



Геоинформационная структурно-тектоническая прогнозно-поисковая модель площади Стрельцовского урановорудного поля

Устинов Степан Андреевич^{*1}, Петров В.А.¹, Минаев В.А.¹, Тубольцев И.С.²

¹ ИГЕМ РАН, г. Москва

² ФГБУ «ВИМС», г. Москва

****stevesa@mail.ru***



**Шестой международный симпозиум
«УРАН: ГЕОЛОГИЯ, РЕСУРСЫ, ПРОИЗВОДСТВО»**

22-23 апреля 2025 г., ФГБУ «ВИМС», г. Москва

Проявление урановорудного процесса в юго-восточном Забайкалье (лист ГГК М-50)



Забайкальский
край



ГГК
50

Практически все промышленно значимые проявления рудных полезных ископаемых территории, в том числе и урановые, связаны с этапом позднемезозойской тектономагматической активизации, но предыстория металлогенического развития обусловлена всеми предыдущими этапами, начиная с докембрия.

Структурный контроль оруденения является главенствующим



- Geological formations:**
- N-Q sedimentary complexes
 - K sedimentary-volcanogenic complexes
 - MZ (J1-J3) volcanogenic-sedimentary complexes
 - PZ-MZ granitoids (intrusions)
 - PZ volcanogenic-sedimentary complexes
 - AR-PZ1 gneissoid granites and magmatic rock complexes

- Uranium deposits and uranium ore occurrences by type (out of scale):**
- ★ In relation with the complexes of granitoids
 - In relation with sedimentary complexes
 - ▲ In relation with volcanogenic-sedimentary complexes
 - Border of the Russian state geological map M-50



О ВОЗМОЖНОСТИ НОВЫХ КРУПНЫХ ОТКРЫТИЙ В СРЕЛЬЦОВСКОМ РУДНОМ ПОЛЕ

© 2007 г. М. В. Шумилин

Федеральное государственное унитарное геологическое предприятие "Урангеологоразведка"
115184, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 49, стр. 3
Поступила в редакцию 15.06.2007 г.

«...Изученность СРП в полном разрезе до кристаллического фундамента остается исключительно слабой. Структурно-литологические уровни, являющиеся рудоносными на месторождениях южного блока кальдеры, погружены на значительную глубину, составляющую, по-видимому, 700 м и более. Вскрывающие эти уровни скважины единичны и имеют структурно-картировочное, а не целевое поисковое назначение...»

«...Перспективы существенного прироста запасов в СРП могут связываться только с изучением достаточно глубоких горизонтов...»

«...в непосредственной близости от действующего предприятия ... повышенная глубина залегания потенциально продуктивных уровней не может служить основанием для отказа от проведения поисковых работ...»

