

ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



На правах рукописи

Бейсекеев

Бейсекеев Ермек Шортанбаевич

**ФАКТОРЫ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И ПРИМЕНЕНИЕ
ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА В УСЛОВИЯХ ЗОН
ПЛАСТОВОГО ОКИСЛЕНИЯ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ
ОТРАБОТКИ РУД (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИНКАЙ И
МОИНКУМ ЧУ-САРЫСУЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ)**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.9 – Геофизика

Томск – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Языков Егор Григорьевич

доктор геолого-минералогических наук,
профессор отделения геологии Инженерной
школы природных ресурсов

Официальные оппоненты:

Муравина Ольга Михайловна

доктор технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный университет»,
заведующая кафедрой геофизики

Богуславский Анатолий Евгеньевич

доктор геолого-минералогических наук,
федеральное государственное бюджетное
учреждение наук Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской
академии наук, старший научный сотрудник

Защита состоится «14» марта 2025 г. в 14 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.27 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634028, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504.



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

Автореферат разослан «17» 01 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета ДС.ТПУ. 27,

кандидат геолого-минералогических наук

 Осипова Елизавета Николаевна

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Республика Казахстан является мировым лидером по добыче урана, располагая вторым по величине объемом разведанных запасов, оцениваемых в 700 тысяч тонн. Абсолютное большинство месторождений, расположенных в республике, относятся к пластово-инфильтрационному типу, отработка которого стала возможной сравнительно недавно – с внедрением подземного скважинного выщелачивания (ПСВ).

Данный способ освоения урановорудных запасов имеет ряд неоспоримых преимуществ, включая низкую себестоимость и экологическую безопасность. Но подземное скважинное выщелачивание предполагает оценку исходных геологических параметров, мониторинг растекания технологических растворов в рудовмещающей толще и изменения породы на достаточно больших глубинах в условиях непрерывности технологического процесса. Кроме того, процесс вскрытия рудного тела и извлечения урана при подземном скважинном выщелачивании усложняет получение керна, которое, как правило, возможно произвести только на наблюдательных скважинах. Неверная оценка динамики и масштабов растекания технологических растворов чревата снижением коэффициента извлечения руды, и, как следствие – общей рентабельности производства.

Применение геоэлектрических методов исследования скважин в условиях ПСВ, является наиболее полным источником информации для мониторинга движения жидкости в продуктивной толще и изменения породы в околорудном пространстве. В числе данных методов, особенно эффективен метод индукционного каротажного зондирования. Данный метод, основанный на получении информации об электропроводности породы, имеет ряд неоспоримых преимуществ, и в первую очередь это возможность мониторинга изменения фильтрационных свойств, что позволяет проводить селективную исследовательскую и оптимизационную работу. В силу прямой корреляции между проницаемостью и электропроводностью пород в условиях ПСВ, индукционный каротаж лишен большинства ограничений и недостатков, присущих другим методам геофизических исследований. Кроме того, аппаратура индукционного каротажа может быть, с незначительными затратами на модификацию, использована в условиях морфо-литологической осложнённости, то есть подстроена под конкретный текстурно-структурный тип месторождения.

Тем не менее, несмотря на неоспоримые преимущества, на современном этапе индукционный каротаж не используется как стандартный метод мониторинга движения жидкости в продуктивном пласте при отработке урановых руд.

Степень разработанности темы. На слабое использование индукционного каротажа оказывает влияние и систематическая нехватка научно-прикладных исследований данного вопроса несмотря на то, что небольшое количество работ, посвященных перспективам применения индукционного зондирования все же имеются. В частности, вопросы, посвященные исследованию методом индукционного каротажа факторов проницаемости в условиях отработки урановых руд на пластово-инфильтрационных месторождениях, рассматривались в исследованиях Швецова М.С. (1958), Антонова Ю.Н. (2015), Ратникова И.Б. (2016), Мендыгалиева А.А., Селезневой В.Ю., Язикова Е.Г., Бекботаевой А.А. (2020) и др.

Возможности применения электрофациальной диагностики для изучения факторов проницаемости: фильтрации, пористости и типа пористости исследованы в трудах Кудрявцева Ю.И. (1960), Даева Д.С. (1969), Антонова Ю.Н. (1971-1979),

Бастрикова С.Н. (2010), Ягофарова А.К. (2013), Ратушняк А.Н. (2017), Неволлина А.П. (2019), Ратникова И.Б. (2019), Легавко Д. А. (2020) и др.

Вопросы применения индукционного каротажа в условиях гидрологической и литологической сложности рассматривались в работах Теплухина В.К. (2016), Эпова М.И. (2016), Ратушняк А.Н. (2017), Миронцова Н.Л. (2021), Мендыгалиева А.А. (2020) и др.

Проблемы моделирования геологической среды и динамических процессов в условиях ПСВ по данным индукционного каротажа, в том числе в комплексе геофизических методов, освещаются в трудах Аузина А. А. (2010), Канцеля А.А. (2010), Мосина А.П., Могилатова В.С. (2015), Антонова Ю.Н. (2015), Муравиной О. М., Оракбаева Е.Ж. (2019), Никитенко М. И. (2021) и др.

Отдельные вопросы мониторинга проницаемости в процессе извлечения руды рассмотрены в трудах Коскова В.Н. (2007), Шемелиной О.В. (2010), Алибаевой К.А. (2013), Темиргалиевой Р.Г. (2017), Сыхимбай Ж. (2020), Вильмиса А.Л. (2021) и др.

В то же время, вопрос совершенствования мониторинга и моделирования движения жидкостей на основании изменения факторов проницаемости пород в процессе извлечения руды является основополагающим и крайне актуальным условием дальнейшего развития отрасли, что определило выбор темы исследования и ее актуальность.

Объектом исследования выступают месторождения Инкай и Моинкум, приуроченные к зонам пластового окисления Чу-Сарысуйской урановорудной провинции Казахстана, а предметом исследования являются данные обследования скважинного пространства по результатам индукционного каротажа.

Целью работы является выявление факторов проницаемости горных пород и применение индукционного каротажа в условиях зон пластового окисления урановых месторождений для отработки руд на примере месторождений Инкай и Моинкум Чу-Сарысуйской урановорудной провинции.

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие **задачи**:

а) дать оценку факторов проницаемости горных пород на месторождениях пластово-инфильтрационного типа и определить их влияние на постановку индукционного каротажа в условиях отработки урановых руд;

б) проанализировать, опираясь на данные индукционного каротажа, зависимость факторов проницаемости горных пород и электропроводности руд, отрабатываемых методом ПСВ на месторождениях зон пластового окисления с петрофизической и морфологической сложностью;

в) выявить текстурно-структурные типы и их влияние на мониторинг движения растворов методом индукционного каротажа в продуктивных пластах;

г) осуществить моделирование оптимальных параметров режима выщелачивания в условиях отработки рудных тел на основании зависимости данных индукционного каротажа от типа проницаемости пород.

Фактический материал и методология исследования. Основу диссертационной работы составляет фактический материал, собранный, подготовленный и обработанный непосредственно автором и при его участии в ходе комплексных геофизических исследований в период с 2017 года по настоящее время. В ходе исследования было изучено в целом 38 скважин технологического блока X месторождения Инкай и технологического блока Y месторождения Моинкум, общий километраж которых составил порядка 11 400 метров. Всего по месторождению Моинкум было проанализировано 19 скважин с общей

протяженностью скважинного пространства в 6 270 м. По месторождению Инкай проанализировано 19 скважин с общей протяженностью скважинного пространства в 5 130 м.

В качестве объектов моделирования в дальнейшем были отобраны 4 скважины по месторождению Инкай и 4 скважины по месторождению Моинкум, что составило порядка 3 200 м обследованного скважинного пространства. Скважины для моделирования были отобраны по принципу максимальной полноты и репрезентативности данных, а также исходя из расположения скважин на достаточном отдалении на территории участков, что позволило выявить общие закономерности распределения факторов проницаемости, характерные для исследуемых участков. По месторождению Моинкум протяженность пространства скважин, охваченного моделированием, составила 1 760 метров, по месторождению Инкай – 1 440 м. Объекты моделирования охватывают треть всего проанализированного скважинного пространства.

