



Основные результаты научно-исследовательских работ ИГЕМ РАН на уран и планы на ближайшую перспективу

Петров В.А.¹, Устинов С.А.², Минаев В.А.³

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)*

1 – Директор, чл.-корр. РАН, vlad243@igem.ru

2 – Заместитель директора по научной работе, к.г.-м.н., ustinov@igem.ru

*3 – Заведующий лабораторией геоинформатики, к.г.-м.н.,
minaev2403@mail.ru*

**Заседание Координационного научно-технического совета
ФГБУ «ВИМС»**

ФГБУ «ВИМС», г. Москва

16 мая 2024 г.

Структурные подразделения ИГЕМ РАН, занятые в реализации научно-исследовательских работ на уран

Фундаментальные и прикладные исследования

***Лаборатория радиогеологии и радиогеоэкологии
имени академика Д.И. Щербакова (зав. лаб. чл.-корр. РАН С.В. Юдинцев)***

Работы, направленные на **детальное комплексное изучение урановых месторождений и урановорудных районов с помощью структурно-геологических, минералогическо-петрографических, геохимических, гидрогеохимических и изотопно-геохронологических методов**, а также параллельно выполняемые **экспериментальные и теоретические исследования**. Цель – выяснение региональных и локальных закономерностей размещения и формирования уранового оруденения, дальнейшее развитие теории уранового рудообразования, совершенствование критериев прогноза, поисков и разведки месторождений урана различных промышленно-генетических типов.

Прикладные исследования

Лаборатория геоинформатики (зав. лаб. к.г.-м.н. В.А. Минаев)

Формирование автоматизированных банков данных для геоинформационного обеспечения геологоразведочных работ; разработка и внедрение современных геоинформационных технологий, в том числе на основе нейронных сетей; сбор, комплексный анализ и обработка данных ДЗЗ – структурно-геоморфологический анализ, минеральное картирование ореолов метасоматически преобразованных пород.

Лаборатория прогнозно-металлогенических исследований (молодежная лаборатория – зав. лаб. к.г.-м.н. С.А. Устинов)

Комплексный металлогенический анализ территорий; обоснование, выявление и визуализация критериев для постановки задач поисковых работ на полезные ископаемые различных геолого-генетических типов; разработка прогнозно-поисковых моделей на различные типы ПИ на основе современных математических и статистических подходов; формирование научно обоснованных рекомендаций к постановке поисковых работ.

Сотрудники структурных подразделений ИГЕМ РАН, занятые в реализации научно-исследовательских работ на уран (всего – 22 человека)

***Лаборатория радиогеологии и радиогеоэкологии
имени академика Д.И. Щербакова
(зав. лаб. чл.-корр. РАН С.В. Юдинцев)***

чл.-корр. РАН Величкин В.И., к.г.-м.н. Андреева О.В., д.г.-м.н. Пэк А.А., д.ф.-м.н. Мальковский В.И., д.г.-м.н. Кочкин Б.Т., д.г.-м.н. Дойникова О.А., Полуэктов В.В., Нестерова М.В., к.г.-м.н. Никольский М.С., Уланова А.С., Вик.Б. Комаров

***Лаборатория геоинформатики (зав. лаб. к.г.-м.н. В.А. Минаев)
к.г.-м.н. Минаев В.А., Гришков Г.А., Нафигин И.О., Яровая Е.В.***

***Лаборатория прогнозно-металлогенических исследований
(молодежная лаборатория – зав. лаб. к.г.-м.н. С.А. Устинов)
к.г.-м.н. Устинов С.А., Лапаев Д.С., Свечеревский А.Д., к.г.-м.н. Гусева А.С.***

***Лаборатория изотопной геохимии и геохронологии
(зав. лаб. академик РАН И.В. Чернышев)
к.г.-м.н. Голубев В.Н., к.х.н. Рассохина И.В.***

***Лаборатория кристаллохимии минералов (зав. лаб. к.г.-м.н. О.В. Каримова)
Межуева А.А.***

Сотрудничество с ФГБУ «ВИМС» в области реализации научно-практических работ на уран

Отдел урана и редких металлов ФГБУ «ВИМС» (зав. отделом к.г.-м.н. Н.А. Гребенкин)

Международный проект ЮНЕСКО № IGCP 675 «Урановые месторождения песчаникового типа»

Н.А. Гребенкин, к.г.-м.н., нач. отдела, ФГБУ «ВИМС»

И.Г. Печенкин, д.г.-м.н., профессор, советник ген. директора, ФГБУ «ВИМС»

Д.А. Прохоров, н.с., ФГБУ «ВИМС»

А.В. Сащенко, н.с., ФГБУ «ВИМС»

Г.А. Машковцев, д.г.-м.н., профессор, научный руководитель ФГБУ «ВИМС»

Аспирантура ИГЕМ РАН:

1. Инженер отдела урана и редких металлов ФГБУ «ВИМС» И.С. Тубольцев – аспирант 2-го курса ИГЕМ РАН.

Научный руководитель: к.г.-м.н. В.А. Минаев (ИГЕМ РАН)

Консультант: к.г.-м.н. Н.А. Гребенкин (ФГБУ «ВИМС»)

Тема диссертации: ***«Условия проявления скрытых урановых руд в мезозойских и неоген-четвертичных породах Широндукуйского месторождения (Стрельцовское рудное поле)»***

2. Инженер отдела урана и редких металлов ФГБУ «ВИМС» А.М. Чепчугов – аспирант 2-го курса ИГЕМ РАН.

Научный руководитель: к.г.-м.н. С.А. Устинов (ИГЕМ РАН)

Консультант: к.г.-м.н. Н.А. Гребенкин (ФГБУ «ВИМС»)

Тема диссертации: ***«Геологические условия образования урановых руд в пределах Туюканского рудного поля (Патомское нагорье, Иркутская область)»***

Тема государственного задания: «Тектонодинамические обстановки и физико-химические условия формирования минеральных систем основных промышленно-генетических типов урановых месторождений» (2021-2023 гг.) – рук. чл.-корр. РАН В.А. Петров, чл.-корр. РАН В.И. Величкин, к.г.-м.н. С.А. Устинов

Объектом исследований являются урановые месторождения основных промышленно-генетических типов: **вулканогенного типа (Стрельцовское рудное поле – Россия, Сианшаньское рудное поле – КНР, объекты в кальдере МакДермитт – США), типа структурных несогласий (бассейн Атабаска, Канада и бассейн Комболджи, Австралия) и песчаникового типа (Хиагдинское рудное поле, Россия и другие значимые объекты в мире как пример месторождений, формировавшихся при смешении поствулканических флюидов и метеорных кислородных вод).**

Цель исследований – разработка рекомендаций по выявлению значимых факторов рудоконтроля минерализации урановых месторождений основных промышленно-генетических типов для решения проблемы топливного обеспечения атомной энергетики Российской Федерации.



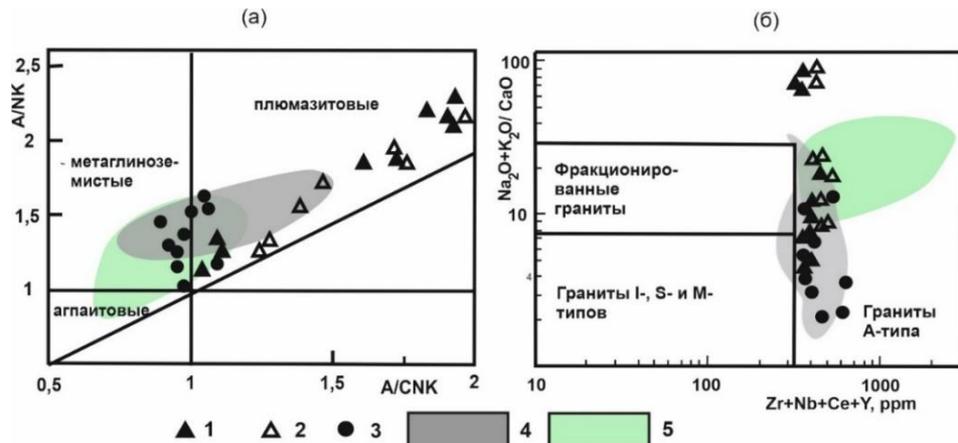
В настоящее время происходит изменение в алгоритме обоснования поисково-разведочных работ на уран от «классической» описательной структурно-формационной классификации МАГАТЭ, содержащей 15 типов, 37 подтипов и 14 классов урановых месторождений, к геолого-генетическим моделям месторождений (моделям урановых минеральных систем) с акцентом на генезис, состав и свойства рудоносных флюидов.

Остается нерешенной фундаментальная проблема рудогенеза, а именно часто наблюдаемое в минеральных системах смешение рудообразующих флюидов магматогенной, метаморфогенной и метеорной природы.

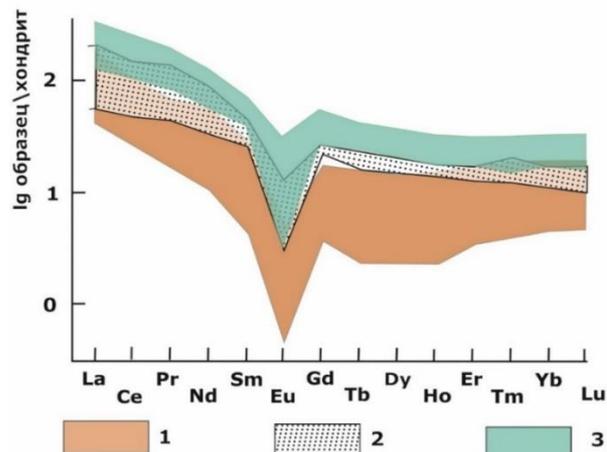
Наш подход к решению проблемы смешения рудообразующих флюидов состоит в реконструкции солидарного развития сейсмогеодинамических и флюидодинамических процессов в верхней части земной коры при учете механизмов тепломассопереноса и структурообразующей роли напорных флюидов.