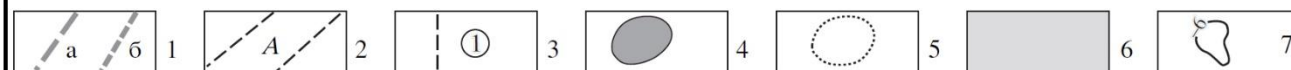
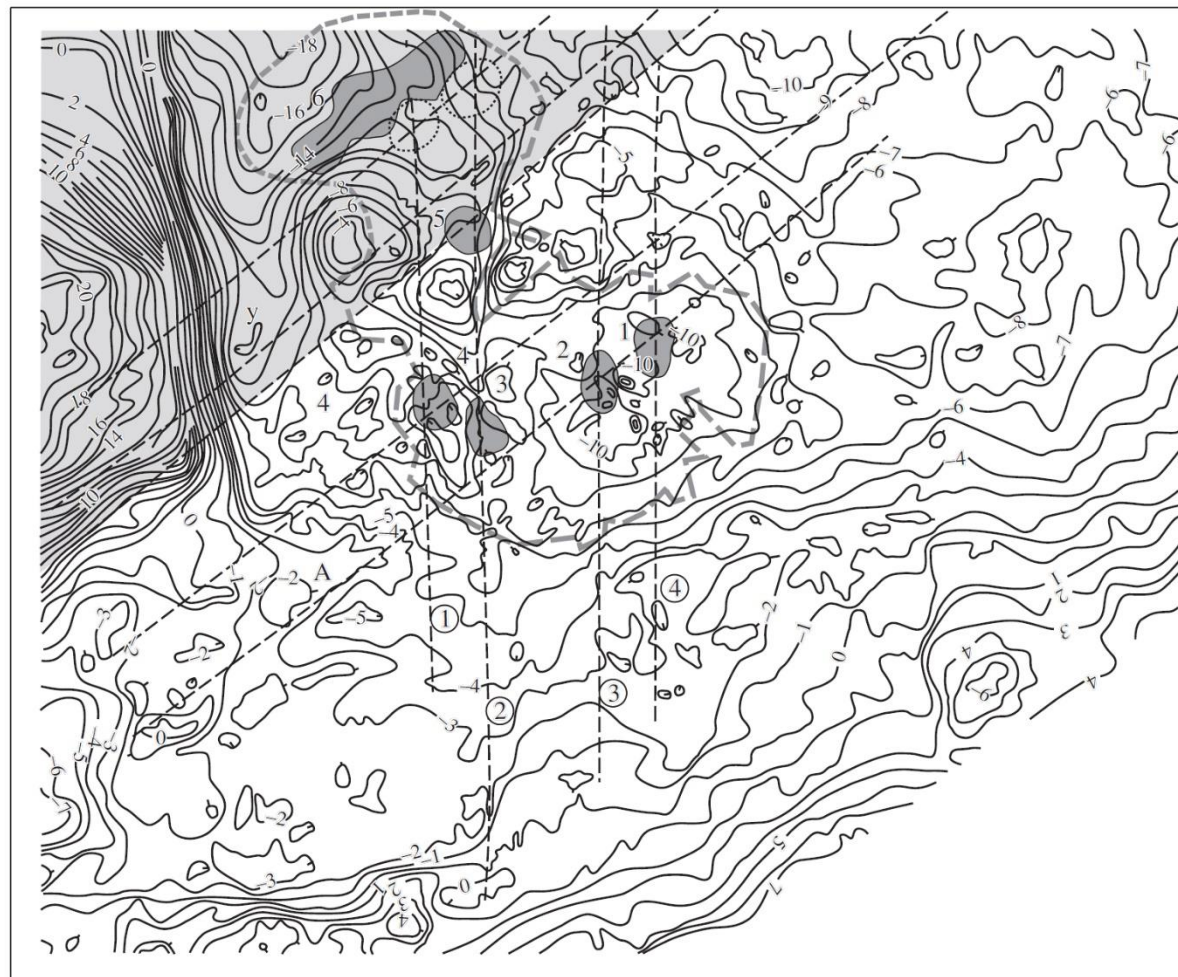
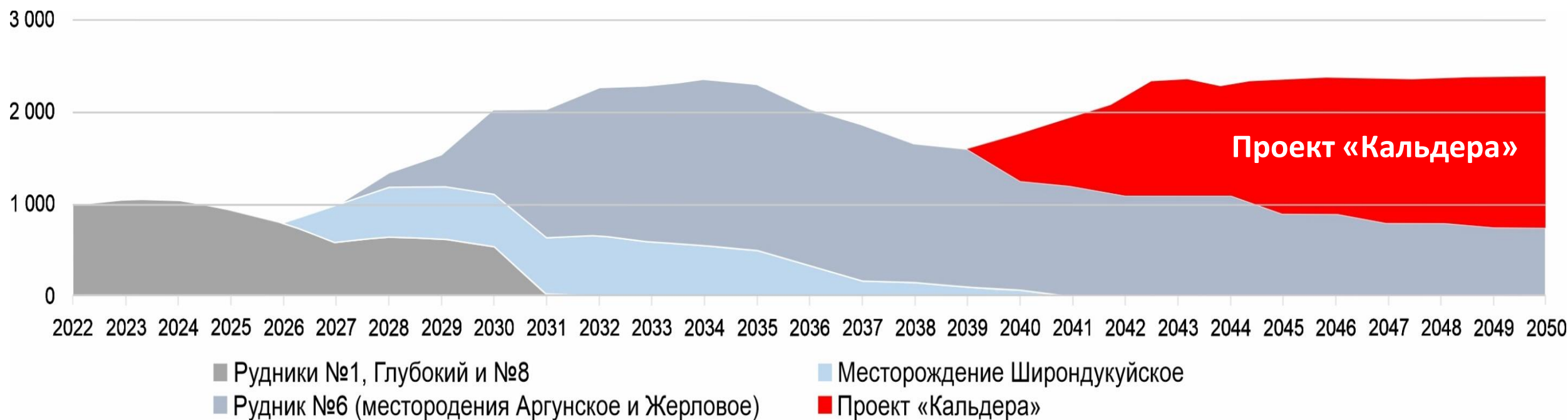


