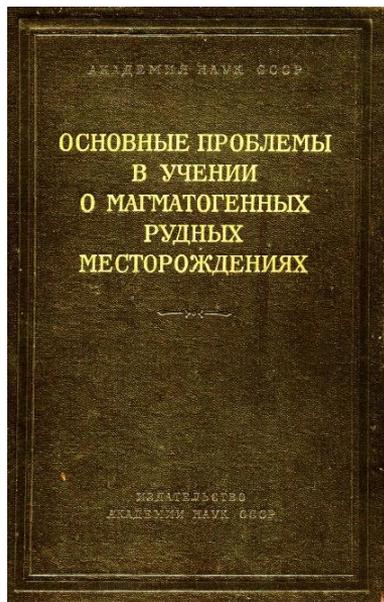


**Петров В.А.
ИГЕМ РАН**



**НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО УСЛОВИЯМ ФОРМИРОВАНИЯ
УРАНОВОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ И НАУЧНО-
МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ**

Постановка вопроса о причинах и закономерностях движения гидротермальных растворов



Бетехтин А.Г., Вольфсон Ф.И.,
Заварицкий А.Н., Коржинский
Д.С., Левицкий О.Д.,
Николаев В.А.

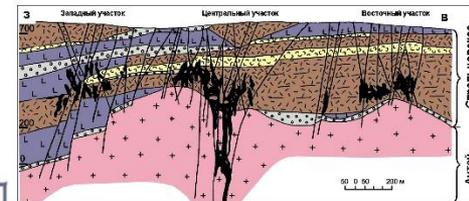
Изд-во АН СССР, 1953. 615 с.

«Вопрос о причинах движения рудоносных растворов сравнительно давно уже начал интересовать геологов, занимающихся изучением рудных месторождений...
В нашей литературе мало уделяется внимание этой теме...
Однако затронутый вопрос должен привлечь серьезное внимание наших геологов, изучающих рудные месторождения. Мы вообще должны добиваться реальных представлений о причинах и направлениях перемещения рудоносных растворов, так как они имеют очень важное значение для решения ряда практических задач, связанных с освоением рудных месторождений, особенно при рациональном направлении поисково-разведочных работ»

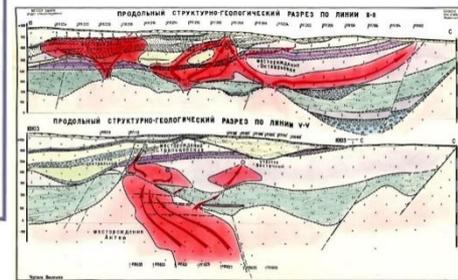
Глава «О причинах движения гидротермальных растворов»
/С. 453-475/



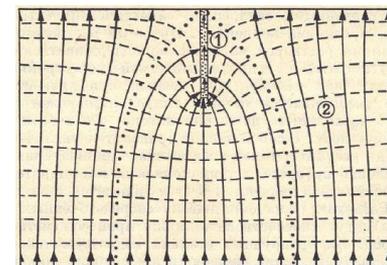
Минерально-системный подход реализует парадигму «источник → транспорт → отложение» (схема Сох, 2005)



Разрез восточной части Стрельцовской кальдеры (Л.П. Ищукова и др., 1998)



Тектонические и гидродинамические условия образования позднеМЗ урановых м-ний Забайкалья (В.Е. Вишняков, 1986)

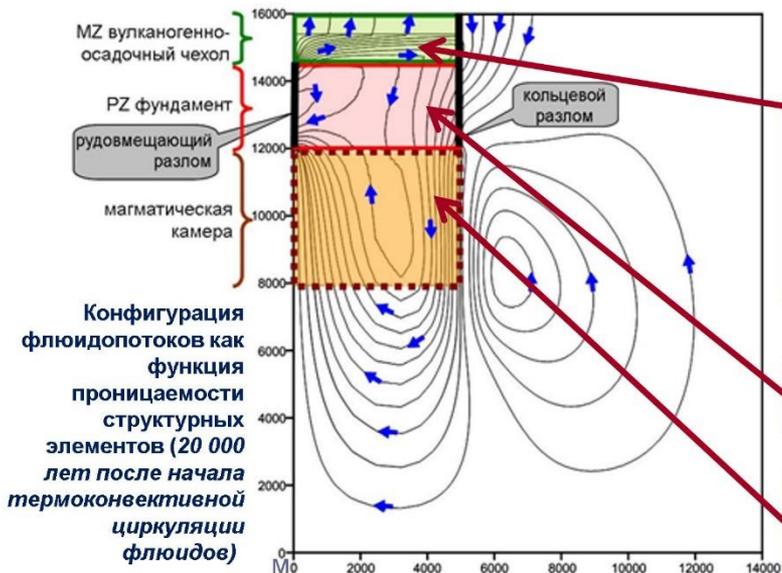


О причинах и закономерностях движения гидротермальных растворов (А.А. Пэк, Ю.Г. Сафонов, 1987)

