго яруса криогенной толщи.

4 группа – участки, эксплуатируемые с средней и высокой интенсивностью: Q закачки $150\text{-}1500 \text{ м}^3/\text{час}$, использующие охлажденные породы третьего яруса криогенной толщи.

5 группа – участки, эксплуатируемые с средней и высокой интенсивностью: Q закачки $150\text{-}500 \text{ м}^3/\text{час}$, использующие коллекторы глубокозалегающих (ниже нулевой изотермы) водоносных комплексов.

Участки первой группы приурочены к Алакит-Мархинскому и Накынскому кимберлитовым полям (табл. 9).

Перед началом эксплуатации температура пород в пределах участков первой группы составляла от -3 до $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. По наблюдательным скважинам существенных изменений температуры зафиксировано не было, по закачным скважинам, напротив, были зафиксированы незначительные изменения температур (табл. 10).

Таблица 9 — Параметры эксплуатации участков закачки 1 группы
(сост. Янников А.М.)

Название участка	Объём закачанных рассолов, тыс.м ³	Оценённый объём, млн.м ³	% заполнения	Период закачки, гг	Интервал формирования техногенного водоносного горизонта, м
Накынское кимберлитовое поле					
Ботуобинский	200	1,9	10,5	2010–2022	110–210
Алакит-Мархинское кимберлитовое поле					
Ноябрьский	300	6,2	4,8	2013–2022	145–230
Заречный	5	3,15	0,1	2014–2022	140–250

Полученные данные позволяют говорить о локальном влиянии процесса закачки на геотермический режим второго яруса криолитозоны. Объёмы закачки недостаточные для формирования выдержанных площадных аномалий и компенсируются инертностью криогенной толщ.

Таблица 10 — Сравнительный анализ изменения температуры по стволу закачных и наблюдательных скважин участков 1 группы (сост. Янников А.М.)

№ скважины	Глубина скважины, м	Глубина залегания уровня, м	Диапазон Т°С по стволу	Т°С на забое	Глубина залегания уровня, м	Диапазон Т°С по стволу	Т°С на забое	Степень охлаждения, °С
		до начала эксплуатации			по состоянию на конец 2022 г.			
Закачные скважины								
102	210	сухо	-2,6/-2,9	-2,9	150,0	-6,7/-3,97	-3,97	-1,07
101	210	сухо	-5,1/-3,2	-3,2	154,8	-3,4/-4,2	-4,2	-1,0
2кр	205	сухо	-2,3/-2,9	-2,9	153,0	-3,87/-4,06	-4,06	-1,16
104	210	сухо	-2,8/-2,8	-2,8	162,3	-4,27/-3,92	-3,92	-1,12
106	210	сухо	-6,0/-2,9	-2,9	156,4	-3,7/-4,0	-4,0	-1,1
103	210	сухо	-2,5/-2,9	-2,9	156,8	-3,98/-4,08	-3,98	-1,08
Наблюдательные скважины								
105	210	сухо	-3,5/-3,8	-3,8	сухо	-3,7/-3,88	-3,88	-0,08
1кр	205	сухо	-5,0/-2,9	-2,9	158,0	-3,9/-4,21	-3,0	-0,1
6С	216	175,4	-4,0/-3,9	-2,9	162,8	-4,05/-3,89	-2,89	+0,01
3н	250	150,9	-2,9/-3,0	-3,0	148,7	-3,16/-3,9	-3,1	-0,1

Формируемый техногенный водоносный горизонт состоит из значительного количества вод криогенной толщ, изначально находившихся в твёрдой фазе. Вовлечение данного типа вод приводит не только к увеличению его объёма, но и площадному изменению минерализации (Янников, 2022, 2023). Прогнозный V вод криогенной толщ, вовлечённый в процесс формирования природно-техногенных геосистем составит: 3-4 млн м³ для

участка Ботуобинский; 5-6 млн м³ для участка Заречный; 10-12 млн м³ для участка Ноябрьский.

Участки второй группы – это УОЗ и УЗВ рудника Интернациональный, расположенные в зоне динамического воздействия регионального Западного разлома Мирнинского кимберлитового поля. Режим работы закачных скважин определяется параметрами проницаемости и водопроницаемости, и регулируется как опытным путем (ОФР), так и с помощью цифровых гидродинамических моделей, которые позволяют определить оптимальный режим закачки. Рассмотрим изменение температуры в стволах скважин (табл. 11).