Схема основных структур Стрельцовского рудного поля на карте изоаномал гравитационного поля.

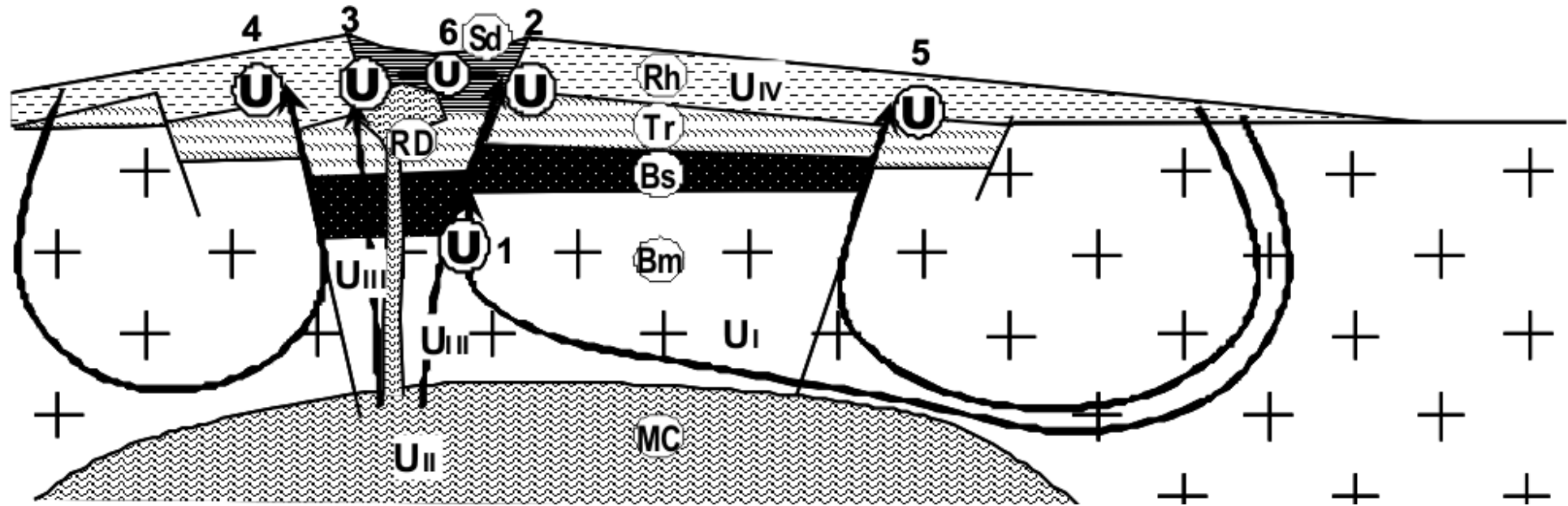
1 – кольцевые разломы кальдеры: установленные (а), предполагаемые (б); 2 – системы северо-восточных разломов: Аргунская зона (А), Урулюнгуевская зона (У); 3 – системы субмеридиональных разломов (цифры в кружках): 1 – Флюоритовая зона, 2 – Меридиональная зона, 3 – Мало-Тулукуевская зона, 4 – Центральная зона; 4 – площади известных месторождений: 1 – Стрельцовское-Антей, 2 – Октябрьское-Мартовское, 3 – Тулукуевское, 4 – Аргунское-Жерловое, 5 – Дальнее, 6 – Полевое; 5 – предполагаемые площади новых месторождений; 6 – область развития осадков верхней части разреза нижнемеловых отложений; 7 – изоаномалы гравитационного поля.