Эндогенные и экзогенные факторы продуктивности ураноносных минеральных систем (на примере СРП)

▶ На примере Антей-Стрельцовой рудообразующей системы были выполнены расчеты для **Вынужденно-Конвективной Модели** с глубинным магматическим источником урана и **Свободно-Конвективной Модели** с коровыми источниками урана (Пэк и др., 2018; Pek et al., 2020)

▶ Числовые модели термоконвективной циркуляции флюидов в остаточном тепловом поле магматического очага кальдеры позволили выдвинуть гипотезу о поступлении урана **из трех источников его ближней мобилизации**: 1) подкальдерного очага кислых магм; 2) гранитоидов фундамента и 3) вулканических пород (фельзитов) выполнения кальдеры (Petrov et al., 2022)



Верификация источников ближней мобилизации U:

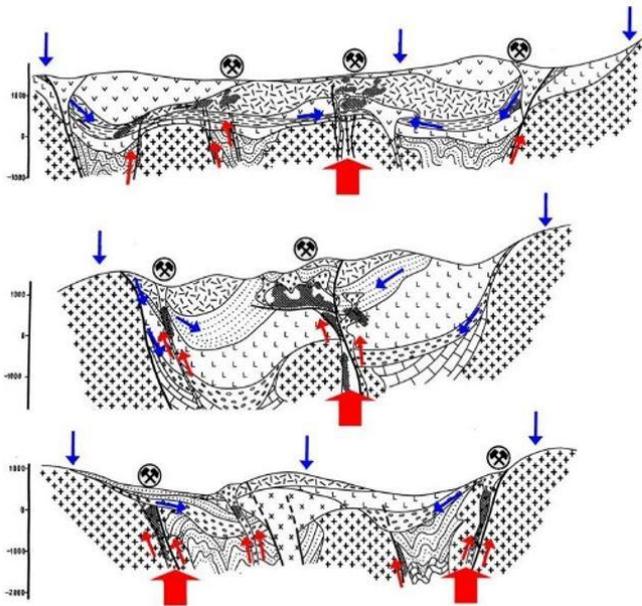
III. Вулканыты выполнения: На примере Тулукуй-Новогодненской рудообразующей системы изучены кислые стекла в мощной (до 300 м) толще субщелочных вулканических пород (фельзитов). Установлено, что рассеянный в породах уран (C_U до **15 ppm**) концентрируется (C_U до **100 ppm**) на сорбиционноемких минералах в трещинно-поровом пространстве пород и затем мигрирует (перераспределяется) в обстановке термоконвективной циркуляции флюидов в остаточном тепловом поле магматического очага, создавая повышенные концентрации (C_U до **10000 ppm**) в структурных ловушках (Poluektov et al., 2024)

II. Граниты фундамента кальдеры: Ундинский комплекс (гидрослюдизированные граниты) до **6 ppm** урана (Андреева и др., 1996; Andreeva et al., 2020)

I. Подкальдерный очаг: по расплавленным флюидным включениям во вкрапленниках кварца риолитовых покровов кальдеры установлено, что риолитовый расплав содержал около 2% воды и **18±3 ppm** урана (Chabiron et al., 2001, 2003; Petrov et al., 2023)

Вывод: соучастие в рудогенезе трех высокопродуктивных источников и термоконвективная циркуляция потоков U-транспортирующих флюидов на различных этапах тектогенеза определяет происхождение уникальных по запасам месторождений Стрельцовского рудного поля и отличает Стрельцовскую систему от таких вулканогенных рудообразующих систем, как Сианшань в Китае и МакДермитт в США.