Таблица 11 — Изменения температуры по стволу закачных скважин участков 2 группы (сост. Янников А.М.)

№ скважины	Глубина скважины, м	Глубина залегания уровня, м	Диапазон Т°С по стволу	Т°С на забое	Глубина залегания уровня, м	Диапазон Т°С по стволу	Т°С на забое	Степень охлаждения, °С
		до начала эксплуатации			по состоянию на конец 2022			
403	530	229,32	-1,4/-2,26	-1,4	180,0	-0,55/-1,0	-0,55	+0,85
407	605,5	235,0	-1,55/-2,45	-1,55	180,1	-0,8/-1,1	-0,8	+0,75
409	600,0	240,70	-1,2/-2,5	-1,2	179,8	-1,0/-2,4	-1,0	+0,2
410	600,0	240,75	-1,1/-2,45	-1,1	181,0	-0,57/-1,4	-0,57	+0,53
414	600,0	236,92	-1,0/-2,23	-1,0	180,4	-0,55/-1,0	-0,55	+0,45

Исходя из представленной информации можно сделать вывод, что закачка дренажных вод, произведенная в зоне динамического влияния Западного разлома в период 2001–2023 гг., привела к увеличению температуры по стволам скважин на +0,2/+0,85 °С. Данный процесс обусловлен тем фактом, что закачиваемые воды успевают нагреться в процессе их аккумуляции и сбора в ПГВ до температур +3/+4°С. Несмотря на отепляющий эффект, изменений граничных условий криолитозоны не произошло даже непосредственно в пределах участка закачки УОЗ.

Участками третьей группы являются Киенгский, Левобережный, Левобережный-2 (рис. 9) и Октябрьский. Данные участки для закачки дренажных вод используют породы второго яруса криогенной толщи (табл. 12).

Таблица 12 — Параметры эксплуатации участков закачки 3 группы
(сост. Янников А.М.)

Название участка	Объём закачанных рассолов, млн.м ³	Прогнозный полезный объём, млн.м ³	% заполнения	Период закачки, гг	Интервал формирования техногенного водоносного горизонта, м
Далдынское кимберлитовое поле					
Октябрьский	10,6	10,6	100	1985–2001	150–270
Киенгский	13,0	15,5	84	2001–2013	214–273
Левобережный	21,0	25,0	84	2012–2023	180–295
Левобережный-2	0,4	17,0	2	2021–2023	148–267

Режимные наблюдения, проведенные в период 2002-2012 гг., показали, что температура горных пород в интервалах поглощений за время эксплуатации изменилась от -2,28 до -5,0 °С. Проведенным циклом наблюдений установлено, что на уровне рассолопоглощающих интервалов толщи ММП произошло общее снижение температур горных пород на 1,5–2,2 °С (табл. 13). При анализе результатов, полученных в 2012–2020 гг., можно отметить тенденцию к выравниваю температур и постепенной стабилизации в районе от -2 до -4°С.

По результатам замеров на участке Левобережный фиксируется устойчивое температурное поле со значением от -2,5 до -5,4 °С (Янников, 2023).

Таблица 13 — Изменения температуры по стволу скважин участков 3 группы
(сост. Янников А.М.)

Глубина (м)	участок Киенгский						участок Левобережный			
	закачные скважины			наблюдательные скважины			закачные скважины		наблюдательные скважины	
	температура по стволу скважины, °С									
	2003 г	2012 г	2022 г	2003 г	2012 г	2022 г	2012 г	2022 г	2012 г	2022 г
100	-1,6	-2,8	-1,95	-1,5	-2,9	-2,2	-2,5	-3	-1,9	-2,5
150	-2,2	-2,66	-2,52	-3,3	-3,64	-3,44	-2,7	-3,1	-3,4	-5,5
200	-2,2	-2,66	-2,52	-3,3	-3,64	-3,44	-4,1	-4,75	-4,9	-5,3
250	-2,3	-2,66	-2,52	-3,3	-3,64	-3,44	-4,8	-5,6	-4,3	-5,3
270	-2,38	-2,65	-2,52	-3,3	-3,64	-3,44	-4,5	-5	-4	-5,2

Полученные по участкам Киенгский и Левобережный свидетельствуют о влиянии процесса закачки на геотермический режим второго яруса криолитозоны. Объёмы закачки позволяют сформировать выдержанные аномалии значительной площади, сопоставимые с площадью участков

(35 и 50 км²), т.к. продолжительность и интенсивность воздействия уже не компенсируются инертностью процессов криолитозоны (табл. 13).