Актуальность

- Рудник №1, Глубокий и №8 исчерпаются к 2031 году;
- Возможный запуск месторождения Широндукуй в 2026 году и его отработка к 2041 году;
- Рудник №6 (Аргунское и Жерловое), возможное начало отработки в 2027 году;
- Необходимость ввода в эксплуатацию новых месторождений



Концептуальная модель формирования урановых месторождений вулканогенного типа (*Cuney, Kyser, 2009)



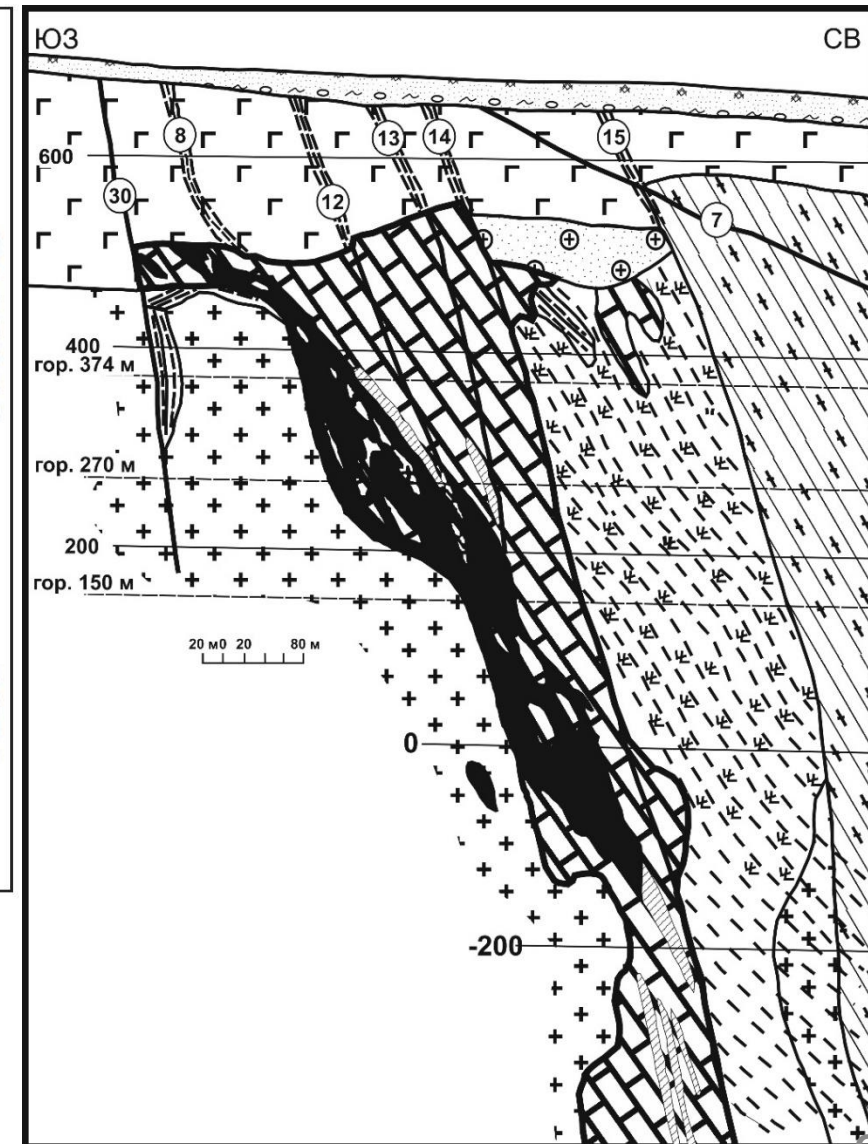