Контроль потоков U-транспортирующих флюидов ВТ структурами



Н.П. Лаверов. Геологические условия формирования урановых месторождений в областях континентального вулканизма (на примере Срединного Тянь-Шаня) // Диссертация на соискание степени дгмн. Москва, 1972: рассмотрены рудные районы, локализованные в депрессиях вулканического происхождения, субвулканических, гипабиссальных интрузивах и вулканических куполах кислых-субщелочных пород кальдер (Бабайтагский, Чаулийский, Стрельцовский)

Лавёров Н.П., Чернышев И.В. Временная связь урановых месторождений с континентальным вулканизмом. В кн.: Геохронология и проблемы рудообразования. М.: Наука, 1977. С. 5-18:

■ Предложена гипотеза **генетической связи** вулканизма и рудообразования, согласно которой «магматические очаги, на раннем этапе своего развития поставляющие вулканический материал, на стадии консолидации являлись источником урана, фтора, молибдена и других сопутствующих компонентов молибден-урановых месторождений».

■ При этом палеогидродинамические обстановки рудообразования связаны с **термоартезианскими системами** вулканических депрессий, определявшими условия мобилизации рассеянных рудных компонентов, их миграцию и положение полей разгрузки продуктивных гидротерм».

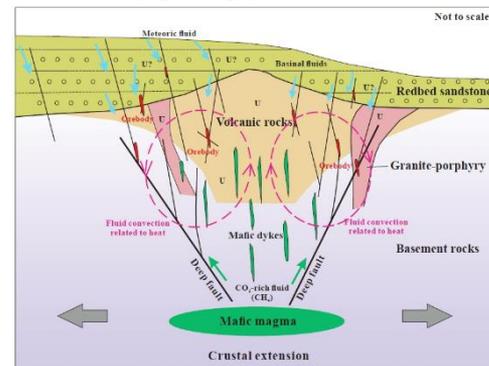
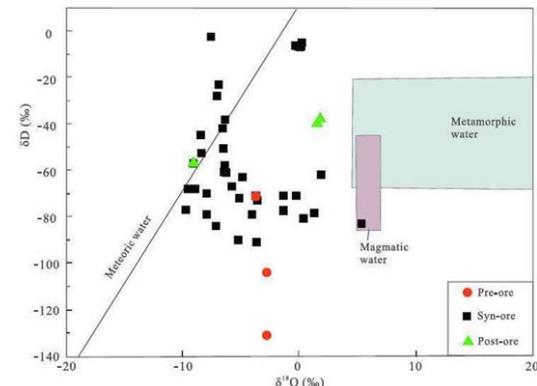
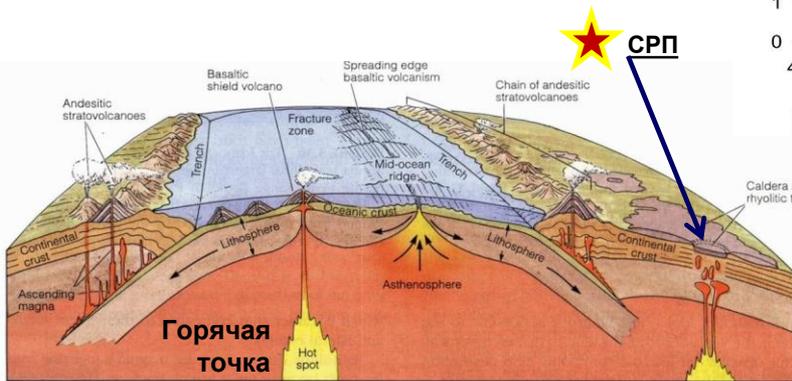
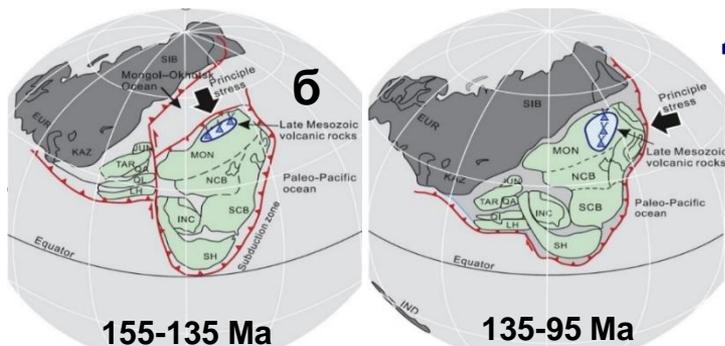
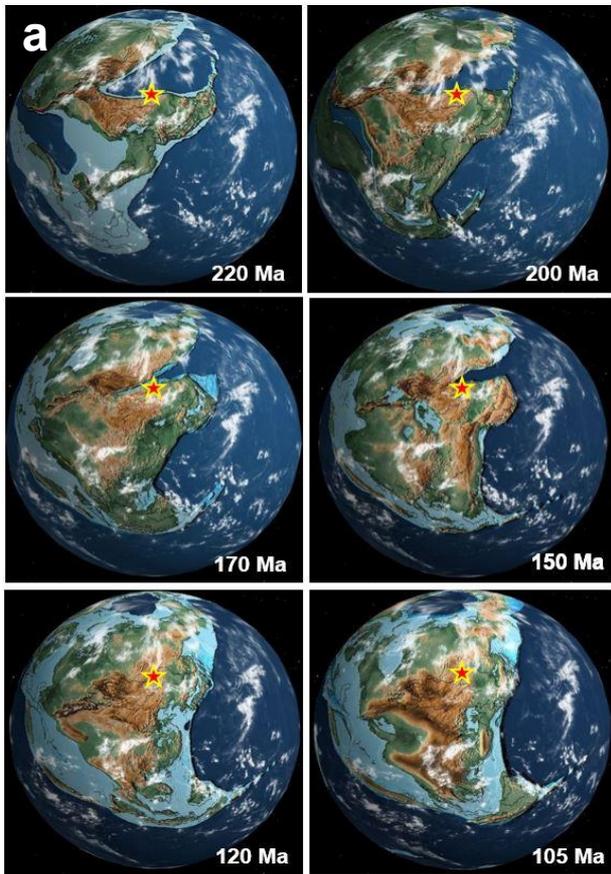