Наблюдаемый процесс уменьшения температуры связан с режимом эксплуатации. Прогнозный V вод криолитозоны, вовлечённый в процесс формирования природно-техногенных геосистем составит: 40-45 млн м³ для участка Октябрьский; 65-70 млн м³ для участка Киенгский; 85-100 млн м³ для участка Левобережный; 75-80 млн м³ для участка Левобережный-2.

Полученная в процессе исследований информация позволяет оценивать техногенное воздействие в пределах Далдынского кимберлитового поля. На первом этапе площади формирующихся во втором ярусе криогенной толщи природно-техногенных систем составят порядка 85–90 км².

Развитие системы закачки рудника Удачный в 2030–2050 гг. с использованием дополнительных участков: Далдынский, Правобережный и Сугунахский увеличит суммарную площадь до 250 км², что позволит отнести данное воздействие к региональному. Расчётный суммарный объём вод криолитозоны, вовлечённый в процесс формирования природно-техногенных геосистем: техногенных водоносных горизонтов, в настоящее время составляет 180 млн. м³, с последующим увеличением до 550 млн. м³.

Участки четвертой группы: Тымтайдахский и Южный расположены в Мирнинском кимберлитовом поле в зоне динамического воздействия регионального Восточного разлома; закачка производится в МИВК. Для прослеживания динамики изменения температуры во времени под влиянием закачки 340 млн м³ дренажных вод, по скважинам режимной сети выполнялась термометрия. В результате проведенного анализа зафиксированы изменения геотермического режима: – в скважинах, удаленных от эпицентра закачки на 15 и более км, отмечается снижение T, составляющее от -0,5 до -2 °C; – по скважинам, расположенным непосредственно в эпицентре закачки, фиксируется уменьшение T на -3 °C; – по скважинам, расположенным в зоне динамического воздействия Восточного разлома на 3–5 км севернее участков

закачки, и скважинам, расположенным в межразломном блоке, также отмечено понижение T от - 1,5 до -2,3 °С.

Закачка дренажных вод, осуществляемая в зоне динамического влияния Восточного разлома, осуществляемая через поверхностный накопитель большой емкости, привела к уменьшению температуры от -0,5 до -3 °С. Это связано с тем, что забор рассолов из накопителя производился заглублёнными насосами, что обеспечивало круглогодичную отрицательную температуру рассолов от -1 до -7 °С (табл. 14).

Таблица 14 — Изменения температуры по стволу скважин участков 4 группы (сост. Янников А.М.)

Глубина, м	в эпицентре закачки			в 3–5 км от эпицентра закачки			в 5–10 км от эпицентра закачки			в 10–20 км от эпицентра закачки		
	температура по стволу скважины, °С											
	1994	2013	2017	1994	2013	2017	2003	2013	2017	1986	2013	2017
160	-1,20	-1,30	-4,77	-1,10	-0,70	-3,27	-2,80	-3,05	-3,44	-1,77	-1,94	-2,81
200	-1,10	-1,20	-4,61	-1,10	-0,70	-3,25	-2,70	-2,95	-3,44	-1,72	-1,84	-2,57
240	-1,00	-1,10	-4,41	-1,00	-0,80	-3,26	-2,50	-2,77	-3,44	-1,49	-1,58	-2,27
280	-0,80	-0,90	-3,91	-0,90	-0,80	-3,17	-2,30	-2,62	-3,44	-1,16	-1,29	-1,96
320	-0,80	-0,80	-3,67	-0,80	-0,80	-3,08	-2,10	-2,50	-3,44	-0,88	-1,00	-1,72
360	-0,60	-0,70	-3,75	-0,70	-0,70	-2,98	-1,95	-2,35	-3,34	-0,66	-0,80	-1,56
400	-0,40	-0,60	-3,82	-0,60	-0,60	-2,87	-1,75	-2,17	-3,19	-0,51	-0,64	-1,39
440	-0,40	-0,50	-3,66	-0,40	-0,50	-2,73	-1,50	-1,97	-3,03	-0,34	-0,47	-1,20
480	-0,30	-0,40	-3,84	-0,40	-0,40	-2,60	-1,28	-1,81	-2,87	-0,15	-0,29	-1,06
520	-0,20	-0,20	-3,83	-0,20	-0,30	-2,48	-1,10	-1,66	-2,74			

Участками пятой группы являются Среднекембрийский и Нижнекембрийский юго-восточный (рис. 9), использующие для закачки коллекторы НВК, расположенные ниже нулевой изотермы. Закачанные в настоящее время объёмы дренажных вод незначительны, чтобы привести к трансформации геотермического режима НВК. Однако накопленный опыт эксплуатации участков закачки, позволил выполнить прогноз изменения.