Методология исследования включает комплекс геофизических, физико-математических, математико-статистических методов получения, анализа, интерпретации и моделирования данных по геологическому разрезу. Геофизические методы включают: индукционное каротажное зондирование, каротаж сопротивлений, каротаж прямой собственной поляризации, термометрию, кавернометрию, токовый каротаж, гамма-каротаж. Анализ геофизических данных произведен с использованием пометодной интерпретации, корреляции каротажных данных, а такие методы как математико-статистические включают анализ ANOVA, корреляционный, регрессионный анализ (методом наименьших квадратов). Физико-математическое моделирование произведено с использованием многокомпонентной модели, включающей решение системы уравнений гидромеханики и гидродинамики.

Инструментальное обеспечение обработки данных составили программные среды Excel, Matcad, Statistica, SPSS, Curve Editor, LibreCad. Аппаратное обеспечение представлено однозондовым трехкатушечным прибором ИК-42М с размером между приемной и излучающей катушкой 0,5 м. Использовался также аналоговый прибор ПИК-50 с рабочей частотой 150 кГц и разрешающей способностью в пределах 0-2000 мСим/м. Кавернометрическое зондирование проводилось прибором СПК-01, а термометрия прибором ЭТС-10У, КТ-42М, ТР-43, прибор гамма и электро-каротажа КСП-ГК-43. Каротажные исследования получены с использованием цифровой каротажной станции «Вулкан V3».

Научная новизна

1) Выявлены новые факторы проницаемости горных пород в условиях постановки индукционного каротажа на месторождениях урана, обрабатываемых методом ПСВ.

2) Впервые проанализирован и описан характер зависимости факторов проницаемости и электропроводности руд, обрабатываемых методом ПСВ, на месторождениях зон пластового окисления с петрофизической и морфологической осложненностью геологического разреза.

3) Разработана модель мониторинга и оптимизации движения технологических растворов в ходе отработки методом ПСВ урановорудных залежей на месторождениях пластово-инфильтрационного типа на основании прямой зависимости данных индукционного каротажа от факторов проницаемости горных пород.

4) Впервые произведено моделирование движения в продуктивном пласте в условиях отработки рудных тел и разработана модель мониторинга с учетом оптимизации режима выщелачивания на основании данных индукционного каротажа на основе выявленных и описанных текстурно-структурных типов рудовмещающих пород месторождений Чу-Сарысуйской провинции (месторождения Инкай и Моинкум).

Практическая и теоретическая значимость исследования заключается в возможности использования результатов исследования для повышения эффективности отработки урановых руд методом ПСВ путем селективной оптимизации режима выщелачивания и мониторинга движения технологических растворов. Разработанная модель для мониторинга и моделирования движения жидкостей в продуктивном пласте, опирающаяся на данные индукционного каротажа может быть использована на гидрогенных месторождениях с различными текстурно-структурными типами, а также в условиях морфо-литологической осложнённости. Результаты исследования могут быть использованы как для дальнейшего развития применения индукционного каротажа на гидрогенных месторождениях, так и в качестве теоретико-методологической основы изучения закономерностей изменения проницаемости и ее отражения на диаграммах индукционного каротажа. Материалы исследования, результаты моделирования и разработки режимов выщелачивания, сформированные на их основе, подтверждены актами внедрения в АО «НАК «Казатомпром», прошли процедуру государственной экспертизы в Национальном Институте Интеллектуальной собственности, подтвердившей научную новизну и значимость исследования, и являются объектами авторского права.

Научные положения, выносимые на защиту

Первое положение. Установлено, что на урановых месторождениях пластово-инфильтрационного типа величина электропроводности от 100 до 500 мСим/м для Инкай и от 180 до 500 мСим/м для Моинкум наиболее эффективна в рудных интервалах и находится в прямой зависимости от факторов проницаемости горных пород. Качество мониторинга движения растворов в продуктивном пласте методом ИК имеет прямую зависимость от ключевых факторов проницаемости рудовмещающих пород и осложняется при применении стандартной частоты прибора ИК при наличии высокослоистых пропластков.

Второе положение. Для урановых месторождений Инкай и Моинкум по степени однородности показателей электропроводности рудовмещающих пород выявлены три текстурно-структурных типа проницаемости. Опираясь на доказанную зависимость электропроводности от факторов проницаемости горных пород, текстурно-структурные типы месторождений Инкай и Моинкум по равномерности показателей электропроводности разделены на высокодифференцированные, дифференцированные и однородные.

Третье положение. Разработанная модель и результаты моделирования движения растворов на месторождениях Инкай и Моинкум с использованием пространственного и количественного показателей растекания жидкости доказывают эффективность селективного моделирования и оптимизации режима выщелачивания с учетом текстурно-структурных типов на основании данных индукционного каротажа.

Достоверность результатов. Достоверность исследований обусловлена тем, что для моделирования выбраны скважины по принципу максимальной полноты и

репрезентативности данных. Степень достоверности обеспечивается высоким техническим уровнем применяемого оборудования при проведении методов ГИС, обработке и интерпретации полученного материала, а также внедрением полученных автором моделей на производстве, что позволило оптимизировать процессы подземного скважинного выщелачивания, повысив точность прогнозирования движения растворов, а также улучшить контроль за разработкой продуктивных пластов. Достигнутые результаты подтверждают научную и практическую ценность работы, а также возможность их применения для решения задач разработки урановых месторождений пластово-инфильтрационного типа в сложных геологических условиях.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на V Международном симпозиуме «Уран: геология, ресурсы, производство» (Москва, 2021 г.) и XXVI Международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2022 г.) и XI Международной научно-практической конференции «Развитие урановой и редкометалльной промышленности», посвященной 75-летию Ульбинского металлургического завода, Алматы, 2024.

Публикации по теме диссертации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 9 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня ВАК, 2 публикации в научных журналах, индексируемых в научных базах Web of Science и Scopus, 4 публикации в материалах конференций и получено авторское свидетельство РК.

Личный вклад автора. Основные научные результаты получены лично автором. Автор принимал непосредственное участие в реализации геоэлектрических методов исследования на месторождениях Чу-Сарысуйской урановорудной провинции, статистической обработке и интерпретации полученных результатов. Написание текста, формулировка основных положений и осуществление моделирования выполнялись автором по плану, согласованному с научным руководителем.

Структура и объем диссертации. Диссертация объемом 161 страниц состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 107 наименований, содержит 32 рисунка, 44 таблицы, 10 приложений.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, д.г.-м.н., профессору отделения геологии Язикову Егору Григорьевичу за всестороннюю поддержку и помощь в написании диссертации. Большую признательность автор выражает коллективу АО «НАК Казатомпром» и АО «Волковгеология» за организацию производственной практики, помощь в сборе и интерпретации фактического материала, организацию апробации результатов исследования. Автор признателен за помощь коллективу отделения геологии ИШПР ТПУ. Отдельную благодарность автор выражает родным и близким за поддержку и веру во время проведения исследований и написания диссертационной работы.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы исследований, изложены цель и задачи, сформулированы защищаемые положения, показана научная новизна и практическая значимость выполненной работы.

Первая глава посвящена современному состоянию и степени изученности зависимости данных индукционного каротажа от факторов проницаемости горных пород на месторождениях пластово-инфильтрационного типа, обрабатываемых

методом ПСВ. **Во второй главе** дается морфо-литологическая, тектоническая, геолого-гидрологическая, петрофизическая и петрохимическая характеристики объектов исследования. **В третьей главе** описана методология исследования, база данных для анализа, виды и методы анализа, способы статистической обработки данных, компоненты, порядок разработки и математический аппарат физико-математической модели для контроля движения жидкостей в процессе отработки урановых залежей. **В четвертой главе** описаны факторы проницаемости горных пород и их влияние на данные индукционного каротажа, сопоставлены данные индукционного каротажа с данными других геофизических исследований на месторождениях Чу-Сарысуйской урановорудной провинции. **В пятой главе** представлена типология урановых залежей месторождений Чу-Сарысуйской урановорудной провинции, описаны закономерности влияния текстурно-структурного типа на данные индукционного каротажа. **В шестой главе** произведено моделирование режима выщелачивания с учетом зависимости факторов проницаемости электропроводности, характерных для различных текстурно-структурных типов, выявленных на месторождениях Чу-Сарысуйской урановорудной провинции по данным индукционного каротажа. **В заключении** изложены основные результаты исследования, выводы и рекомендации.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение.