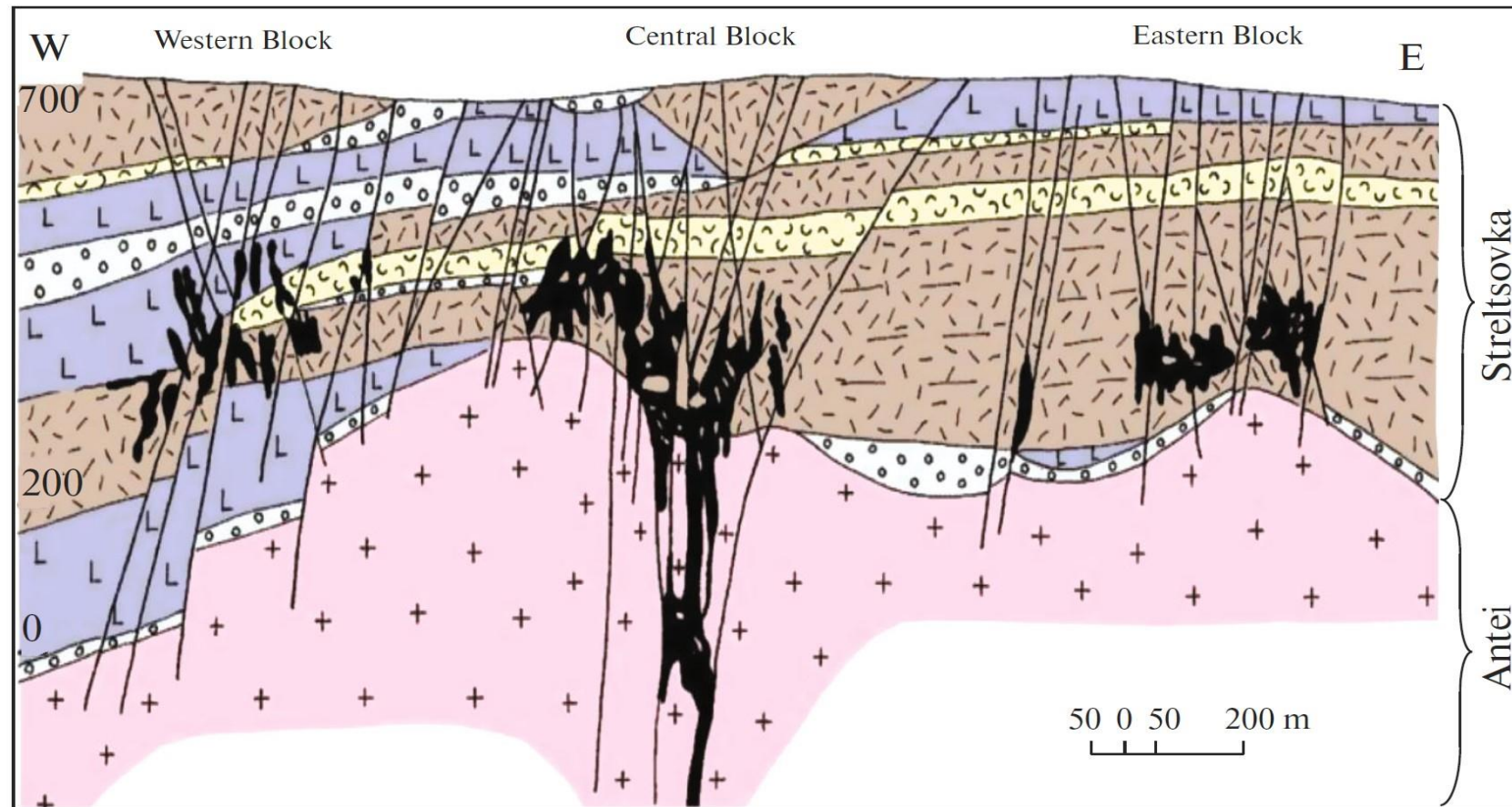
Основные рудоконтролирующие и рудоносные структурные элементы ураново-минеральной системы вулканогенного типа:

- Линейные разломы
- Жилы
- Трещины
- Прожилки
- Кольцевые разломы
- Зоны влияния структур центрального (кольцевого) типа
- Зоны интерференции структур разных порядков

Геологические разрезы месторождений Стрельцовской кальдеры (Ищукова и др., 1998, 2007; Машковцев и др., 2010; Петров и др., 2022)