Схема U-рудообразования в РП Сианшань (по Bonnetti et al., 2020). U, Th±REE, Zr, Y, Nb ранней стадии минерализации привносились магматическими флюидами из субщелочной базитовой интрузии, которая являлась источником тепла и в сочетании с метеорными водами задавала формирование термоконвективных ячеек.



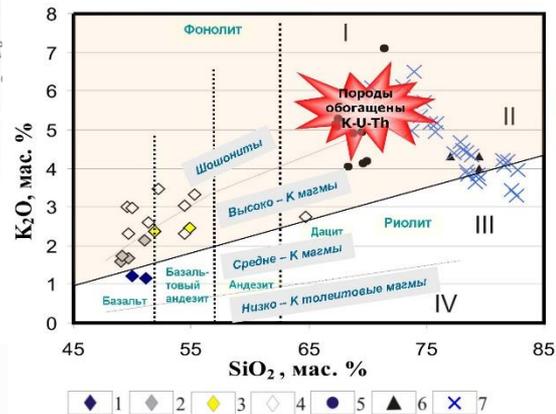
Изотопия флюидов, ассоциирующих с урановой минерализацией в РП Сианшань, иллюстрирует тот факт, что рудообразующие флюиды имели метеорную природу (по Guo et al., 2020)

Геодинамические обстановки формирования минералообразующих систем (1)



Положение вулcano-плутонических комплексов в плейт-тектонической трактовке

Диаграмма $K_2O - SiO_2$ для пород Стрельцовой кальдеры

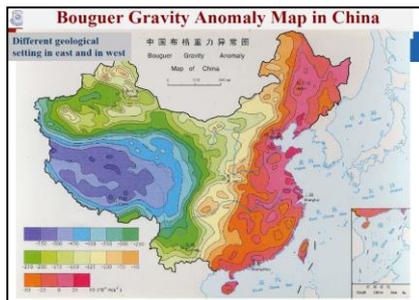


- 1 – высокомагнезиальные базальты (потоки 1 и 2)
- 2 – высокомагнезиальные трахибазальты (потоки 3 и 4)
- 3 – трахибазальты (поток 5)
- 4 – трахибазальты (поток 6)
- 5 – трахириодациты (покровы 7 и 8)
- 6 – риолиты (покров 9)
- 7 – расплавные включения в риолитах (Chabiron et al., 2001; Наумов, 2011)