Положение месторождений Инкай и Моинкум в Чу-Сарысуйской впадине показано на рисунке 1. В результате исследования и морфо-литологического строения рудных интервалов, были выделены следующие проблемные моменты использования ИК в условиях мониторинга отрабатываемых урановорудных участков на месторождениях Инкай и Моинкум.

А) Монотонность в глубинных интервалах месторождения Инкай указывает на морфологическую осложнённость и тонкослоистость вмещающих сред, как ведущий фактор снижения эффективности ИК.

Б) Рассматривая особенности использования ИК на месторождении Инкай, в первую очередь, следует отметить, что имеются не только отклонения, но и целые интервалы, по которым не были получены каротажные данные, что свидетельствует о высокой степени влияния ограничивающих факторов на применение метода индукционного каротажа.

В) На месторождении Моинкум осложняющим фактором является проблема миграции ураносодержащих растворов в вертикально-горизонтальном направлении в процессе отработки, что несколько снижает информативность оценки $M_{эф}$ по данным ИК.

Были проанализированы факторы проницаемости горных пород и зависимость данных индукционного каротажа от их особенностей и сочетания. Высокодифференцированные текстурно-структурные особенности пород, в большей степени характерные для месторождения Инкай, предполагают влияние анизотропии на результативность ИК. Лентообразные рудные тела месторождения Инкай способствуют снижению информативности ИК, в силу применения стандартной аппаратуры, работающей на низких частотах (ИК-42, ПИК 50), поскольку низкочастотные сигналы слабо дифференцируют тонкие перешейки и перегибы.

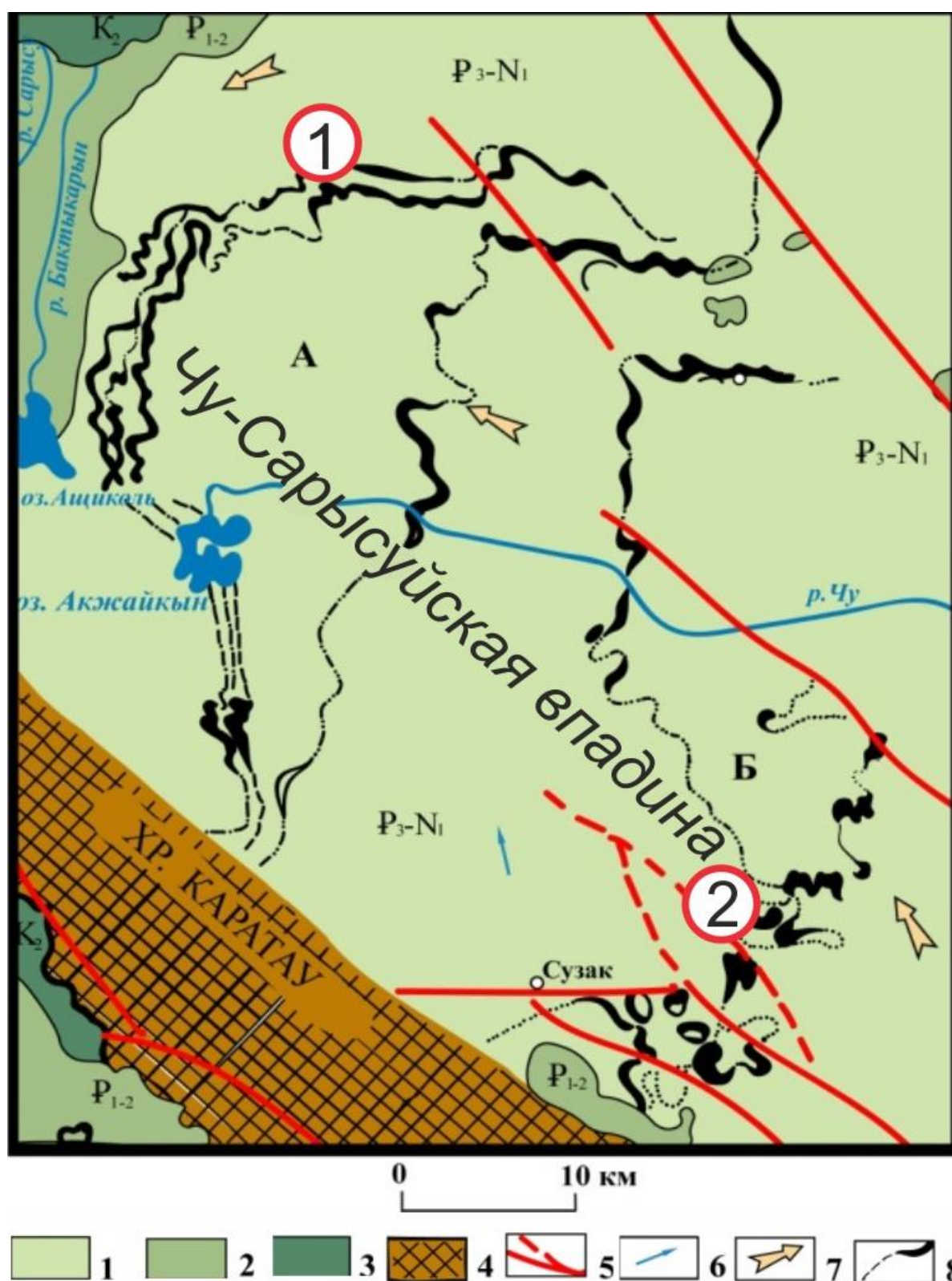


Рисунок 1 –Геологическая карта Чу-Сарысуйской впадины и местоположение месторождения Инкай (1) и Моинкум (2) [по Машковцеву Г.А., 2008] с добавлениями автора. Регионы: А) Инкай-Мынкудукский, Б) Уванас-Канжуганский; отложения: 1) глины, алевролиты, пески олигоцен-миоцена, 2) глины, пески палеоцен-эоцена, 3) пески, глины, алевролиты, гравийники верхнего мела; 4) домезозойский фундамент; 5) разрывные нарушения; направления движения пластовых вод в отложениях: 6) эоцена, 7) верхнего мела; 8 – границы выклинивания зон пластового окисления

Диагностическую ситуацию осложняет и наличие высокого пластового давления, которое в принципе является фактором, ограничивающим информативность ИК (Рисунок 2). Также установлено, что на качество дифференциации по ИК оказывают влияние процессы колматации, выраженность которых зависит не только от глинистости рудовмещающего прослоя, но и параметров режима выщелачивания, а также состава и скорости подачи раствора. На месторождении Инкай движение растворов осложняет изучение и выявление реальных мощностей лентовидных участков, особенно в области высокослоистых свехтонких пропластков с различной проницаемостью горных пород.