Соотношение трех основных U минеральных систем (Осадочные-Приповерхностные, Метаморфические и Магматические), связанных с тремя типами рудоносных флюидов. Между этими конечными элементами существует континуум месторождений, представленных гибридными стилями минерализации, например, месторождения Fe-оксидного-Cu-Au-U (IOCGU) типа (*Skirrow et al., 2009*)

1. Месторождения вулканогенного типа



а – составы кислых и субщелочных эффузивных пород Стрельцовой кальдеры, а также Сианшань и МакДермитт (Петров и др., 2022), на диаграммах $A/CNK-A/NK$, (Maniar, Piccoli, 1989); $A/CNK=Al/(Na+K+2Ca)$, $A/NK=Al/(Na+K)$. б – дискриминационная диаграмма (Whalen et al., 1987) с данными по составам эффузивов кальдер Стрельцовой (значки), Сианшань и МакДермитт (в виде полей составов); 1 и 2 – риолиты Стрельцовой кальдеры, 3 – жильные и субвулканические сиениты и кварцевые монциты той же кальдеры, 4 – риолиты и риодациты структуры Сианшань; 5 – риолиты и игнимбриты кальдеры МакДермитт.

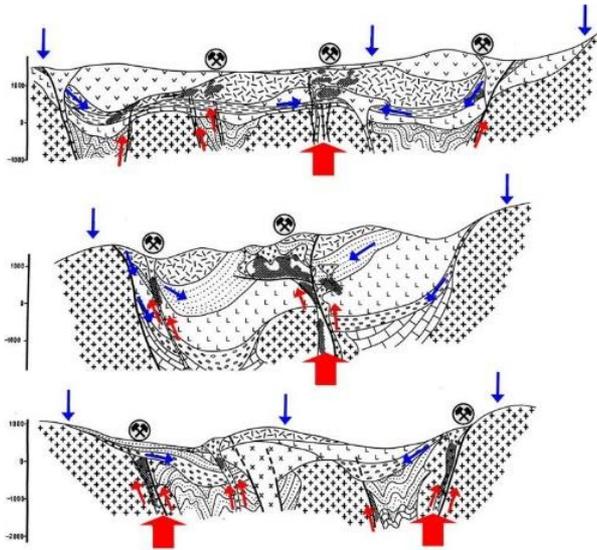


Спектры РЗЭ для вмещающих пород кислого и субщелочного составов в ураноносных структурах Стрельцовская, Сианшань и МакДермитт. 1 – Стрельцовская кальдера, 2 – структура Сианшань, 3 – кальдера МакДермитт.

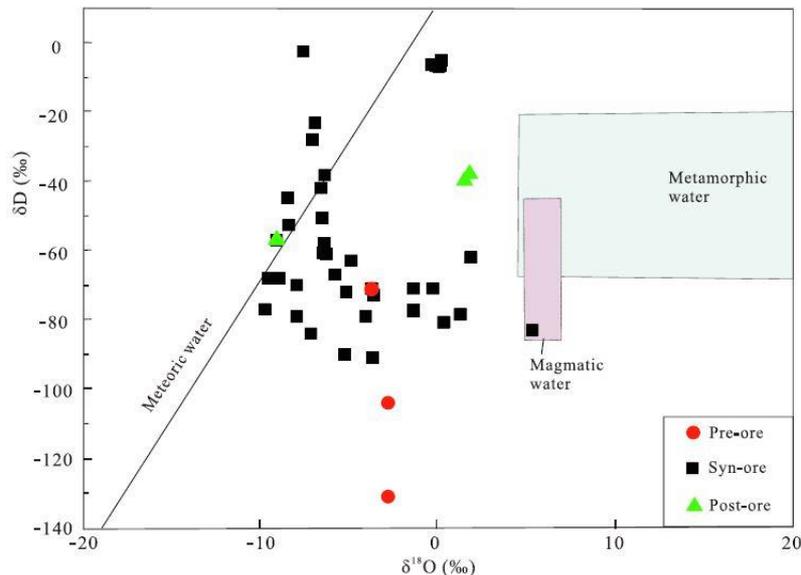
Магматизм ураноносных кальдер и геохимические черты вмещающих оруденение интрузивных и вулканических пород.

Вмещающие породы урановых месторождений в вулканогенных постройках Восточного Забайкалья, Южного Китая и Северо-запада США представляют собой метаалюминиевый или умеренно пералюминиевый высококалиевый тип вулканических пород, соответствующий гранитам А-типа (“анорогенные граниты”). Риолиты, риодациты, трахириолиты, а также экструзивные сиениты, кварцевые сиениты, риолитовые дайки и купола, обогащенные калием, обнаруживают высокую степень фракционирования. Это выражается в распределении РЗЭ с отчетливой отрицательной Eu-аномалией, значительным обогащением несовместимыми и высокочargedными элементами, например, Li, Rb, Cs, Ta, U, Th при резком снижении содержаний Ba и Sr. По современным представлениям, эти породы образуются в условиях растяжения путем частичного плавления кристаллической земной коры, обогащенной перечисленными компонентами под влиянием подъема мантийных плюмов.

1. Месторождения вулканогенного типа



Контроль разрывными нарушениями потоков гидротермальных (красные стрелки) и метеорных (синие стрелки) растворов, взаимодействие которых приводит к рудообразованию в напорных термоартезианских системах вулканотектонических структур (по Н.П. Лаврову, 1972).



Метасоматические процессы внутри ураноносных кальдер.

Проявления рудно-метасоматических процессов в рудоносных вулканогенных структурах имеют очевидные черты сходства. Это касается как составов рудных минералов, так и метасоматических преобразований, в ряду которых ведущая роль принадлежит обширным ореолам иллитовых метасоматитов или умеренно-кислотным аргиллизитам при отсутствии вторичных кварцитов и аргиллизитов кислотного типа. Преобладание общего фона невысокой или умеренной кислотности флюидов и относительно невысоких (не более 300°C) температур гидротермальных рудообразующих систем более благоприятно для переноса урана в виде карбонатных, но не фторидных или хлоридных комплексов.

Тектонодинамические обстановки миграции рудообразующих флюидов в вулканогенных структурах

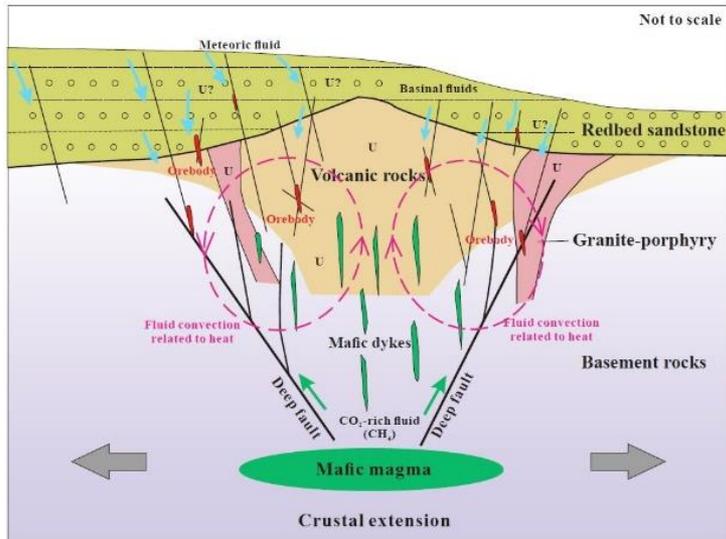
Важная роль флюидов метеорной природы в рудообразовании установлена для урановых месторождений вулканогенного типа в Сианшаньском рудном поле.

Показано преимущественно метеорное происхождение рудообразующего флюида, о чем свидетельствуют изотопные данные по водороду и кислороду

Обзор геологических материалов по урановым месторождениям Сианшаньского рудного поля привел к выводу о том, что ключевые факторы, контролирующие урановую минерализацию, связаны с сочетанием малоглубинных (развитие окислительных флюидов в толще красноцветов и разрывные структуры в вулканических породах) и глубинных (термическая активность, связанная с основным магматизмом) геологических процессов.