Влияние процесса закачки на изменение нижней границы криолитозоны будет связано с режимом эксплуатации. В настоящее время предполагается два альтернативных способа: Способ №1 – строительство накопителя минерализованных вод, $V \sim 10$ млн м³; Способ №2 – закачка всего объёма

дренажных вод с применением имеющейся инфраструктуры без использования буферных накопителей.

При условии строительства накопителя минерализованных вод произойдёт формирование термодинамического режима, характеризующегося круглогодичной отрицательной температурой закачиваемых рассолов, что приведёт к формированию отрицательного температурного градиента в радиусе 1 км от закачного ряда $\sim -0,2^{\circ}\text{C}$ в год. Рассчитанная прогнозная величина в целом согласуется с фактически зафиксированной при эксплуатации участков закачки рудника Мир $-0,15^{\circ}\text{C}$ в год (в эпицентре закачки).

При производстве закачки с использованием имеющейся инфраструктуры, для участков 5 группы до 2038 г будут справедливы закономерности, выявленные при эксплуатации участков 3 группы (уменьшение температуры по ряду закачных скважин на $-0,1^{\circ}\text{C}$ в год). Прогнозный объём закачки за это время составит порядка 60 млн м^3 . Закачка в указанном режиме приведёт к локальному понижению нулевой изотермы на 100–150 м непосредственно в эпицентре закачки. Начиная с 2038 г тренд на охлаждение сменится, т.к. доминирующая роль в формировании дренажных рассолов рудника Удачный придётся на НВК, что приведёт к закачке рассолов с положительной температурой от $+2$ до $+4^{\circ}\text{C}$. Учитывая объёмы закачки до 10–14 млн м^3 в год, в пределах закачного ряда скважин прогнозируется обратный процесс растепления пород. Прогнозная площадь техногенного воздействия вокруг каждой скважины составит 450–500 м^2 , суммарная площадь от 10 закачных скважин до 5 000 м^2 . Учитывая суммарную площадь техногенного воздействия на НВК, которая к середине 50 х гг. XXI века достигнет 800 км^2 , зоны локального растепления составят всего 0,0006%.

Рассмотренные в рамках главы выявленные закономерности изменения геотермического режима в пределах участков закачки подтверждают факт формирования сложных природно-техногенных геосистем, с существенной локальной трансформацией геотермического и криогидрогеологического

режимов, составляющие от $-3,0$ до $+0,85$ °С. Процесс образования в пределах участков закачки, использующих второй ярус криолитозоны техногенных водоносных горизонтов, контролируемый теплотой фазового перехода, уже привёл к вовлечению 180 млн. м³ подземных льдов, с прогнозируемым ко второй половине XXI века увеличением как объема до 550 млн. м³, так и площади выделенных геосистем до 250 км².

Глава 8. Геохимия рассолов кимберлитовых трубок как потенциал гидроминерального сырья и проблемы выбора систем осушения и защиты от затопления

Проблемы рассольного насыщения вмещающих пород коренных месторождений алмазов рассматривались многими учёными, как во второй половине XX века (Н.Н. Романовский, Е.В. Пиннекер, П.И. Трофимук, С.Л. Шварцев, М.Б. Букаты, А.Г. Вахромеев и др.), так и в XXI – Алексеев С.В., Алексеева Л.П. и др. Всеми исследователями отмечалась уникальность природных рассолов Западной Якутии, и подтверждалась ключевая роль литолого-фациальных, гидрогеологических и геокриологических условий, повлиявших на процессы их формирования.