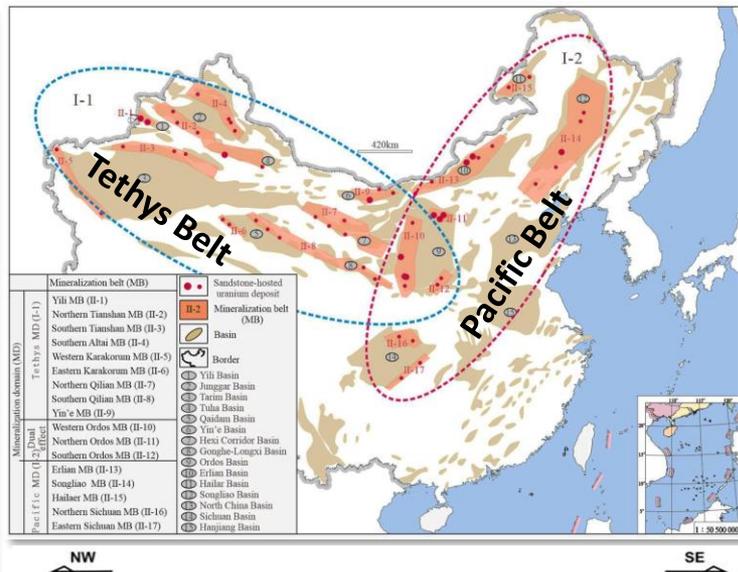
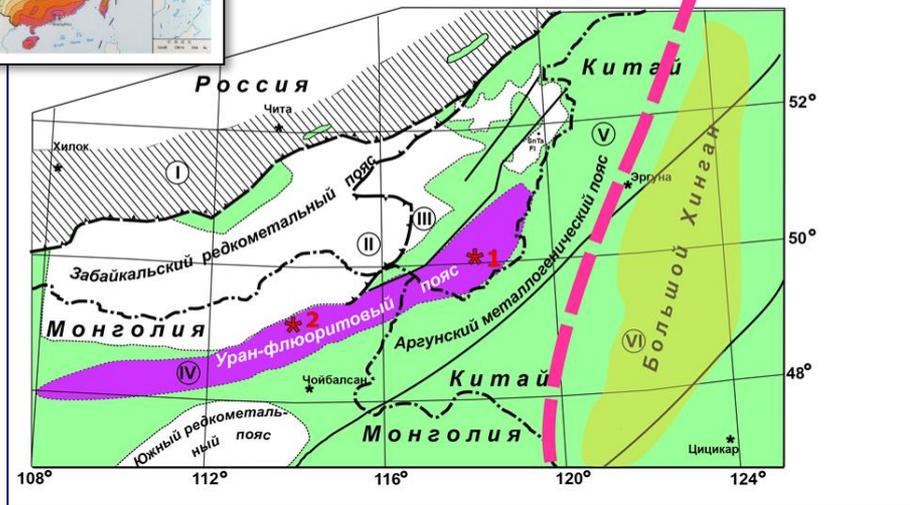
Геодинамические обстановки формирования минералообразующих систем (2)

Структурно-металлогеническая схема ЮВ Зайкаля и сопредельных стран (Андрева и др., 2020)

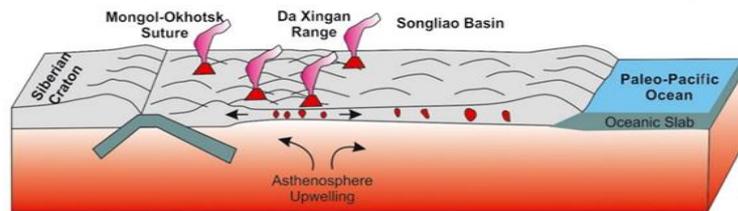
Области и пояса распространения месторождений урана песчаникового типа Китая (Cheng et al., 2025)



зона влияния MZ коллизии и внутриконтинентального плюма ← → зона влияния MZ субдукции Тихого океана



Структурно-тектонические зоны и спектр оруденения: I – Западно-Становая (Au, Mo, Cu, Pb, Zn, U); II – Агинская и III – Аргунская металлогенические зоны (Ta, Li, Nb, Sn, W, Be); IV – Монголо-Приаргунский металлогенический пояс (U, CaF₂, Mo, Pb, Cu, Au, Ag, Zn); V – Аргунский террейн (Mo, Cu, Au, Pb, Zn, Ag, Au); VI – Большой Хинган (Mo, Au, Cu, Pb, Zn). U-рудные поля: 1 – Стрельцовское, 2 – Дорнотское (по Эндогенные рудные..., 1984; Лишневецкий, Бескин, 1994; Pirajno, 2013; Ярмолюк и др., 2020)



Геодинамика СВ Китая в поздней юре (Liu et al., 2017)