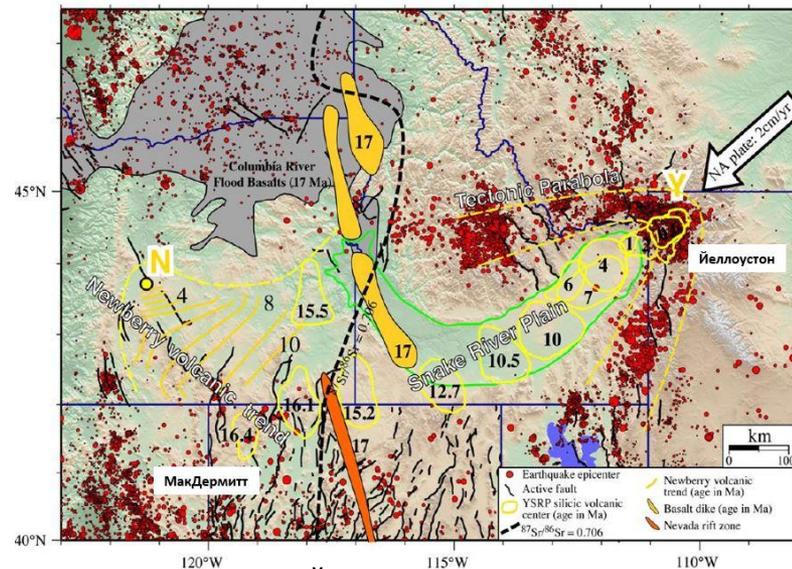
Изотопия флюидов, ассоциирующих с урановой минерализацией в Сианшаньском рудном поле, иллюстрирующая тот факт, что рудообразующие флюиды имеют метеорную природу (Guo et al., 2020). Pre-ore, syn-ore и post-ore – дорудная, синрудная и пострудная минерализация соответственно.

1. Месторождения вулканогенного типа

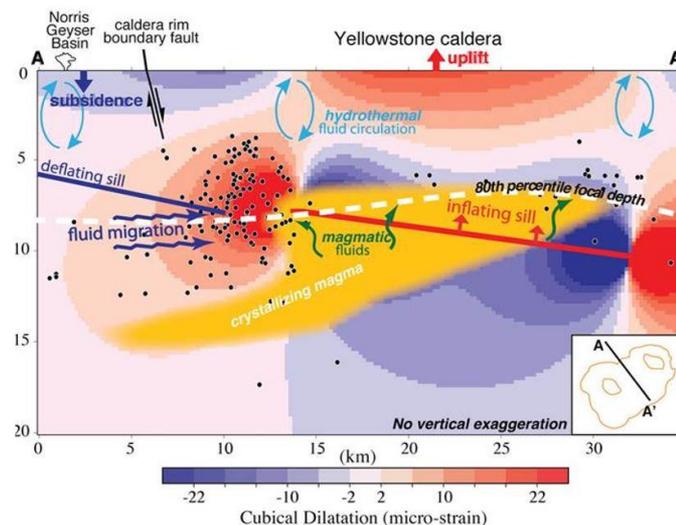


Концептуальная модель рудообразования для урановых месторождений Сяньшаньского рудного поля, показывающая, что толщи крапчатых пород и верхнекоровый магматический очаг являются элементами минеральной системы, задаваемой свободной тепловой конвекцией флюидов разной природы (Guo et al., 2020).

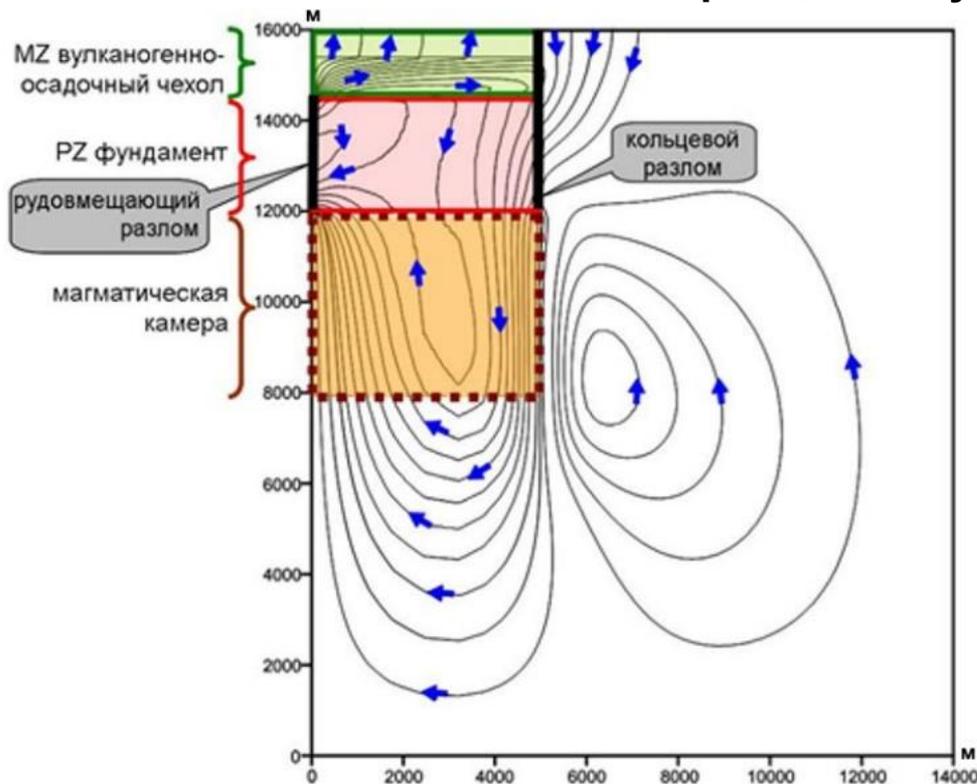
С учетом установленных в (Waite, Smith, 2002) процессов миграции флюидов на фоне региональной сейсмической активности и проседания кровли кальдеры в работе (Smith et al., 2009) предложена геодинамическая модель Йеллоустонского плюма, которая, в том числе, включает процессы взаимодействия магматических и гидротермальных флюидопотоков. Солидарное участие в урановом рудогенезе гидротермально-метасоматических и сейсмогеодинамических процессов в сочетании с термоконвективной циркуляцией флюидов четко прослеживается на месторождениях вулканогенного типа (Петров и др., 2014, 2018, 2022, 2023; Андреева и др., 2020, 2023; Petrov et al., 2022).



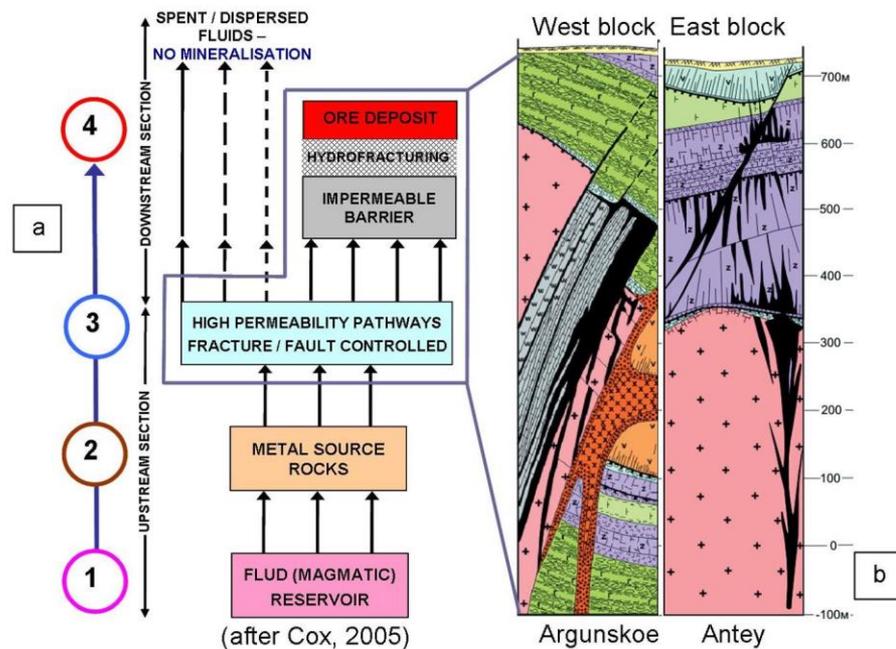
«Тектоническая парабола» Йеллоустона, формируемая эпицентрами землетрясений (Smith et al., 2009). YSRP – система вулканических аппаратов кислого состава плато Йеллоустон-Снейк Ривер (Yellowstone-Snake River Plain). Параллельно рифту фиксируется граница отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, значение которого 0.706 интерпретируется как раздел между континентальной литосферой на востоке и океанической литосферой на западе. Скорость продвижения континентальной плиты в ЮЗ направлении составляла от 2 до 4.5 см/год.



1. Месторождения вулканогенного типа



Конфигурация флюидопотоков как функция проницаемости структурных элементов в Стрельцовской кальдере по (Пэк и др., 2020 с дополнениями). Числовая модель для 20 000 лет после начала термоконвективной циркуляции флюидов.



(а) минерально-системный подход, реализующий парадигму «источник→транспорт→отложение» (Cox, 2005). (б) его приложение к урановой минерализации Стрельцовского рудного поля (Лаверов и др., 2012).

В настоящее время известно несколько генетических моделей образования месторождений Стрельцовского рудного поля, основанных на различных представлениях об источнике и механизмах миграции урана. В этом ряду стоит разработанная нами и верифицированная числовыми моделями гипотеза свободно-конвективного перемещения урана (Пэк и др., 2020; Petrov et al., 2022), которая объясняет его поступление из трех источников ближней мобилизации:

- 1) подкальдерного очага кислых расплавов, 2) гранитоидных пород фундамента и 3) вулканических пород выполнения кальдеры.