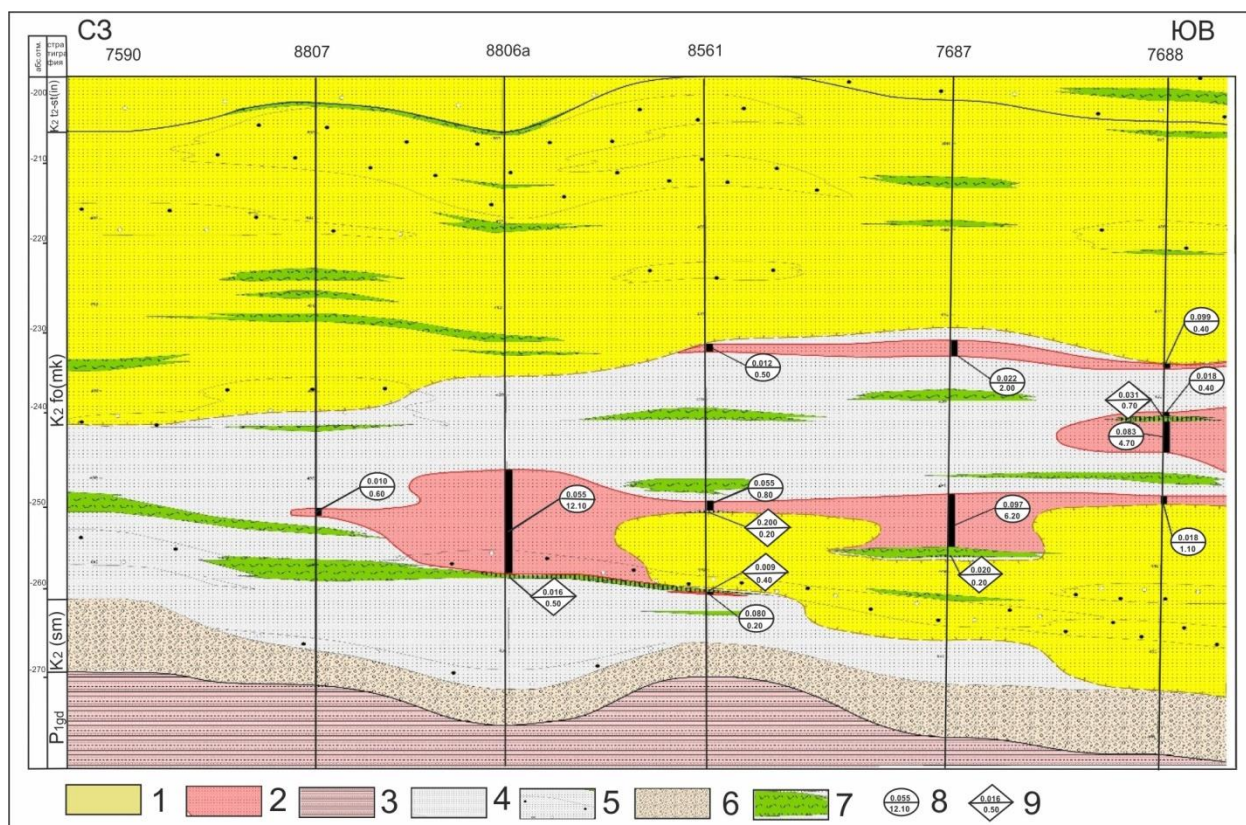


Рисунок 2 – Геологический разрез участка А1 месторождения Инкай (инкудукский продуктивный горизонт): 1 – зона пластового окисления; 2 – рудное тело; 3 – аргиллиты, алевролиты (палеозой); 4 – пески мелко-среднезернистые; 5 – пески разномзернистые; 6 – пески разномзернистые с гравием; 7 – глина; параметры оруденения (в числителе – содержание U, %, в знаменателе – мощность, м): 8 – в проницаемых породах, 9 – в непроницаемых породах

Для месторождения Моинкум (Рисунок 3) характерна массивность крупных стратиграфических ритмов, однородность песчаного репера, но, с присутствием алевролитов, что обуславливает возможность влияния анизотропии как по вертикали, так и горизонтали.

На месторождении Моинкум при движении растворов происходит осаждение примесей в виде наплывов и пленок, что может продуцировать помеховые импульсы и в силу распространенности по площади растекания растворов является

существенным фактором, снижающим информативность контроля растекания технологических растворов методом ИК.

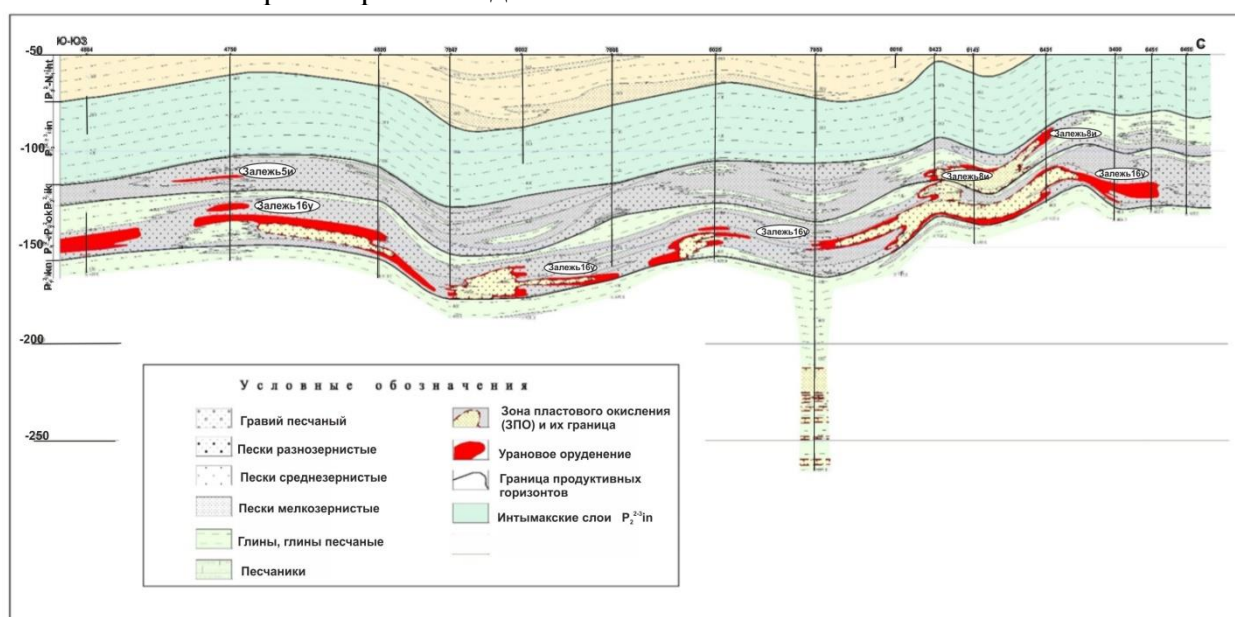


Рисунок 3 – Геологический разрез участка В1 месторождения Моинкум

Особенности применения ИК на месторождениях Инкай и Моинкум могут влиять как на точность данных, так и результативность ИК в процессе отработки месторождений в целом. С наибольшей вероятностью на информативность ИК в анализируемых случаях будет иметь влияние, с учетом уже выявленных особенностей, в т.ч. частотный диапазон и качество передачи сигнала. За счет увеличения катушек в ИК-42 увеличивается и диапазон измерения. ПИК-50, несмотря на возможность определения пород с низкой электропроводностью и более низкими показателями погрешности, имеют границы условий эксплуатации меньше, чем у аппарата ИК-42.

Анализ данных, оказывающих влияние на точность и результативность ИК, позволил выделить факторы, наличие которых принципиально в отношении месторождений Инкай и Моинкум (Таблица 1).

Выявлено, что критическими для эффективности ИК в условиях данных месторождений являются частотные диапазоны используемых зондов и их термобарическая устойчивость.

В случае с анализируемыми месторождениями, сочетание анизотропных свойств рудовмещающих и рудоносных пород, ярко-выраженная морфологическая и петрографическая структура, являются предпосылками для осложненного условия проведения ИК, как на месторождении Инкай, так и на месторождении Моинкум.

В таких условиях особую роль играет оптимизация параметров импульсного каротажа (ИК), включая выбор зондов с повышенной чувствительностью и расширенным динамическим диапазоном. Кроме того, необходимо учитывать влияние изменчивости геологических характеристик пород на достоверность получаемых данных, что требует внедрения адаптивных методик интерпретации результатов.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика первостепенных факторов, оказывающих влияние на ИК месторождений Инкай и Моинкум по данным ГИС

Наименование характеристик	Инкай	Моинкум
Характеристики рудоносных пород и рудовмещающей среды		
Морфологическое и фациальное строение, гидрология	Тонкослойные структуры слабо распознаются низкочастотными зондами, влияние гидродинамического и термобарического фактора на достоверность ИК	Искажение контура рудных тел при использовании низкочастотной аппаратуры, сложно выявляющей дисперсные структуры при фоновой высокой проницаемости и способности рудовмещающих слоев к водонасыщению и замещению, влияние термобарических искажений на результаты
Проницаемость	На участках перешейков и перегибов лент рудных тел низкочастотными приборами ИК плохо дифференцируются цементы и дендриты, имеющие примерно одинаковый показатель электропроводности	В сочетании с иными ограничивающими факторами не позволяет адекватно оценить степень распространения урановой минерализации в силу увеличения влияния анизотропии, неравномерности минерализации
Анизатропность	Искажение контуров рудного тела на диаграммах ИК, искажение картины растекания жидкостей	Искажение контуров рудного тела на диаграммах ИК, искажение картины растекания жидкостей и осложнение контроля миграции урановых соединений
Химический состав	Не осложнен	Снижение эффективности мониторинга методом электромагнитных ГИС
Электромагнитные свойства рудовмещающих пород	Не осложнены	
Характеристики производственного процесса добычи		
Концентрация и состав технологического раствора	Не осложнены	Искажение электромагнитной картины исследуемого участка, снижение эффективности мониторинга методом электромагнитных ГИС в целом

Это предполагает использование аппаратуры, характеризующейся высокой разрешающей способностью, поскольку выявленные факторы предопределяют сложную картину значений проницаемости исследуемых областей и соответственно - слабую дифференцировку по УЭП отдельных участков (Таблица 2).