Наличие в разрезе вмещающих пород высокоминерализованных Cl-Ca рассолов, имеющих в своём составе элементы, представляющие промышленный интерес: Br, Li и др. позволяет рассматривать дренажные воды месторождений в качестве гидроминерального сырья. Перспективы применения рассолов Верхневилуйского и Оленёцкого криоартезианских бассейнов в рамках своих исследований рассматривала Алексеева Л.П. В результате, основываясь на фактически полученных притоках дренажных вод, был сделан вывод о перспективности использования рассолов трубки Удачная.

В представленной работе выполнена оценка перспектив использования дренажных вод применительно ко всем кимберлитовым полям, также выполнен пересчёт по Далдынскому кимберлитовому полю, исходя из уточнённых параметров прогнозного притока к шахтному полю (табл. 15).

Таблица 15 — Ресурсный потенциал кимберлитовых полей по Li
(сост. Янников А.М.)

Кимберлитовое поле	Водоносный комплекс	Содержание Li, г/м ³		Период попутной добычи, гг	Ресурсный потенциал, тонн/год	Суммарный потенциал, тонн
		min	max			
Алакит-Мархинское	НоВК, ВВК	15	100	2024–2054	1,8–5,5	140
Мирнинское	ОлВГ, ТолВК, ЭлВГ	250	400	2024–2054	1,8–22,0	440
Накынское	ВВК	20	70	2024–2044	0,7–1,8	25
Верхне-Мунское	СВК	17	36	2031–2038	3,6–59,1	208
Далдынское	СВК, НВК	140	300	2024–2070	345–2090	46700

Исходя из полученной информации, суммарный ресурсный потенциал дренажных рассолов на всем жизненном цикле отрабатываемых месторождений составляет не менее 48 тыс.т Li. Годовая добыча металла может составлять от 345 до 2090 т в год. Необходимо отметить, что 97% ресурсов Li приходится на дренажные воды рудника Удачный. Для добычи 46,7 тыс.т Li через технологический цикл придётся пропустить ~ 335 млн м³ дренажных рассолов. Из оставшихся 3% ресурсного потенциала к реализации попутной добычи Li могут быть рекомендованы Cl-Ca рассолы олекминской, толбачанской и эльганской свит месторождений Мирнинского кимберлитового поля, в виду высоких содержаний Li.

Присутствие в интервале вмещающих пород рассолонасыщенных коллекторов является определяющим фактором при проектировании систем осушения и защиты карьеров и рудников от затопления, накладывая жёсткие ограничения на обращение с формируемыми дренажными водами, из-за сопутствующих экологических рисков. Ключевым фактором, позволяющим реализовывать централизованный, а не отдельный сбор дренажных вод является процентное соотношение атмосферных вод и природных рассолов. Минимально необходимое (допустимое) соотношение, позволяющее производить закачку дренажных и смешанных вод, составляет 1:1. Рекомендуемое количество не должно превышать 20% от суммарной годичной производительности закачки на сопряжённом отрабатываемому месторождению узле закачки. В настоящее время после подготовки

соответствующего обоснования по целому ряду ключевых месторождений был реализован отдельный сбор различных типов вод, что позволило на 70–80% уменьшить объём атмосферных вод, попадающих в систему сбора высокоминерализованных дренажных вод.

Разработанная в процессе исследований и прогнозирования динамики изменений режима подземных вод в пределах объектов изучения совокупность прогнозных гидрогеологических моделей позволила оценить суммарный прогнозный ресурсный потенциал дренажных рассолов всех кимберлитовых полей на всем «жизненном цикле» отработываемых месторождений, а также усовершенствовать применяемые при открытой и подземной отработке методы осушения и водоотведения, подтвердив справедливость технологических принципов, выносимых на защиту в четвёртом положении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доказано, что совокупность условий осадконакопления, последующего структурно-тектонического развития Якутской алмазонасной провинции на протяжении геологических периодов, а также наложенные в четвертичном периоде процессы криогенеза, определили криогидрогеологические условия кимберлитовых полей. Особенности вертикальной зональности являются определяющим фактором для проектирования систем обратной закачки дренажных вод отработываемых алмазных месторождений.

Обосновано влияние разломно-блокового строения месторождений, формируемого распределением разрывных нарушений в рамках карьерных и шахтных полей, на водообильность выделяемых коллекторов: наиболее обводнённые зоны приурочены к северным и северо-восточным флангам, с корреляцией по всей толще осадочных пород.