1. Месторождения вулканогенного типа

Процессы, приводящие к фиксации урана

Осадки, влажность, испарение	Взаимодействие вода-порода	Редокс потенциал (восстановление)	Кольматация пор и трещин	Нарастание минералов-концентраторов	Фиксация биомассы
Изменение условий течения	Гидрологические параметры	Восстановительные условия	Закрытие ТП каналов, диффузия	Взаимодействие вода-минералы (глины)	Заполнение биомассой
Редокс потенциал (окисление) Парциальное P	Окислительная обстановка	Гидрогеохимия	Изменение химии поровых вод	Осаждение, сорбция, изменения минералов	Образование биомассы, подпитка, метаболизм
Промывка трещинно-поровых (ТП) каналов	Открытие ТП каналов, дробление	Изменение химии поровых вод	Структура трещинно-порового пространства	Позитивный объемный эффект, рост S взаимодействия	Увеличение объема биомассы
Выщелачивание	Коллоидный транспорт	Растворение, десорбция	Образование активных поверхностей	Минеральное выполнение	Аккумуляция биомассы, металорганика
Увлажнение биомассы, миграция	Растворение биомассы	Растворение питательных веществ	Микротрещины, уменьшение объема	Растворение биомассы и минерализации	Микробиота

Матрица основных процессов, определяющих условия миграции и концентрирования урана в зоне аэрации

Условия миграции урана в зоне аэрации.

Проведено обобщение данных многолетнего (с 2000 г.) изучения процессов разрушения первичных руд, выщелачивания, перераспределения и концентрации урана в благоприятных структурно-литологических «ловушках» в карьере Тулукуевского месторождения Стрельцовского рудного поля (Полуэктов и др., 2022; Петров и др., 2023). Установлено, что важнейшим фактором, влияющим на динамику продвижения современного и, по-видимому, древнего фронта окисления, является внутриразломный физико-химический реакционный (глеевый, сорбционный) барьер, где эффективная задержка U(VI) обусловлена Fe-Mn оксигидроксидами, импрегнированным углеродистым веществом, включая гипогенный тухолит (состав, мас. %: С – 49.47, O – 29.08, Mg – 0.28, Ca – 1.58, Al – 0.81, Si – 0.43, S – 0.59, U – 10.72), и образованным микроорганизмами (прото)ферригидритом.

По результатам этих многолетних исследований разработана матрица взаимодействия ключевых процессов, определяющих выщелачивание и концентрирование урана, которая может быть использована для унификации методических приемов по изучению условий его миграции в зоне аэрации

2. Месторождения структурных несогласий

С использованием методов математического моделирования процессов флюидного массопереноса были последовательно рассмотрены компьютерные модели миграции флюидов для трех сценариев: 1) тепловая конвекция флюидов в зоне разлома с периодической восходящей и нисходящей свободной тепловой конвекцией, 2) вынужденноконвективная миграция флюидов при субкритическом значении проницаемости и, соответственно, отсутствии свободной тепловой конвекции в зоне разлома, 3) режим смешанной конвекции с восходящим и нисходящим движением флюидов по зоне разлома (Пэк и др., 2022; 2023; Pek et al., 2024).

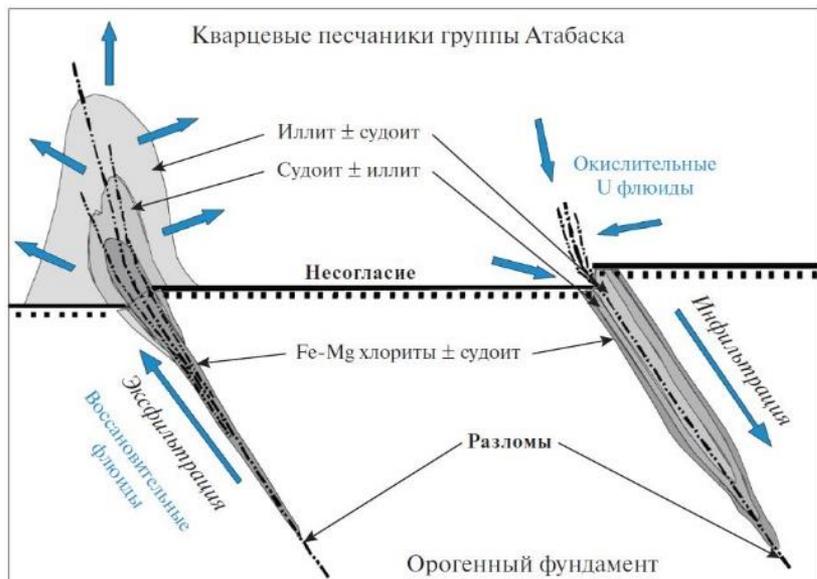


Схема зональности метасоматических ореолов и структуры циркуляции флюидов при формировании месторождений эксфильтрационного и инфильтрационного типов (Jefferson et al., 2007).

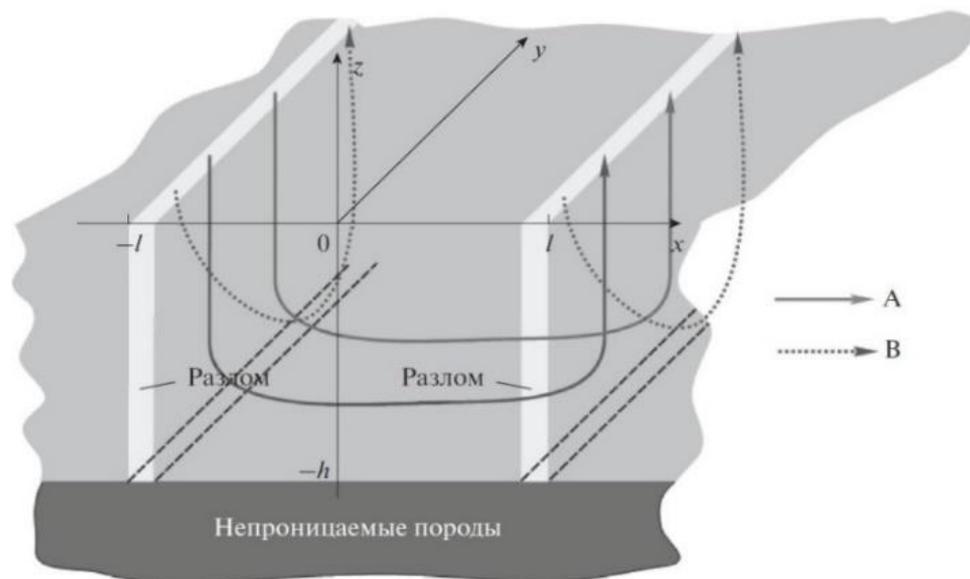
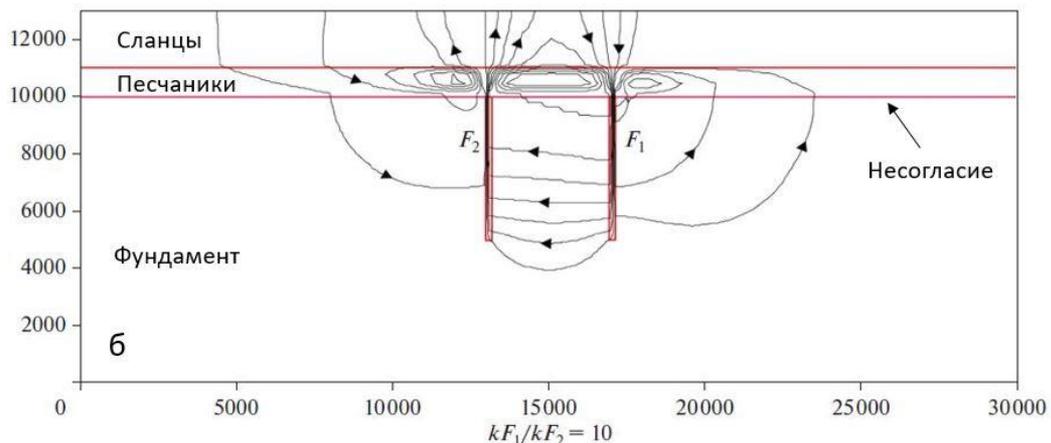
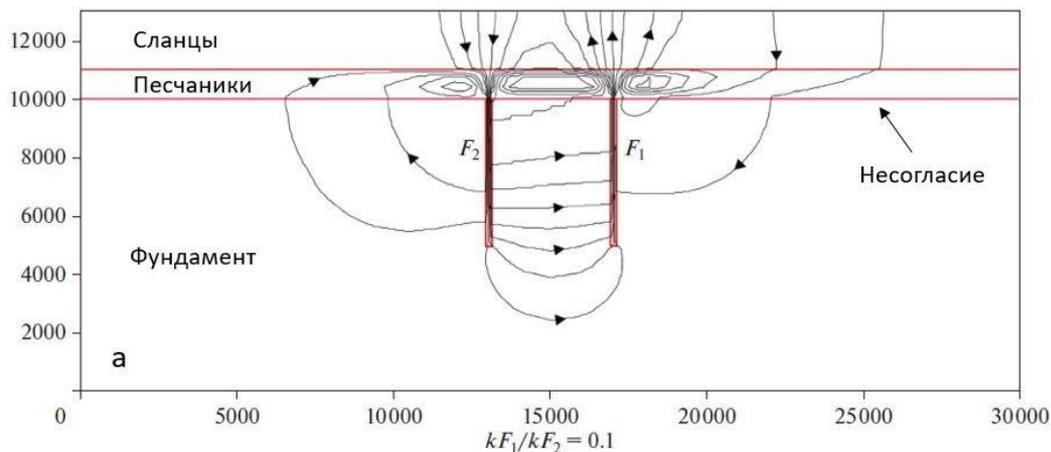


Схема конвективной циркуляции растворов в межразломной конвективной ячейке.