Таблица 2- Характеристика факторов проницаемости на месторождениях Инкай и Моинкум по данным ГИС

Параметры	Инкай	Моинкум
Морфологическая характеристика рудовмещающих пород	Диагонально косоволнистые слои рудовмещающих пород	Массивные хорошо выдержанные толщи
Литологическая характеристика рудовмещающих пород	Разнозернистые серые и серо-зеленые пески, с маломощными пропластками глин и алевролитно-галечных разнозернистых песков	Мелко-среднезернистые хорошо отсортированные пески с включениями алевролитно-глинистых отложений
Глинистость продуктивного горизонта	20 - 40 %	15 – 20 %
Минерализация грунтовых вод	0,7 г/дм ³ - 1,1 г/дм ³	0,7 г/дм ³ - 1,2 г/дм ³
Характеристика влияния гидрогеологических факторов	Высокое давление пластовых вод (208м.-465 м.), наличие местами высокоминерализованных сульфатно-хлоридных вод, выявленная существенная радиоактивность по урану, свидетельствующая о миграции урановых частиц	Равномерное распределение глинистых пород, их повышенная пластичность, мощное водородное влияние
Характеристика технологического раствора	Сернокислый с концентрацией серы в пределах 5—13 кг/т, наличием в составе азота	Сернокислый с концентрацией серы в пределах 13-17 кг/т, наличием в составе азота
Коэффициент фильтрации (средний)	4,4 – 5,4	5,5 - 7

Геологические особенности месторождений Инкай и Моинкум также существенно отличаются (Таблица 3). Различия в составе, структурной сложности и анизотропии пород влияют на параметры ИК и точность получаемых результатов, что необходимо учитывать при проведении исследований.

Таблица 3 – Геологические особенности месторождений Инкай и Моинкум по данным ГИС

Характеристика	Инкай	Моинкум
Тип глинистости	Слоистые глины, тонкие линзы плотных глин	Преобладание илисто-глинистых отложений в водоупорах
Проницаемость	от 0,5 до 34 мД	от 20 до 38 мД
Пористость	16-35%	28-33%
Температура раствора, С°	+28	+38

В связи с различиями в фациальной картине, а также благодаря особенностям литологии, петрофизики и морфологии рудовмещающих пород, на месторождениях несколько отличаются и характеристики режима выщелачивания (Таблица 4).

Таблица 4 – особенности режима подземного скважинного выщелачивания на месторождениях Инкай и Моинкум по данным технического паспорта

Показатели	Инкай	Моинкум
Динамическая вязкость раствора, мПа*с	17,2	21
Скорость фильтрации, м3/с	5-10	8-15
Концентрация раствора, %	1,3%	1,7%
Напорное давление, мПа*с	193,9	193,9
Температура раствора, С°	+28	+38
Методы изучения	ИК, КМ, КС, ТМ, ТК	ИК, КМ, ТМ, КС, ТК

Немаловажно, что в зависимости от текстурно-структурных свойств горных пород возможно, как изменение скорости замещения как пластовой воды в порах раствором, так и проникновения раствора в плотные породы в процессе выщелачивания урана. Этот процесс позволяет достаточно достоверно дифференцировать растекание жидкостей в процессе закисления. Ниже приведена корреляционная матрица зависимостей, построенная по данным скважинного комплекса двух технологических блоков по месторождению Инкай и Моинкум, общим количеством 22 скважины (Таблица 5).

Таблица 5 – Коэффициент корреляции зависимости значений ρ_k от факторов проницаемости горных пород по данным месторождений Инкай и Моинкум по данным ГИС

Факторы проницаемости	Коэффициент корреляции с σ , мСим/м	
	Инкай	Моинкум
Глинистость	0,99	0,69
Пористость	0,96	0,98
Проницаемость	0,91	0,78

Из результатов статистического анализа, для месторождения Инкай в целом характерно более высокая зависимость от таких показателей как глинистость и проницаемость. Для месторождения Моинкум характерна в целом более однородная картина распределения пористости, в силу выдержанности и относительно высокой однородности рудовмещающих пород. На месторождении Инкай фильтрационная изменчивость на участках отработки характерна в вертикальном направлении, наряду с дифференциацией картины зависимости проницаемости от пористости. Порово-трещиноватый тип с присутствием кавернозных образований резко отличает скважины х1-3 более высокой степенью дифференцированности показателей пористости.

В ходе статистического анализа данных ИК и сопутствующих методов ГИС до глубины 325 метров по анализируемому скважинному фонду, были определены его термометрические и электрофациальные характеристики (Таблица 6).

Таблица 6 – Статистические характеристики по данным каротажных исследований скважинного фонда технологического блока №А1 месторождения Инкай

Величины	<i>ИК, мСим/м</i>	<i>КС, Ом*м</i>	<i>ТК, Ом</i>	<i>ТМ., °С</i>	<i>КМ, мм</i>
<i>Среднее</i>	198,0	10,2	9,0	26,9	112,9
<i>Ср. кв. отклонение</i>	16411,5	59089,2	565,6	259,7	1682,3
<i>Минимум</i>	2,2	0,04	1,6	16,9	60,9

Произведен анализ статистических данных по каротажным исследованиям до глубины 249 метров по анализируемому скважинному фонду месторождения Моинкум (Таблица 7).

Таблица 7 – Статистические характеристики по данным каротажных исследований технологического блока №В1 месторождения Моинкум

Величины	<i>ИК, мСим/м</i>	<i>КС, Ом*м</i>	<i>ПС, мВ</i>
<i>Среднее</i>	130,4	22,8	38,3
<i>Ср. кв. отклонение</i>	95,1	25,4	5,2
<i>Минимум</i>	37,5	3,3	28,5
<i>Максимум</i>	417,5	138,3	49,8

Исходя из результатов анализа, по месторождению Инкай, в целом толщи, слагающие участки разреза, достаточно равномерны, характеризуются хорошей проницаемостью и различаются по данным ИК.

Кроме того, наблюдаемое отклонение по температуре достаточно существенно и совпадает с участком обнаруженной утечки, однако, распределение отклонений по среднему температурному режиму на выше и ниже лежащие интервалы свидетельствует о не слишком массивном, но, видимо постоянном перетоке раствора в затрубное пространство. С учетом особенностей чередования

проницаемых и слабопроницаемых материалов, следует предположить и возможность горизонтального движения технологических жидкостей с образованием каверн в околоскважинном пространстве.

По месторождению Моинкум было выявлено, что между данными осциллограмм по КМ, КС и ПС взаимосвязи обладают средним, с точки зрения статистической значимости, показателем обратной зависимости. В то же время, сопоставление данных по ИК и ГК указывает на высокую точность определения областей растекания растворов. Соответственно, в данном аналитическом случае, интерпретация диаграмм индукционного каротажа является достаточно эффективным и более информативным методом каротажного исследования, нежели КС и ПС, в силу морфологических и петрофизических особенностей пород, слагающих толщи уюкского горизонта месторождения Моинкум.

Сделанные выводы обосновывают **1-е защищаемое положение**.

Второе защищаемое положение

Выявленные типы проницаемости отражают общую закономерность зависимости электропроводности от проницаемости. По первому типу коэффициент корреляции составил 0,83, по второму типу 0,94. Оба типа относятся к месторождению Инкай и различаются расположением скважин, степенью литологической и петрофизической сложности. Первый тип относится к высокодифференцированному по распределению проницаемости, второй тип – к дифференцированному, а третий тип, представленный месторождением Моинкум – к однородному.