Спрогнозировано влияние отработки месторождений алмазов и сопутствующей закачки дренажных вод на изменение гидродинамического режима водоносных горизонтов и комплексов. Доказано формирование сложных площадных разноразмерных природно-техногенных геосистем.

Рассмотрены аспекты влияния процесса откачка-закачка на геотермический режим криогенной толщи. Предложенная классификация участков закачки позволяет обосновывать наиболее экологически безопасный и наименее интенсивный для геологической среды способ обращения с высокоминерализованными дренажными водами.

Оценен ресурсный потенциал дренажных вод, как гидроминерального сырья. Определены критерии выбора систем осушения и защиты от затопления алмазных рудников, в зависимости от локальных криогидрогеологических условий отдельного месторождения.

Благодарности.

Автор выражает глубокую благодарность за постоянное внимание и консультации д.г.-м.н., профессору, академику АН РС (Я) В.В. Шепелёву. За ценные замечания и помощь при подготовке работы автор благодарит д.г.-м.н. С.В. Алексеева, д.г.-м.н. А.В. Толстова. За помощь и поддержку автор благодарен и признателен д.г.-м.н., профессору В.Л. Бочарову.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В.Ломоносова по специальности и отрасли наук:

1. Янникова С.А, **Янников А.М.**, Стручкова А.С. Прогноз изменения гидродинамического режима метегеро-ичерского водоносного комплекса в процессе эксплуатации трубки Интернациональная (Западная Якутия) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2025. – № 1. – С. 113–126. – EDN: NTQGEZ; объем публикации: 1,1 п.л. (вклад соискателя - 50%). Импакт-фактор 0,57 (РИНЦ).

2. **Янников А.М.**, Зырянов И.В., Корепанов А.Ю. Гидрогеологическое сопровождение горных работ при отработке кимберлитовых месторождений криолитозоны Западной Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 7. – С. 169–179. – EDN: OIWGWA; объем публикации: 1,25 п.л. (вклад соискателя - 50 %). Импакт-фактор 0,43 (SJR).

3. **Янников А.М.,** Дмитриев Д.Г. Газодинамическая характеристика пород удачининской свиты (C_{1-2}) в пределах шахтного поля трубки Удачная (Республика Саха (Якутия)) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2024. – № 1. – С. 118–128. – EDN: HUZNPJ; объем публикации: 1,1 п.л. (вклад соискателя - 70%). Импакт-фактор 0,57 (РИНЦ).

4. **Янников А.М.,** Корепанов А.Ю., Стручкова А.С. Особенности формирования природно-техногенных систем в пределах участков закачки Далдынского кимберлитового поля (Западная Якутия) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 9. – С. 61–72. – EDN: KAIKKS; объем публикации: 1,3 п.л. (вклад соискателя - 55%). Импакт-фактор 0,5(JIF).

5. **Янников А.М.,** Дубровский А.С., Корепанов А.Ю., Шнайдер И.В. Применение метода отраженных волн для изучения зон разрывных нарушений в пределах шахтных полей кимберлитовых трубок Западной Якутии // Горный журнал. – 2024. – № 11. – С. 36–40. – EDN: WQFHFI; объем публикации: 0,57 п.л. (вклад соискателя - 50%). Импакт-фактор 0,32 (SJR).

6. **Янников А.М.** Перспективы использования многолетнемерзлых пород Далдынского кимберлитового поля для закачки дренажных вод трубок Зарница и Удачная // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2023. – № 2. – С. 43–55. – EDN: TWUQDS; объем публикации: 1,3 п.л. Импакт-фактор 0,43 (РИНЦ).

7. **Янников А.М.,** Стручкова А.С. Особенности гидрогеологического моделирования цифровых двойников эксплуатируемых коренных месторождений алмазов и сопряженных участков закачки // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2023. – № 6. – С. 71–78. – EDN: AONHQB; объем публикации: 0,7 п.л. (вклад соискателя - 70%). Импакт-фактор 0,43 (РИНЦ).

8. **Янников А.М.,** Зырянов И.В., Корепанов А.Ю. Криогидрогеологические условия как ключевой фактор при проектировании систем водоотведения на примере кимберлитовых трубок Западной Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 5. – С. 112–129. – EDN: OTJQTX; объем публикации: 0,8 п.л. (вклад соискателя – 60%). Импакт-фактор 0,43 (SJR).