Предложена гипотеза происхождения уникально богатых руд бассейна Атабаска в результате многоэтапного телескопированного отложения урана в структурных ловушках, созданных на начальном этапе формирования месторождений и впоследствии подновляемых сейсмоструктурными воздействиями. Обоснование многоэтапной интерпретации проведено с использованием методов компьютерного моделирования флюидодинамических условий образования основных структурных типов эксфильтрационных и инфильтрационных месторождений несогласия, локализованных в песчаниках и породах фундамента бассейна, соответственно; анализа тектонодинамических обстановок периодического возобновления гидротермальной активности на последовательных этапах формирования месторождений; рассмотрения флюидодинамических процессов мобилизации урана из урансодержащих пород фундамента бассейна.

2. Месторождения структурных несогласий



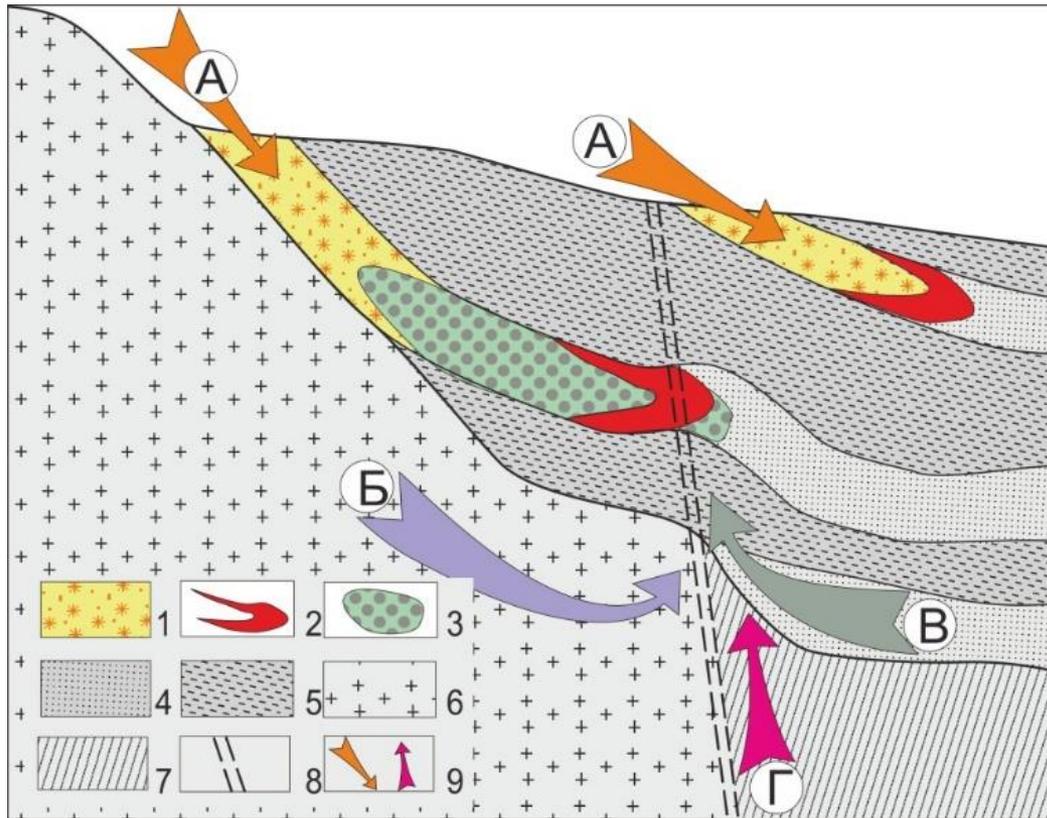
Инверсия вектора термоконвективной циркуляции флюидов при отклонении на порядок отношения kF_1/kF_2 значений проницаемости k зон разломов от их невозмущенного $kF_1/kF_2 = 0.1$ значения (Пэк и др., 2022).

Проведено моделирование процесса геотермической конвекции при одинаковых значениях теплопроводности зон разломов и значениях отношения их проницаемостей kF_1/kF_2 , отклоняющихся на порядок от невозмущенного $kF_1/kF_2 = 0.1$ значения.

Изменение отношения проницаемостей зон разломов приводит к инверсии ориентации векторов термоконвективной циркуляции флюидов. При одинаковых значениях геометрических параметров и проницаемости зон разломов ориентация векторов контура термоконвективной циркуляции флюидов самоустанавливается произвольно по или против часовой стрелки.

Таким образом показано (Пэк и др., 2022), что для геотермической конвекции с межразломной циркуляцией флюидов одним из основных ограничивающих условий является проницаемость зон разломов. В периоды воздействия на флюидодинамическую систему бассейна Атабаска удаленных орогенических событий сейсмотектонические деформации могли вызывать увеличение проницаемости зон разломов до значений, превышающих ее пороговое значение, которые инициировали термоконвективную циркуляцию флюидов.

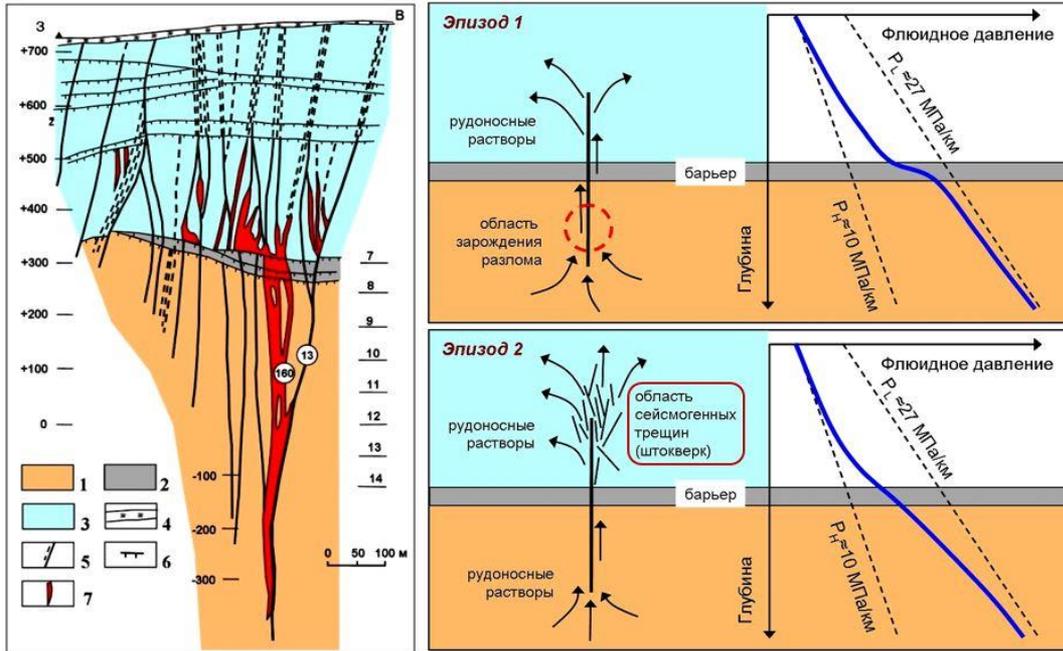
3. Месторождения песчаникового типа



Типы минералообразующих систем экзогенных месторождений урана в песчаниках: А - классическая инфильтрационная система метеорных уран-содержащих кислородных вод; А+Б - система смешения двух инфильтрационных систем - метеорных кислородных с ураном и метеорных вод глубокой циркуляции, утративших кислород; А+В - система смешения ураноносных инфильтрационных и эксфильтрационных нефтяных вод с эпигенетическими восстановителями; А+Г - система смешения ураноносных инфильтрационных и эксфильтрационных магматогенных или метаморфогенных термальных вод. 1 - окисленные пески, 2 - тела урановой рудной минерализации, 3 - участки минерализации «восстановительного эпигенеза» и вторичного восстановления окисленных песков с консервацией урановой минерализации, 4 - пески сероцветные, 5 - глины сероцветные, 6 - граниты, 7 - метаморфические породы, 8 - разлом, 9 - условные траектории миграции растворов в системе: А-Г.

Обзор примеров месторождений урана в песчаниках показал, что роль восходящих вод в урановой экзогенной минеральной системе может различаться (Кочкин, 2022, 2023). Фиксируются явления смешения нисходящего ураноносного и восходящего термального потоков. Известны примеры наложения восстановительных вод на рудоконтролирующую окислительную зональность с консервацией рудной минерализации или её переотложения. Пограничные минеральные системы экзогенного уранового минералообразования дают примеры того, как важно отделять рудоформирующий механизм (процесс) от сопутствующих обстоятельств в генетических интерпретациях наблюдений и фактов. В экзогенной урановой минеральной системе – это восстановление урана на геохимическом барьере. Рассмотрение источников восходящих вод, потенциально содержащих эпигенетические восстановители урана, особенно важно для прогноза месторождений самого древнего возраста, когда в континентальных осадочных песчаниках в силу эволюционных причин не накапливались растительные остатки – сингенетические восстановители.