В соответствии с результатом произведенного анализа по месторождению Инкай было выделено два типа проницаемости: с преобладанием порово-трещинного с включением кавернозных образований и порово-трещинноватого типа. К *первому типу* можно отнести скважины X1, X3, ко второму типу скважины X2, X4. В целом проницаемость данного типа достаточно высокая. Ее показатели однородны, что свидетельствует о хорошей проницаемости и преобладании порово-трещинного типа. Основную диагностическую проблему составляет интервалы ниже 180 м, в которых присутствуют участки цементации и обводненности, сложно диагностируемые методом ИК.

Также был выделен *второй тип* скважинных коллекторов участка №А1 месторождения Инкай, который характеризуется чередованием однородных крупных интервалов с относительно высокой и более низкой проницаемостью, что позволяет лучше распознавать тонкие прослои. Можно сделать вывод, что морфолитологическое строение скважин второго типа предполагает преимущественно порово-трещинную структуру, причем поровый тип проницаемости преобладает.

На месторождении Моинкум был выявлен *третий тип* коллекторов, обладающих однородностью аналитических данных, что дает основание предполагать также и общие закономерности распределения областей высокой проницаемости по скважинам У1-У4. Растекание растворов на анализируемом технологическом блоке в нижележащие слои просматривается вплоть до 236 м, или более чем на 15 метров ниже интервала закисления. Поскольку электропроводность в относительно однородных и хорошо проницаемых пластах пород Моинкум обусловлена механизмом ионного обмена, следовательно, можно сделать вывод, что характер растекания растворов оказывает влияние на изменение мощности

интервалов минерализации в силу миграции ураносодержащих минералов. По характеру проницаемости преобладает поровая.

Произведенный анализ данных по ИК в комплексе с другими методами ГИС выявил закономерности разброса проницаемости на месторождениях, которая имеет дифференцированность преимущественно по вертикали, с присущей обоим месторождениям следующих закономерностей: возрастание степени дифференцированности пород с глубиной и возрастание проницаемости по мере возрастания глубины. Выявленные зависимости между электропроводностью и проницаемостью экспоненциальны, что является следствием наличия стратиграфических циклов с явно выраженной уникальной для каждой группы объектов закономерностью распределения проницаемости (Рисунок 3)

На диаграммах распределения отчетливо просматривается зависимость данных ИК от глубины, что совпадает с особенностями оруденения, подчиненного стратиграфическим ритмам и микроритмам месторождений. Это обстоятельство позволило принять вертикальную дифференцированность проницаемости за искомый параметр растекания растворов.

Выявленные особенности электрофациальных ритмов и зависимость от факторов проницаемости, создали предпосылки для анализа распределения прослоев по параметрам электропроводность-проницаемость по каждой группе анализируемых объектов месторождений Инкай и Моинкум.

По типу 1 месторождения Инкай имеются прослои на интервале закисления, которые имеют существенно меньший коэффициент проницаемости.

По типу 2 прослеживается отсутствие часто перемежающихся маломощных электрофаций, и, соответственно более слабую дифференцированность и большую выдержанность прослоев по проницаемости. Второй тип проницаемости на месторождении Инкай более выдержан, электрофациальные ритмы более крупные, а картина проницаемости однородная. Присутствуют незначительные перепады по электропроводности, но между крупными (более 4-5 метров прослоями). Более тонкие пропластки сложены из разноразмерных алевролито-песчаных и песчанно-гравийных пород, что, тем не менее, не оказывает существенное влияние на разброс проницаемости. Обводненные участки отсутствуют, что указывает на отсутствие кавернозных образований. В свою очередь, это свидетельствует о преимущественно поровом характере проницаемости.

На месторождении Моинкум, картина проницаемости в целом значительно отличается от обоих типов, выявленных на месторождении Инкай. Выявленные особенности проницаемости на месторождении Моинкум предполагают необходимость выделения объектов блока В1 в отдельный текстурно-структурный тип (третий тип проницаемости).

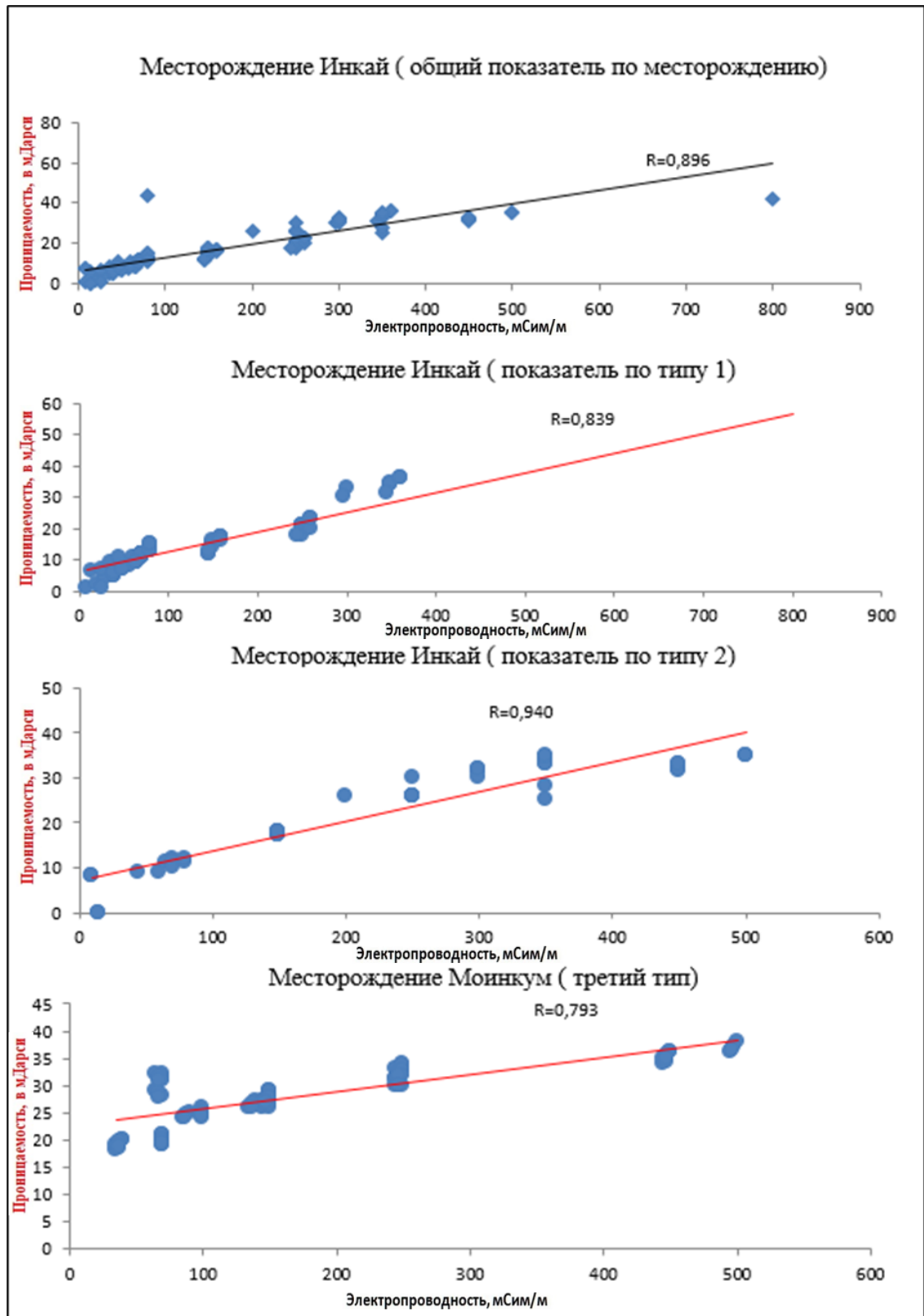


Рисунок 3 - Экспоненциальная зависимость электропроводности от проницаемости

Соответственно, с учетом явных различий в типах проницаемости были выявлены три текстурно-структурно-текстурного типа в пределах исследуемых месторождений (Таблица 9).