Магматизм, околорудный метасоматоз и минерализация

Принципиальная схема развития магматизма, оруденения и околорудного метасоматоза в позднеMZ структурах ЮВ Забайкалья
(Андреева и др., 2025)

Устойчивые блоки земной коры и зоны рифтогенеза

Подвижные проницаемые зоны с остаточным режимом коллизии

метасоматиты (кислотные и субнейтральные):
Грейзены (преобладающий тип кислотных метасоматитов) - топазовые, мусковитовые, турмалиновые, флюоритовые, цвиттеры
Подчиненное значение имеют:
Березиты и серицитовые метасоматиты.
Аргиллизиты

метасоматиты (кислотные, умеренно-кислотные и субнейтральные)
Скарны (магнезиальные и известковистые).
Калишпатовые и **биотит-флогопитовые метасоматиты**;
Серицитовые метасоматиты порфирировых м-й **Березиты**, **иллитовые метасоматиты**.
Аргиллизиты разных фаций

оруденение:
Ta, Nb, W, Sn, Be, CaF₂

оруденение:
Pb, Zn, Au, Cu, Mo, U, Ag, CaF₂

Кукульбейский комплекс биотитовых гранитов лейкократовых и двуслюдяных гранитов, альбит-амазонитовых гранитов

Шахтаминский, сретенский комплекс субщелочных гранитоидов. Бимодальный комплекс субщелочных базальтоидов, андезибазальтов, трахидацитов, риолитов, трахириолитов, перлитов, гипабиссальные сиенит-порфиры и кварцевые монцониты

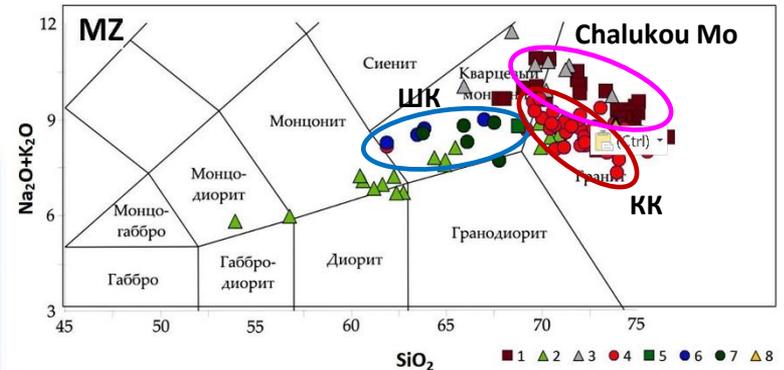
флюидно-магматическая система восстановленного типа

флюидно-магматическая система окисленного типа

Анарогенные граниты
141-128 Ma

флюидно-тепловые потоки
мантийный плюм

Посторогенные граниты
173-150 Ma



Фанерозойские гранитоиды СВ Китая (по Wu et al., 2011) и рудоносные вулcano-плутонические комплексы ЮВ Забайкалья (Петров и др., 2017)

Таблица 1. Схема последовательности магматических циклов в пределах Юго-Восточного Забайкалья

Млн лет	Тектоно-магматический цикл	Главные магматические комплексы и эффузивно-субвулканические серии	Изотопный возраст*
100	Ранне- и позднемеловой, завершающий	Субщелочные базальты и андезитбазальты, трахиандезиты, туфы	130–94 млн лет
		Субщелочные риолиты, трахириолиты, перлиты, трахириодациты тургинской серии, гипабиссальные экструзии сиенит-порфиров и кварцевых монзонитов	150–141 млн лет
	Раннемеловой-позднеюрский	Кукульбейский гранит-лейкогранитный комплекс: биотитовые граниты, лейкограниты, амазонитовые Li–F-граниты	141–128 млн лет
		Шахтаминский, амуджиканский и сретенский субщелочные гранитоидные комплексы: гранодиориты, субщелочные граниты, монзониты, диориты	173–150 млн лет
		Приаргунская и шадоронская серии субщелочных базальтов, трахиандезитбазальтов, трахидацитов, дацитов, трахидиоритов	164–153 млн лет
220	Позднетриасовый	Каменная свита: толеитовые базальты, андезитбазальты, риодациты (развиты только в крайней западной части территории)	212 млн лет
370	Герцинский	Ундинский интрузивный комплекс: амфибол-биотитовые граниты, гранодиориты, кварцевые диориты, габбро-диориты, лейкократовые граниты	275–239 млн лет
		Континентальный раннепермский вулканический комплекс развит только на сопредельной территории Восточной Монголии	
590	Каледонский	Газимурский и боршевичинский комплексы: гранито-гнейсы, плагиограниты, диориты, бластопорфировидные гнейсо-граниты	646–457 млн лет
	Протерозой-рифей	Заурулюгевский массив (комплекс), включая Уртульский и Бамбакийский массивы: гранито-гнейсы, порфиробластовые гранитоиды, амфиболлизированные габброиды	1111–784 млн лет <i>(Андреева и др., 2020)</i>