4. Структурообразующая роль флюидов и сейсмогеодинамический фактор в урановом рудообразовании



Слева – схематический разрез месторождения Антей-Стрельцовское (Петров и др., 2015, 2017). Справа – модель формирования каркаса рудовмещающих структур в обстановке пульсационного поступления растворов в зону рудоотложения. 1 – граниты фундамента, 2 – базальный горизонт, 3 – осадочно-вулканогенные породы чехла; 4 – четвертичные осадки, 5 – основные крутопадающие разломы и их номера, 6 – основные пологие срывы, 7 – рудные зоны и отдельные тела. Указаны шкала высот над уровнем моря и номера горизонтов горных выработок. Показаны профили флюидного давления для каждого эпизода. PL и PH – вариации литостатического и гидростатического флюидного давления соответственно (по Сох, 2005).

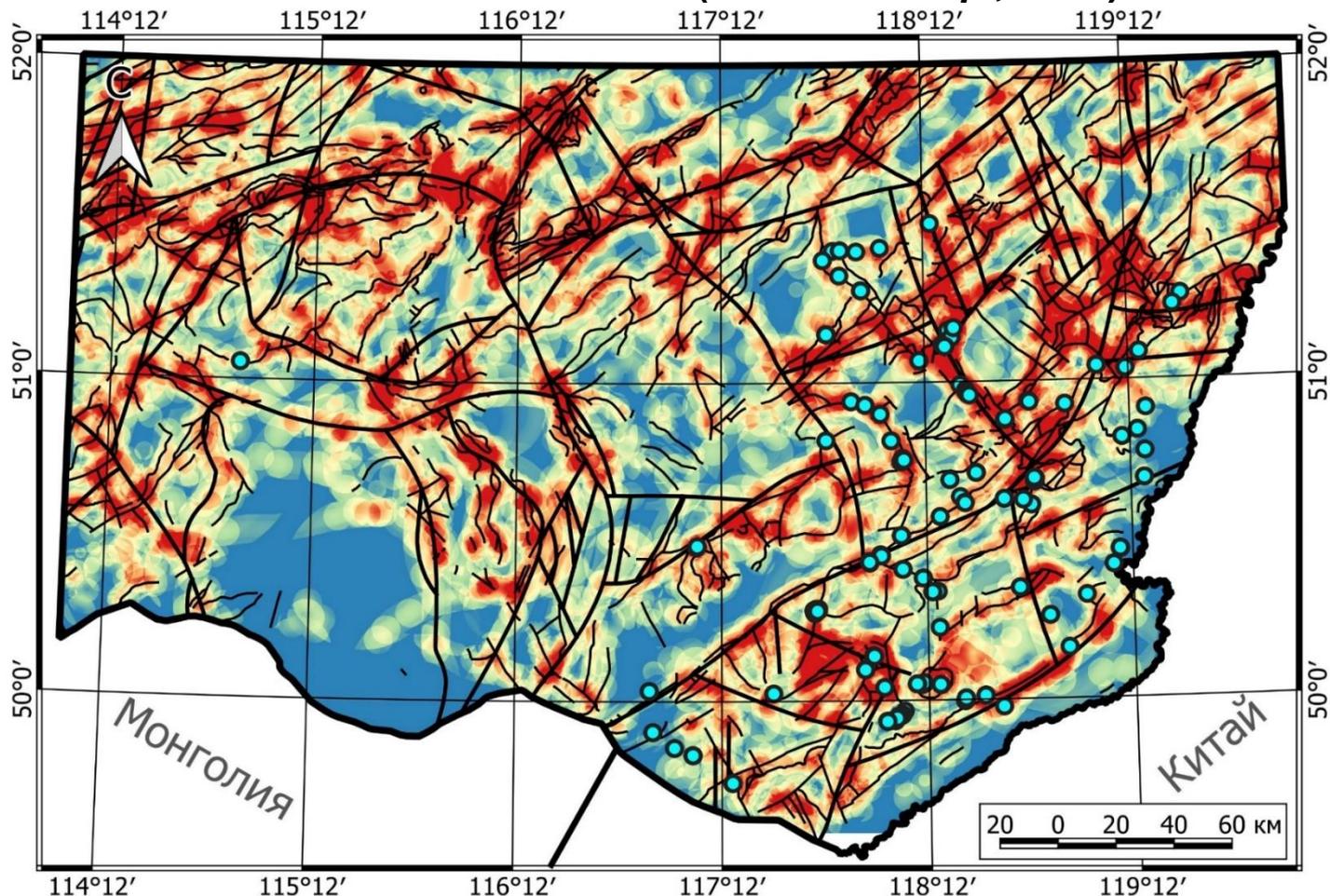
Структурообразующую роль флюидов в процессе деформаций и рудообразования хорошо иллюстрирует модель формирования каркаса рудовмещающих структур молибден-уранового месторождения Антей-Стрельцовское в Стрельцовском рудном поле.

Эпизод первый: в область зарождения разломной зоны в фундаменте кальдеры стягиваются гидротермальные растворы на фоне повышенных скоростей деформирования и развития объемной дилатансии. Растворы создают избыточное флюидное давление под малопроницаемым экраном базального горизонта, который прорывается разломом, в том числе в результате гидроразрыва.

Эпизод второй: вдоль разлома происходит быстрый декомпрессионный подток растворов, создающих в верхней концевой части избыточное давление и выступающих в качестве триггера для афтершоковых событий, что способствует сейсмогенному формированию трещинных систем в области геологического пространства над малопроницаемым экраном.

5. Прогноз урановорудных объектов на основе обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

Структурная региональная весовая прогнозно-поисковая модель юго-восточного Забайкалья (Устинов и др., 2023)



Точность модели на основе эталонных объектов 89 %

Вероятность локализации рудной минерализации



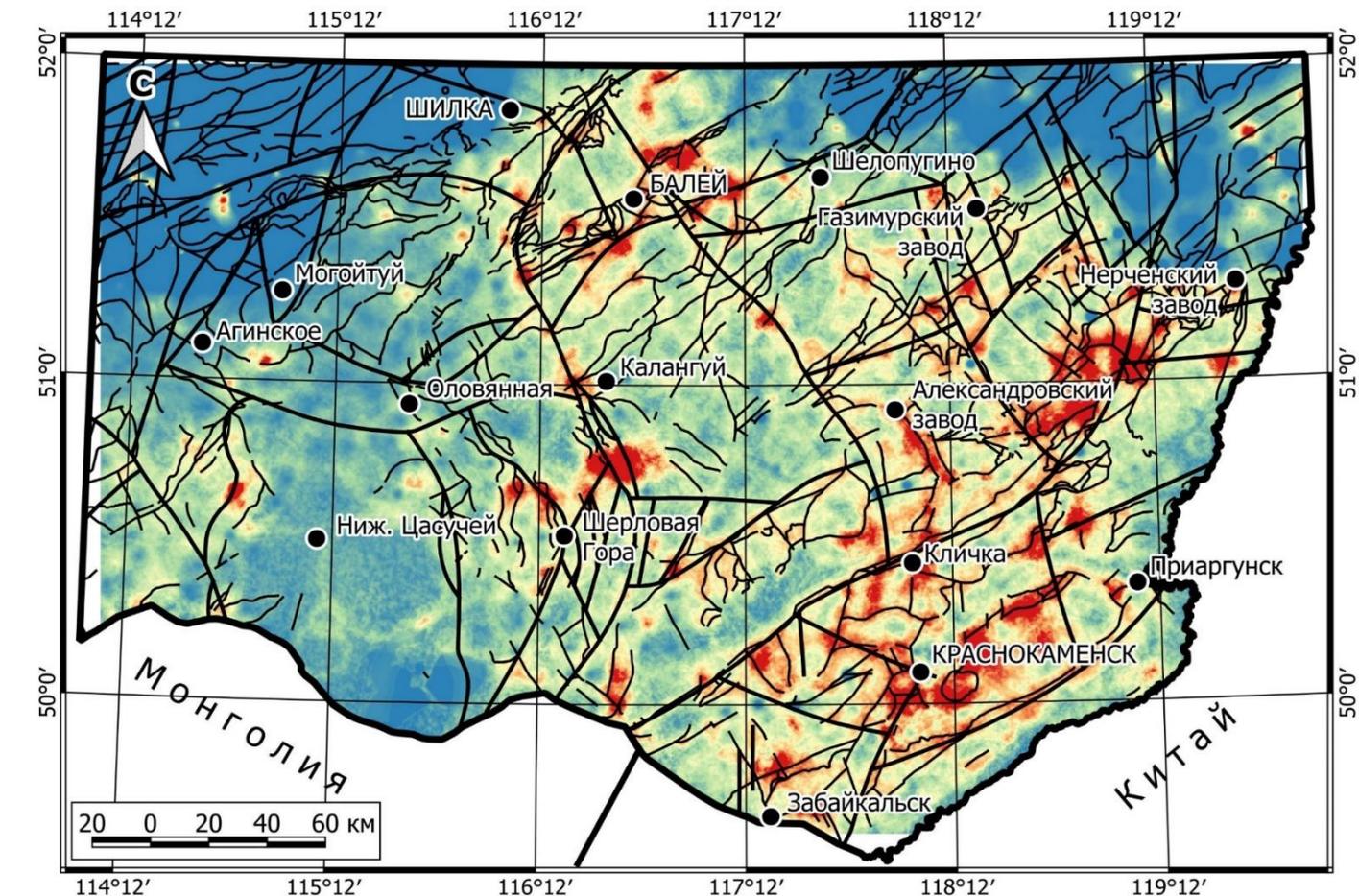
Тектонические нарушения:

- Неотектонические зоны
- Разрывные нарушения в чехле
- Разрывные нарушения в фундаменте

- Государственная граница Российской Федерации и листа Государственной геологической карты М-50
- Точки отбора образцов горных пород и руд в 2022-2023 гг.