Таблица 9 - Выявленные типы проницаемости на месторождениях Инкай и Моинкум

Месторож- -дение	Тип по проницаемости	Тип по ИК	Структурно- текстурный тип	Репер по ИК, мСм/м	Хар-ка репера
Моинкум	Однородный (однородная среда)	Тип 3	Выдержанные по пара- метрам проницаемости в целом однородные хорошо проницаемые пласты	200-400	Пески отсортиро- ванные среднезер- нистые зеленовато -серые
Инкай	Неоднородный (дифференцирова нная среда)	Тип 2	Неоднородные невыдер- жанные по проницаемости толщи с высокодиффе- ренцированными пропласт- ками разнородных мате- риалов (песчано-гравийных и песчано-алевролитных)	200-300	Пески разнозерни стые зеленовато -серые
Инкай	Весьма неоднородный (высоккодифферен цированная среда)	Тип 1	Неоднородные невы- держанные по прони- цаемости толщи с про- пластками водоупорных материалов и областей обводненности	100-200	Пески разнозер- нистые зеленовато -серые

Сделанные выводы обосновывают **2-е защищаемое положение.**

Третье защищаемое положение

Параметры модели апробированы в системе MatCad Prime 4.0 с моделированием пространственного и количественного показателя растекания жидкости с выявлением зон потенциального кучного осадконакопления.

Для расчета растекания с учетом специфики структурно-текстурного строения объектов моделирования, были сформированы два блока автоматизированных моделей среды рудовмещающего тела, подлежащие дальнейшей корреляции и сопоставлению:

- 1) фильтрационная модель, учитывающая характер проницаемости пород;
- 2) геофизическая модель, учитывающая электрические свойства пород, а именно – электропроводности.

При выявленной анизотропности среды и наличии высокой неоднородности (в моделируемом случае – тип 1 и тип 2), средняя проницаемость рудовмещающего слоя должна учитывать послойную дифференцированность:

$$\sigma_{av} = \sum_{i=1}^3 (\sigma_i h_i) \frac{1}{\sum_{i=1}^3 h_i}$$
 Где: h_i - мощность пропластков; σ_i - плотность пропластков.

Для месторождения Моинкум в процессе моделирования слоев рудовмещающего тела были использована формула стандартных средних в виду исключительной выдержанности пространства слоев по текстуре и структуре.

Следующим оптимизационным решением стала корректировка модели движения раствора:

А. Режим устоявшийся, стабилизированный по дебиту при $q_1=q_2$.

Б. Критическое число Рейнольдса $Re_{кр} = 0,022 - 0,29$. Установлено, что на основе данных по рабочим фундам месторождений Инкай и Моинкум, при скорости фильтрации в пределах $4,4 - 15,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ закон Дарси не нарушается. Соответственно, течение раствора ламинарное. Радиальное течение околоскважинного пространства рассчитано по модели Писмана. Течение признано как стационарное.

В. Опорное давление выражено из расчета, что репер рудовмещающего тела представлен влажными песками на глубине свыше 150 м, что позволило выбрать общий параметр, варьируемый по углу падения пласта в условно упруго-пластичной среде рудовмещающей толщи.

Г. При решении нахождения опорного давления был использован метод осесимметричной задачи. Для месторождения Инкай опорное давление составило $197,6 \text{ мПа}\cdot\text{с}$, а для месторождения Моинкум – $180,2 \text{ мПа}\cdot\text{с}$.

В соответствии с выделенными особенностями была применена модифицированная формула растекания растворов в зависимости от коэффициента однородности и получены данные по характеру растекания: $S = \Delta\sigma L + 0,2L + L$, где $\Delta\sigma$ – распределение электропроводности, выступающее дифференцированным по структурно-текстурному типу поправочным коэффициентом (Таблица 8).

Таблица 8 - Данные для расчета площадей растекания растворов по стандартной и разработанной методике

Текстурно-структурный тип толщи	Параметры для расчета		Результаты расчета	
	L фильтра	$\Delta\sigma$	По стандартному поправочному коэффициенту	По разработанному дифференцированному коэффициенту
Инкай Тип 1				
Скв.х1	6,2	0,37	11,222	9,734
Скв.х3	6,6	0,32	11,946	10,032
Инкай Тип 2				
Скв.х2	7	0,51	12,67	11,97
Скв.х4	7,6	0,48	13,756	12,768
Моинкум Тип 3				
Скв.х1	7	0,72	12,67	13,44
Скв.х1	6	0,72	10,86	11,52
Скв.х1	7	0,73	12,67	13,51
Скв.х1	6	0,72	10,86	11,52

В соответствии с разработанным и апробированным на моделях объектов исследования коэффициентом однородности, был сформирован алгоритм оптимизационных решений (Таблица 9).

Для Инкай оптимизационное решение сводится к регулированию как напорной мощности раствора закачного фонда, так и снижению скорости фильтрации на стадии отработки на основании данных по концентрации урана на дебете.

Таблица 9 – Рекомендуемые параметры режима выщелачивания для месторождения Инкай и Моинкум

Параметры	Месторождение Инкай							
	Тип 1				Тип 2			
	Значение по скв. X1 (закачная)		Значение по скв. X3 (откачная)		Значение по скв. X2 (закачная)		Значение по скв. X4 (откачная)	
	<i>Факт</i>	<i>Рекомендация</i>	<i>Факт</i>	<i>Рекомендация</i>	<i>Факт</i>	<i>Рекомендация</i>	<i>Факт</i>	<i>Рекомендация</i>
Вязкость раствора, мПа	17,2	15,5	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
Скорость фильтрации, м ³ /с	7,7	10-15	5,4	10	12,2	14,5	6,7	7,7
Концентрация раствора, %	1,3%	1,7%	1,3%	1,7%	1,3%	1,7%	1,3%	1,7%
Напорное давление, мПа	193,9	203	193,9	200	193,9	203	193,9	200
Температура раствора, К (град. С°)	301,15 (28)	313,15 (40)	301,15 (28)	311,15 (38)	301,15 (28)	311,15 (38)	301,15 (28)	311,15 (38)
Месторождение Моинкум (тип 3)								
	Значение по скв. У1 (закачная)		Значение по скв. У2 (откачная)		Значение по скв. У3 (закачная)		Значение по скв. У4 (откачная)	
Вязкость раствора, мПа	21	23	21	23	19,7	21	19,7	21
Скорость фильтрации, м ³ /с	54,4	27,5	14,5	14,5	10,6	10,6	54,3	27,5
Концентрация раствора, %	1,5	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Напорное давление, мПа	193,9	185,5	193,9	185,5	193,9	185,5	193,9	185,5
Температура раствора, К (град. С°)	311,15 (38)	311,15 (38)	311,15 (38)	311,15 (38)	311,15 (38)	311,15 (38)	311,15 (38)	311,15 (38)

Для месторождения Моинкум рекомендуемые параметры вязкости, давления и скорости фильтрации будут способствовать сохранению площади выщелачивания рудоносной толщи, и снижению интенсивности диффузно-инфильтрационного массопереноса в нижележащие интервалы, что повысит эффективность процесса выщелачивания, увеличив концентрацию по дебиту. Предложенные рекомендации апробированы в модельном расчете, для чего произведены преобразования в структуре решателя ранее разработанной модели: произведен ввод переменных скорости фильтрации, температур и давления, преобразован процесс из

стационарного в динамический, с соответствующей формулой, регулируемой законом Дарси. На основании уравнения кинетической диффузии, найдены скорости диффузии (Таблица 10).

Таблица 10 – Значения скорости диффузии по месторождениям Инкай и Моинкум

Инкай (Тип 1)				Инкай (Тип 2)			
скв.Х1		скв.Х3		скв.Х2		скв.Х4	
vD начальн ый	vD рекоменду емый.	vD начальн ый	vD рекоменду емый	vD начальн ый	vD рекоменду емый	vD начальн ый	vD рекоменду емый
5,83624E-18	7,85681E-18	6,01491E-18	7,25042E-18	7,17688E-18	8,65107E-18	7,65534E-18	9,22781E-18
Моинкум (Тип 3)							
скв.У1		скв.У2		скв.У3		скв.У4	
vD начальн ый	vD рекоменду емый	vD начальн ый	vD рекоменду емый	vD начальн ый	vD рекоменду емый	vD начальн ый	vD рекоменду емый
6,81926E-17	6,22628E-17	2,66856E-18	6,22628E-17	8,52498E-17	7,99724E-17	7,26926E-17	6,81926E-17

В соответствии с произведенным расчетом, область определений для месторождения Инкай (Тип 1) находится в пределах скорости фильтрации в 7,7 – 14,5 м³/сут, для месторождения Моинкум оптимальные скорости фильтрации находятся в диапазоне 10 – 27 м³/сут (Рисунок 4).