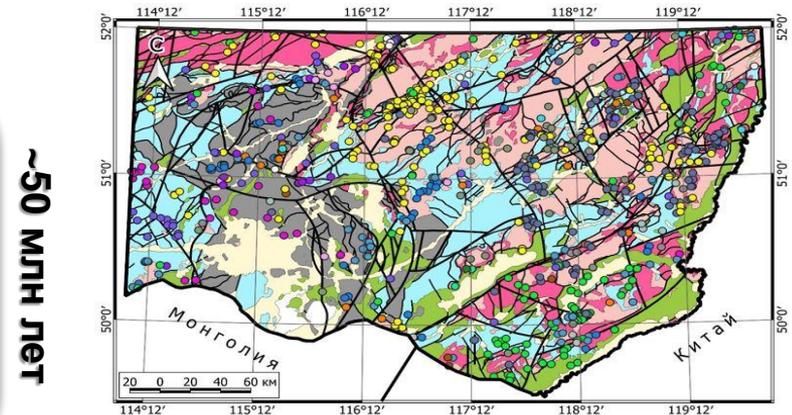
Мезозойский

Герцинский

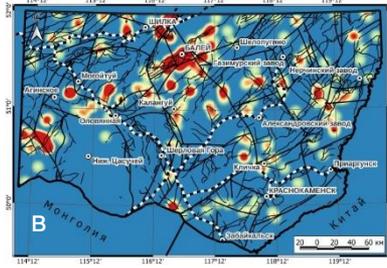
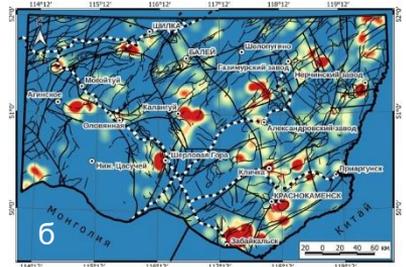
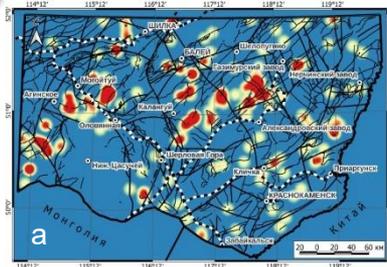
Каледонский

Протерозой-рифей

ГИС проект 1239 месторождений и рудопроявлений Восточного Забайкалья (лист М-50 ГКК 1 : 1 000 000) (Устинов и др., 2024)



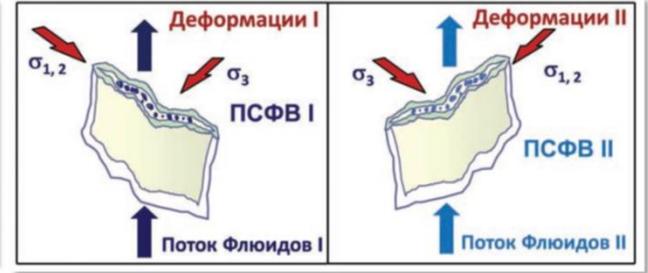
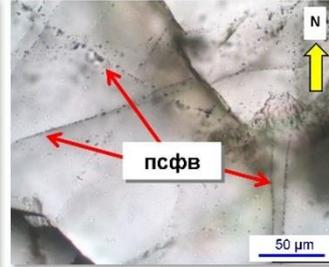
~50 млн лет



Тепловые карты временных рядов рудных объектов, выделенных Б.Л. Рыбаловым (2000, 2002): (а) Au-Mo (170±5-150±5), (б) TR-Pb(Zn)-U (140±5-130±5), (в) FI-Au-Ag (120±5-110±5). Для визуализации рассматривалось количество рудных объектов в радиусе 10 км