5. Прогноз урановорудных объектов на основе обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

Структурная региональная весовая прогнозно-поисковая модель юго-восточного Забайкалья с учетом содержаний урана в коренных породах (Устинов и др., 2023)



Точность модели на основе эталонных урановорудных объектов 80 %

Вероятность локализации урановорудной минерализации
10%  80%

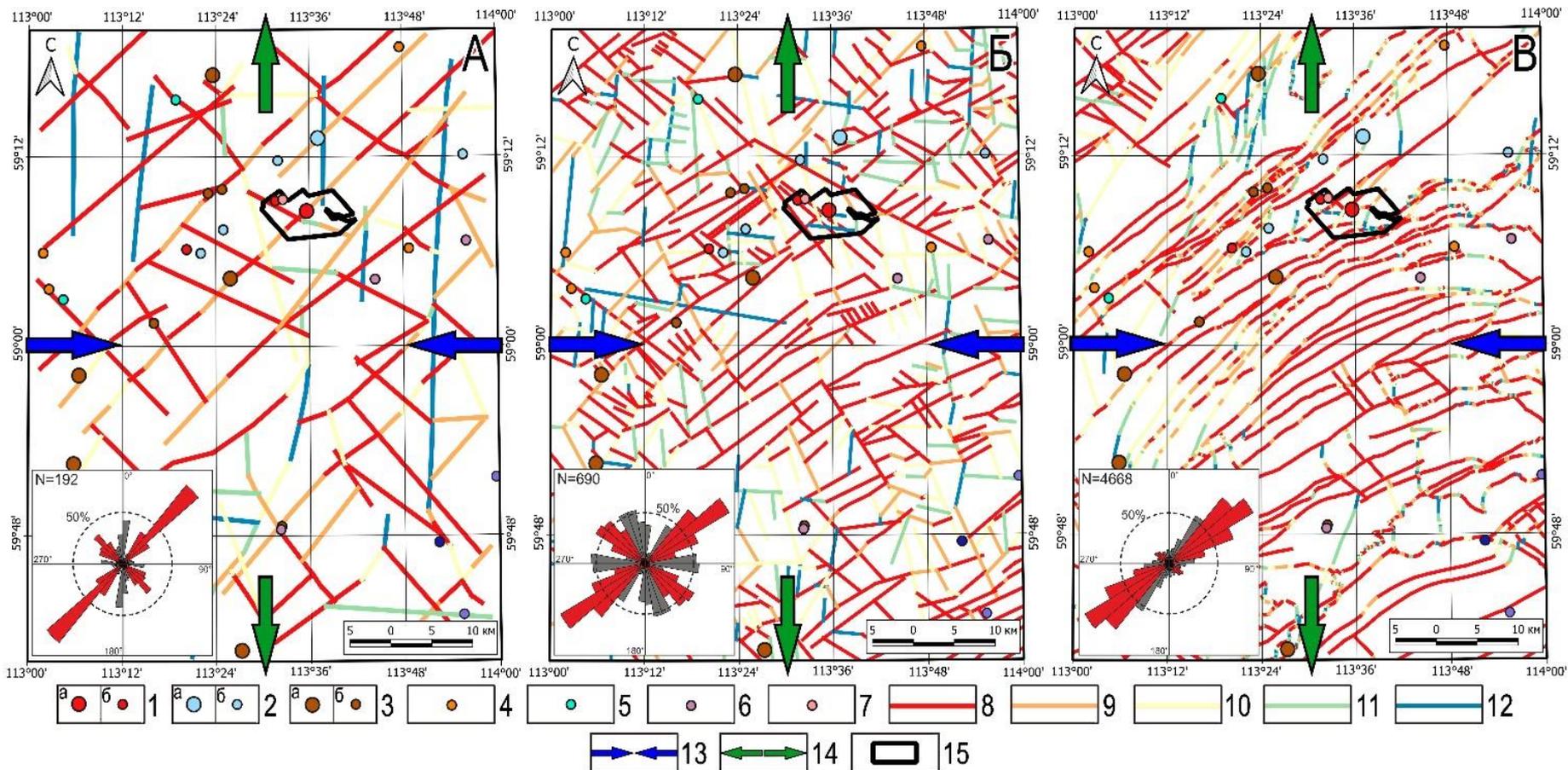
Гектонические нарушения:

- Разрывные нарушения в чехле
- Глубинные разрывные нарушения

● Населенные пункты и их названия

□ Рамка ГК М-50

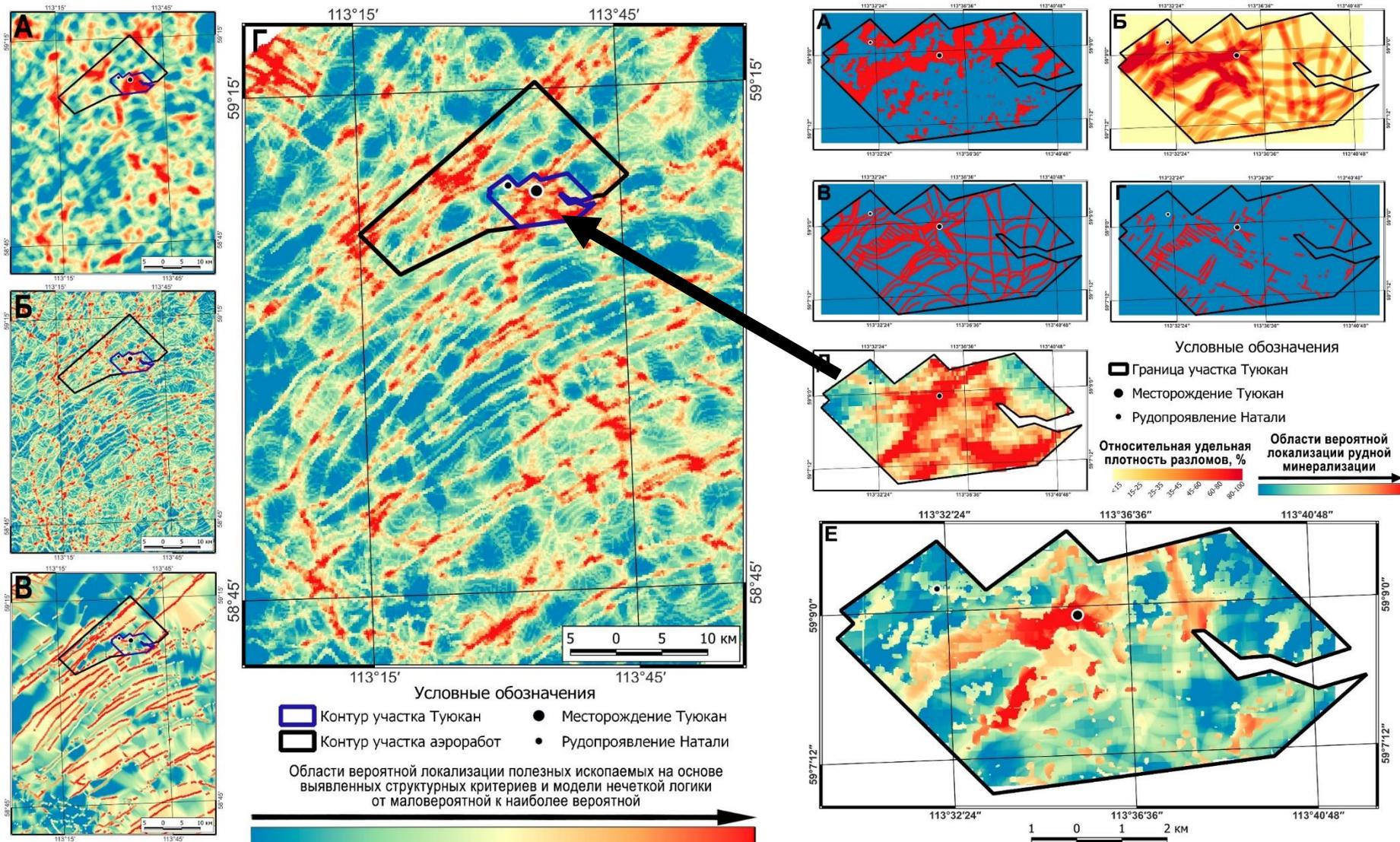
5. Прогноз урановорудных объектов на основе обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)



Результаты расчета тенденции к сдвигу (μ) для сегментов предполагаемых и известных разрывных структур района Туюканского рудного узла относительно реконструированных ориентировок региональных анизотропных напряжений (Устинов и др., 2024) для: А – предполагаемых разломов, выявленных на основе интерпретации трендов линеаментов; Б – протяженных линеаментов, выделенных оператором; В – закартированных разрывных структур. На розах-диаграммах красным цветом показаны ориентировки сегментов структур повышенной проницаемости. 1-3 – месторождения (а) и рудопроявления (б): 1 – U, 2 – Sn, 3 – Fe; 4-7 – рудопроявления: 4 – Au, 5 – Cu, 6 – Ti, 7 – W; 8 – сегменты повышенной проницаемости; 9 – проницаемые сегменты; 10 – сегменты средней проницаемости; 11 – слабопроницаемые сегменты; 12 – непроницаемые сегменты; 13 – ориентировка региональной оси максимального сжатия; 14 – ориентировка региональной оси максимального растяжения; 15 – границы перспективного Туюканского участка.