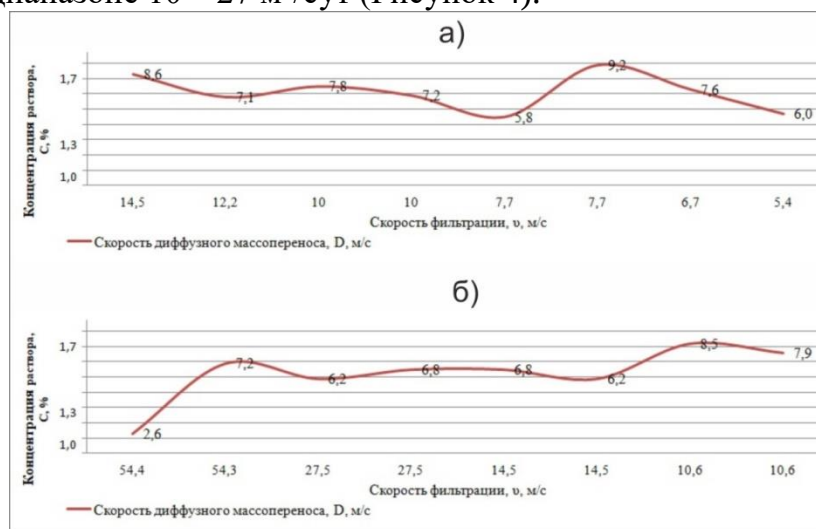


Рисунок 4 – Изменение скорости массопереноса в зависимости от скорости фильтрации и концентрации раствора на месторождении Инкай (а), на месторождении Моинкум (б)

Оптимальный термобарический режим выщелачивания для месторождения Инкай определен в пределах 311,5 - 313,5 К° при напорном давлении рабочего раствора в 200-203 Па*с (Рисунок 5).

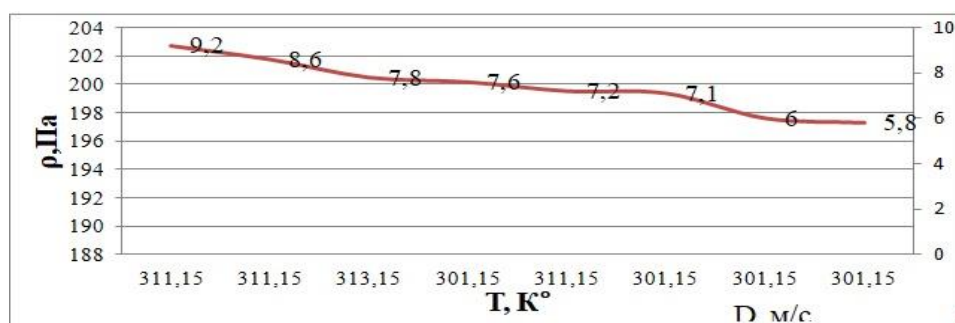


Рисунок 5 – Изменение скорости массопереноса в зависимости от термобарических параметров на месторождении Инкай

На месторождении Моинкум изменения термобарического режима не оказали по результатам моделирования существенных изменений в показателях скорости массопереноса, в отличие от вязкости раствора. Область оптимальной вязкости - 19,5-21 мПа*с. Предлагаемые оптимизационные решения позволят скорректировать скорость массопереноса в соответствии с текстурно-структурным типом рудовмещающей толщи. Моделирование изменения скорости массопереноса указывает на эффективность и целесообразность предложенных оптимизационных решений.

Сделанные выводы обосновывают **3-е защищаемое положение.**

Основные выводы и рекомендации

В результате реализации цели и задач исследования были изучены современные подходы к применению индукционного каротажа, интерпретации и анализу данных, а также его использованию как инструмента моделирования гидродинамических и гидромеханических процессов в продуктивном пласте. На основании произведенного комплекса геофизических исследований, с применением индукционного каротажа на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа Чу-Сарысуйской урановорудной провинции, были получены достоверные исходные данные, которые позволили выявить закономерности влияния факторов проницаемости на данные индукционного каротажа. В свою очередь, это позволило выявить типологию текстурно-структурных типов месторождений, разработать и адаптировать модель движения жидкостей в продуктивном пласте с учетом особенностей проницаемости.

Для определения возможности использования индукционного каротажа как средства мониторинга растекания технологических растворов также целесообразно определить степень анизотропии в каждом отдельном случае, в зависимости от текстурно-структурного типа. Ключевым критерием оценки в данном случае может служить выдержанность пород по показателям индукционного каротажа, или сплошность пород.

Типологизация и селективный учет параметров выщелачивания на основе предложенной модели может быть достаточно легко адаптированы и использованы для повышения эффективности процесса отработки руд на месторождениях с различной степенью сложности за счет разработанного коэффициента однородности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, индексируемых базой данных Scopus и Web of Science

1. **Бейсекеев, Е. Ш.** Моделирование движения жидкостей в процессе эксплуатации скважинного фонда на месторождениях урана, отрабатываемых методом ПСВ / Е.Ш. Бейсекеев, Е.Г. Язиков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – №8. – С. 73–84.

2. Оптимизация режима выщелачивания на гидрогенных месторождениях урана с высокопроницаемым песчаным репером / **Е.Ш. Бейсекеев**, Е.Г. Язиков, П.Ю. Воронцов, Т.С. Дуйсебаева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 334. – №4. – С 34–42.

Публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК

3. Индукционный каротаж как метод мониторинга технологических растворов в процессе отработки гидрогенных урановых месторождений / **Е.Ш. Бейсекеев**, Е.Г. Язиков, П.Ю. Воронцов, Т.С. Дуйсебаева // Разведка и охрана недр. – 2023. – № 4 – С. 28–36.

4. **Бейсекеев, Е.Ш.** Факторы проницаемости горных пород и применение индукционного каротажа в условиях урановых месторождений зон пластового окисления для отработки руд (на примере Чу-Сарысуйской провинции) / Е.Ш. Бейсекеев, Е.Г. Язиков // Разведка и охрана недр. – 2023. – № 7. – С. 26–32.

Другие публикации

5. **Бейсекеев, Е.Ш.** Геофизические и гидродинамические аспекты дооценки продуктивности ураноносных блоков в условиях отработки методом ПСВ на объектах Чу-Сарысуйской урановорудной провинции / Е.Ш. Бейсекеев, Е.Г. Язиков // Тр. V Межд. симп. «Уран: геология, ресурсы, производство». М.: ФГБУ «ВИМС», – 2021. – С. 305–313.

6. **Бейсекеев, Е.Ш.** Алгоритм оптимизации применения индукционного каротажа на пластово-инфильтрационных месторождениях урана / Е.Ш. Бейсекеев, Е.Г. Язиков // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XXVI Межд. симпозиума им. акад. М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящ. 90-ю со дня рожд. Н.М. Рассказова, 120-ю со дня рожд. Л.Л. Халфина, 50-ю научных молод. конф. им. акад.а М.А. Усова. В 2 томах. Том 1. – 2022. – С.157–159.

7. **Бейсекеев, Е.Ш.** Зависимость между электропроводностью и проницаемостью пород как фактор преимущества индукционного каротажа на гидрогенных месторождениях урана / Е.Ш. Бейсекеев, Е.Г. Язиков // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XXVI Межд. симп. им. акад. М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящ. 90-ю со дня рожд. Н.М. Рассказова, 120-ю со дня рожд. Л.Л. Халфина, 50-ю науч. молод. конф. им. акад. М.А. Усова. Том 1. – 2022. – С.159–161.

8. Данилов, А.А. Лабораторные исследования кернового материала разных горизонтов месторождения Инкай с использованием пероксида водорода / А.А. Данилов, А.С. Грициенко, **Е.Ш. Бейсекеев** и др. // Сб. тр. XI Межд. научно-практ. конф. «Развитие урановой и редкометалльной промышленности», посвященной 75-ю Ульбинского металлургического завода. В 2 томах. Том 1. – 2024. – С. 141-148.

9. **Бейсекеев, Е.Ш.**, Авторское свидетельство N404436 Республика Казахстан. Модель на основе данных индукционного каротажа для оптимизации режима выщелачивания на гидрогенных месторождениях урана. Дата создания объекта: 04.11.2022.