9. **Янников А.М.** Перспективы использования коллекторов нижнекембрийского водоносного комплекса для развития системы закачки рудника «Удачный» // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2023. – № 2. – С. 104–115. – EDN: RVLWAG; объем публикации: 1,25 п.л. Импакт-фактор 0,57 (РИНЦ).

10. **Янников А.М.,** Янникова С.А., Харченко А.В. Влияние разрывных нарушений на систему опережающей дегазации проектируемого рудника "Мир" // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 10. – С. 73–78. – EDN: MISGRZ; объем публикации: 0,6 п.л. (вклад соискателя – 50%). Импакт-фактор 0,29 (SJR).

11. **Янников А.М.,** Янникова С.А., Зырянов И.В., Корепанов А.Ю. Перспективы использования глубокозалегающих водоносных горизонтов для закачки слабоминерализованных вод // Горная промышленность. – 2022. – № 1. – С. 76–81. – EDN: NFNTHB; объем публикации: 0,6 п.л. (вклад соискателя - 50%). Импакт-фактор 0,31 (SJR).

12. **Янников А.М.,** Янникова С.А., Корепанов А.Ю. Влияние тектонических нарушений на проектируемые системы опережающего водопонижения на примере трубки "Юбилейная" // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 5-2. – С. 174–186. – EDN: DXZIJN; объем публикации: 1,4 п.л. (вклад соискателя – 50%). Импакт-фактор 0,43 (SJR).

13. **Янников А.М.,** Зырянов И.В., Корепанов А.Ю., Стручкова А.С. Динамика и прогноз изменения гидродинамического режима нижнекембрийского водоносного комплекса в пределах Далдынского кимберлитового поля // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 9. – С. 60–73. – EDN: XYOFFI; объем публикации: 1,5 п.л. (вклад соискателя - 60%). Импакт-фактор 0,43 (SJR).

14. **Янников А.М.,** Янникова С.А., Корепанов А.Ю. Моделирование гидродинамического режима метегеро-ичерского водоносного комплекса после возобновления добычных работ на месторождении "Мир" // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2022. – № 1. – С. 90–99. – EDN: KBTHII; объем публикации: 1,1 п.л. (вклад соискателя - 60%). Импакт-фактор 0,57 (РИНЦ).

15. **Янников А.М.,** Харченко А.В. Дегазационное бурение как эффективный способ разгрузки карбонатных коллекторов вмещающих толщ коренных месторождений алмазов // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 6. – С. 88–94. – EDN: XFRIZN; объем публикации: 0,69 п.л. (вклад соискателя - 70%). Импакт-фактор 0,29 (SJR).

16. **Янников А.М.,** Янникова С.А., Корепанов А.Ю. Изменение коэффициента водопроводимости метегеро-ичерского водоносного комплекса в пределах мирнинского кимберлитового поля (Якутия) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2021. № 3.

– С. 96-103. – EDN: CECXCC; объем публикации: 0,6 п.л. (вклад соискателя - 60%). Импакт-фактор 0,57 (РИНЦ).

17. **Янников А. М.** Изменение коэффициента проводимости в околотрубочном пространстве кимберлитовой трубки «Интернациональная» // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2019. № 2. – С. 146-149. – EDN: EWSHQY; объем публикации: 0,6 п.л. Импакт-фактор 0,57 (РИНЦ).

18. **Янников А.М.,** Бочаров В.Л. Проблема экологически безопасного захоронения дренажных вод рудника «Интернациональный» // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2019. № 4. – С. 99-103. – EDN: XFLTYJ; объем публикации: 0,7 п.л. (вклад соискателя - 60%). Импакт-фактор 0,57 (РИНЦ).

Иные публикации

19. **Янников А.М.** Гидрогеология Далдынского кимберлитового поля Республика Саха (Якутия). – Мирный: АЛРОСА, 2023. – 305 с. EDN: NOBENB; объем публикации: 17,5 п.л.

20. **Янников А.М.** Гидрогеология Алакит-Мархинского кимберлитового поля (Республика Саха (Якутия). – Мирный: АЛРОСА, 2022. – 131 с. EDN: XYEDIV; объем публикации: 7,5 п.л.

21. **Янников А.М.** Гидрогеология Мирнинского кимберлитового поля (Республика Саха (Якутия)). – Мирный: АЛРОСА, 2021. – 238 с. EDN: ZIEHRL; объем публикации: 13,6 п.л.