5. Прогноз урановорудных объектов на основе обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

Разномасштабные структурные весовые прогнозно-поисковые модели района Туюканского рудного узла, построенные на основе структурных критериев и определённых коэффициентов их веса (Устинов и др., 2023)



6. Оценка роли разломных структур, влияющих на подток углекислых вод в пределах Витимского урановорудного района по результатам обработки данных дистанционного зондирования Земли.

Помимо традиционных критериев поиска месторождений урана Витимского типа (граниты витимканского комплекса; палеодолины, врезанные в кристаллический фундамент на склонах поднятий; палеоруслы, заполненные миоценовыми делювиально-пролювиально-аллювиальными терригенными отложениями с углефицированными растительными остатками; вынос урана из кор выветривания гранитоидов кислородными инфильтрационными водами с бортов и верховьев палеодолин и концентрирование его углистым органическим веществом; наличие восстановительного геохимического барьера) И.Н. Солодовым (Солодов, Нестерова, 2022; 2023) в качестве дополнительных критериев предложено рассмотреть аномальные содержания углеводов в почвенном покрове, которые, в большинстве случаев, совпадают с проекциями контуров рудных тел. При этом на урановых месторождениях Хиагдинского рудного поля (ХРП) обнаружено сквозное проникновение углеводов от гранитоидного фундамента до почвенного покрова. Этот установленный факт говорит о необходимости более детального выявления предполагаемых флюидопроводящих разрывных структур в пределах района и проведения структурно-тектонифизического анализа каркаса разрывных нарушений с целью установления наиболее тектонически нарушенных участков, благоприятных для поступления растворов в проницаемую толщу терригенных отложений.

Цель: Уточнение структурных особенностей строения, выявление и оценка роли разломных структур, влияющих на подток углекислых вод и формулирование дополнительных поисковых структурных критериев для обоснования проведения и проектирования дальнейших поисковых работ в пределах Витимского УРР.

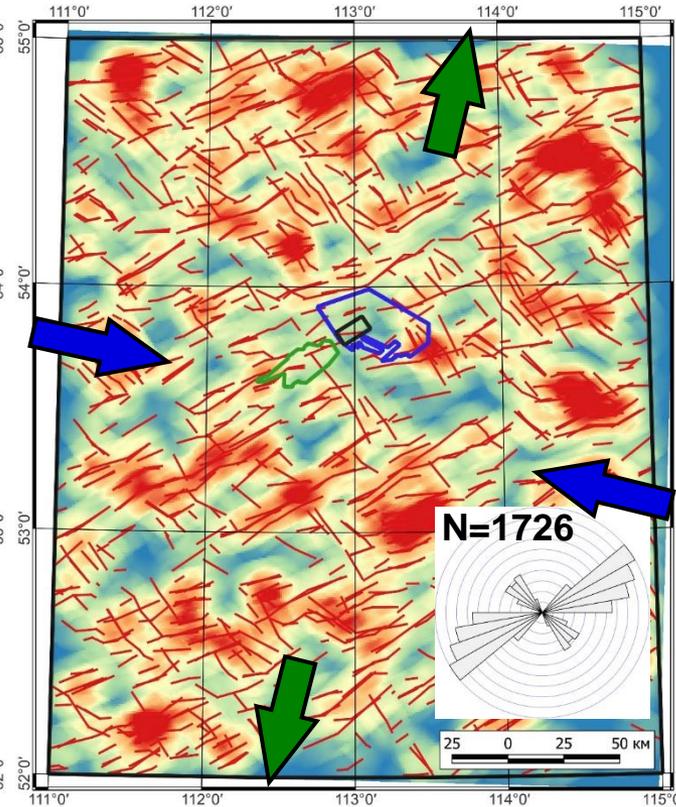
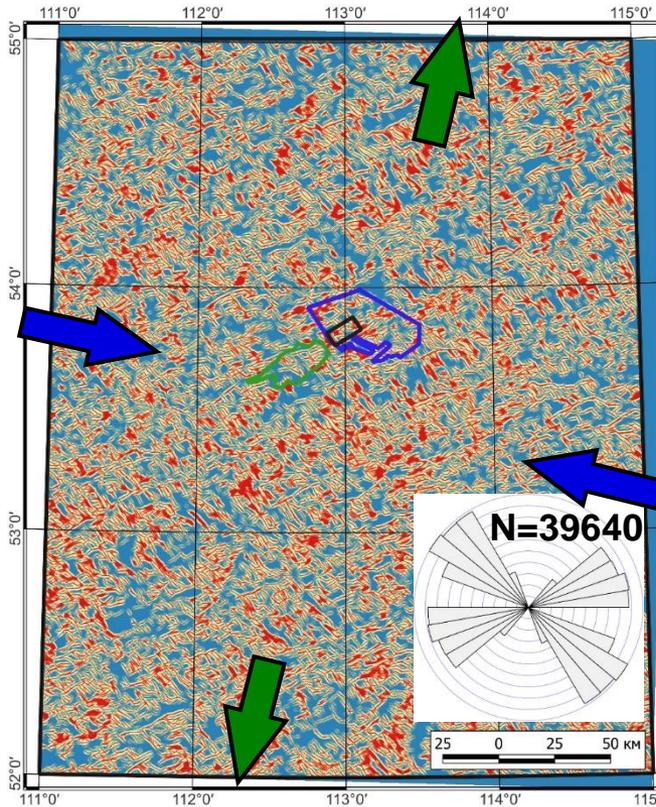
Солодов И.Н., Нестерова М.В. Углекислые подземные воды – рудосохраняющий фактор на урановых месторождениях Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) // Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 64. – № 1. – С. 151-162.

Солодов И.Н., Нестерова М.В. Распространенность углекислых подземных вод и углеводов на месторождениях урана Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65. – № 6. – С. 495-508. 19

6. Оценка роли разломных структур, влияющих на подток углекислых вод в пределах Витимского урановорудного района по результатам обработки данных дистанционного зондирования Земли.

Надлокальный уровень

Субрегиональный уровень



**Размер пиксела 250 м,
радиус поиска – 1000 м.**

**Размер пиксела 1000 м,
радиус поиска – 10000 м.**

- На рисунках и роза-диаграммах показаны только наиболее гидравлически активные сегменты предполагаемых разрывных структур с $0,5 < \mu < 0,7$.

- Наиболее гидравлически активные сегменты разрывных структур при установленных параметрах регионального поля напряжений-деформаций характеризуются СВ и СЗ простираниями.

- Схемы плотностей отражают области интерференции (пересечений, сближений) наиболее гидравлически активных сегментов разрывных структур.

- Наиболее интенсивный приток углекислых вод, вероятно, осуществлялся/ется за счет проницаемых структур локального и надлокального масштабного уровня, данные структуры соответствуют простиранию и масштабу развития рудных тел ХРП в проницаемых терригенных толщах.

7. Планы на ближайшую перспективу

Тема государственного задания: «Эндогенные и экзогенные факторы продуктивности ураноносных минеральных систем» (2024-2026 гг.) – рук. чл.-корр. РАН В.А. Петров, чл.-корр. РАН В.И. Величкин, к.г.-м.н. С.А. Устинов

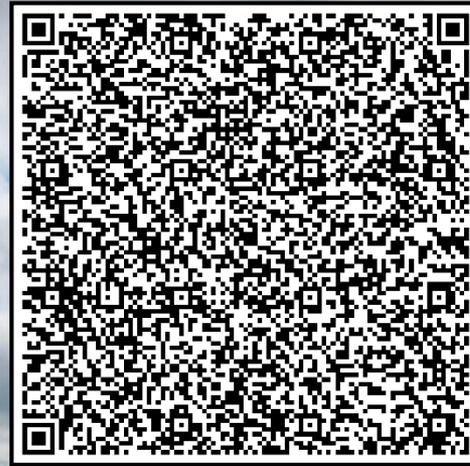
Цель - Установить ключевые факторы эндогенной и экзогенной природы, влияющие на продуктивность ураноносных минеральных систем ведущих типов (гранитоидный, вулканогенный, песчаниковый, несогласия) и их пространственно-временных сочетаний.

Предлагаемый подход развивает результаты проводимых ранее исследований по теме государственного задания ИГЕМ РАН «Тектонодинамические обстановки и физико-химические условия формирования минеральных систем основных промышленно-генетических типов урановых месторождений», позволяя сконцентрироваться на получении новых данных для прогнозно-минерагенических построений, которые призваны достоверно определять перспективные площади, пригодные для проведения поисковых на уран работ (*Машковцев, Петров, 2023*).

2024

- Провести сравнительный анализ продуктов магматизма, постмагматических и метасоматических гидротермальных преобразований, а также геодинамических обстановок формирования крупнейших по ресурсам ураноносных минеральных систем вулканогенного (связанного с магматизмом) типа (на примере Стрельцовского рудного поля, РФ и Сианшаньского рудного поля, КНР).
- Выявить тектонический и геохимический контроль размещения уранового оруденения в осадочных толщах (на примере месторождений Витимского урановорудного района, РФ).
- Установить режимы миграции флюидов при формировании минеральных систем урановых месторождений несогласия (на примере района Аллигейтор-Риверс, Австралия).

Спасибо за внимание!



Степан Андреевич Устинов: ustinov@igem.ru