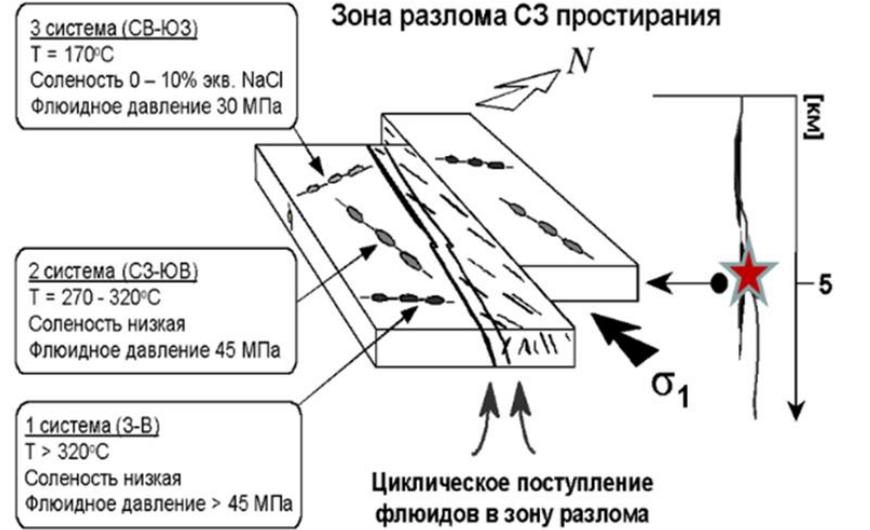
* Сведения об изотопных возрастах приведены по собственным данным и из архивов лаборатории геохронологии и изотопной геохимии ИГЕМ РАН, а также из публикаций: Андреева и др., 1996; Андреева, Головин, 2001; Рублев, Буева, 1998; Голубев и др., 2010, 2011; Ищукова и др., 2007; Абушкевич, Сырицо, 2007; Сырицо и др. 2012; Берзина и др., 2013; Чернышев и др., 2014; Ступак и др., 2018.

Флюиды, деформации и рудообразование



Соотношение трех основных U минеральных систем, связанных с тремя типами рудоносных флюидов:

- 1) Осадочные/приповерхностные, 2) Метаморфические, 3) Магматические/магмато-гидротермальные. Между ними существует группа месторождений, представленных гибридными стилями минерализации, например, Fe-оксидного-Cu-Au-U (IOCGU) типа (IAEA, 2020)



Реконструкция тектонодинамических и флюидодинамических режимов, а также глубины рудообразования по планарным системам флюидных включений

План мероприятий по реализации Стратегии развития МСБ РФ до 2050 года (Распоряжение Правительства РФ от 04.03.2025 г. № 500-р)

Пункт	Мероприятие	Ответственный исполнитель
31.	Цифровизация процесса регионального геологического изучения на всех уровнях - от полевых наблюдений до прогнозно-интерпретационных построений	Минприроды России, Минцифры России, Роснедра, РАН
33.	Формирование системы научно-методических советов по направлениям научно-технологического обеспечения развития отрасли	Минприроды России, Минпромторг России, Минобрнауки России, Роснедра, РАН
34.	Формирование новых научных подходов к обоснованию геологических условий выявления месторождений полезных ископаемых, в том числе глубоко залегающих, нетрадиционных типов с совершенствованием типовых прогнозно-геологических моделей месторождений полезных ископаемых и разработкой методов их выявления	Минприроды России, Минобрнауки России, Роснедра, РАН
35.	Разработка методов дистанционного изучения массивов горных пород на больших глубинах	Минприроды России, Минобрнауки России, Роснедра, РАН
36.	Разработка методов оценки и геотехнологического картирования при геологической разведке, эксплуатационной доразведке и опережающем опробовании месторождений полезных ископаемых, в том числе зон повышенной концентрации стратегических видов минерального сырья в рудных, угольных месторождениях, отходах недропользования, и создание технологий их последующей селективной выемки и переработки	Минприроды России, Минобрнауки России, Роснедра, РАН

ВЫВОД: Необходимо организовать практическое взаимодействие Минприроды России (Роснедра), ГК «Росатом» (АО «Росатом Недра»), РАН (институты ОНЗ) и МОН России (МГРИ, ТПУ, ЗабГУ) по укреплению уранового потенциала страны.

Для этого в качестве одного из первых шагов целесообразно разработать **План совместных действий до 2035 г.**