Стрельцовское – Антей

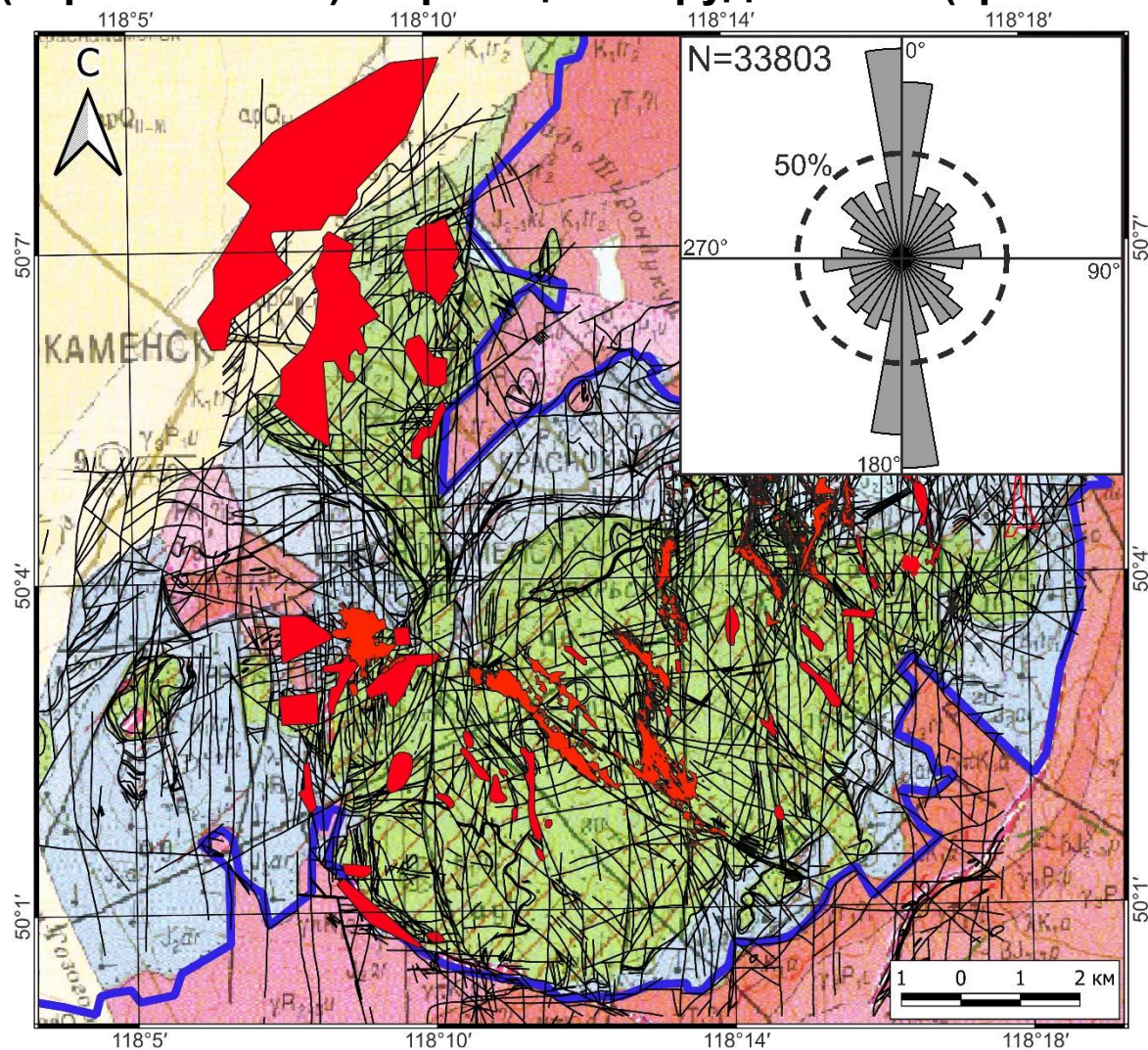
Аргунское



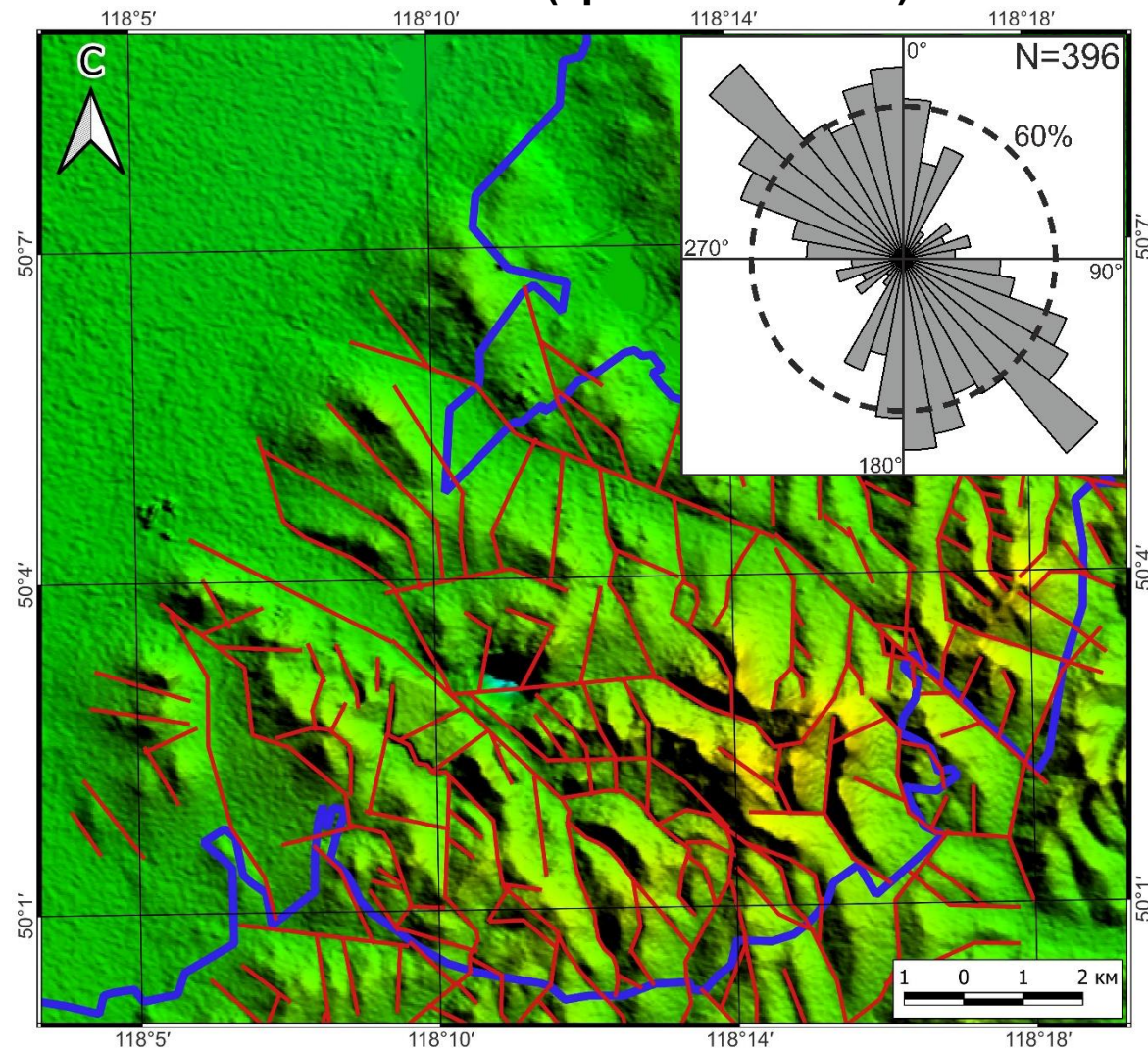
Структурно сопряженные месторождения Стрельцовское и Антей с уникальными суммарными запасами урана около 90 тыс. тонн можно рассматривать как результат единой рудообразующей системы.

Создание локальных структурно-тектонофизических прогнозно-поисковых моделей Стрельцовского урановорудного поля – СРП (Стрельцовская кальдера)

Установленный каркас разрывных нарушений СРП
(черные линии) с проекциями рудных тел (красный)

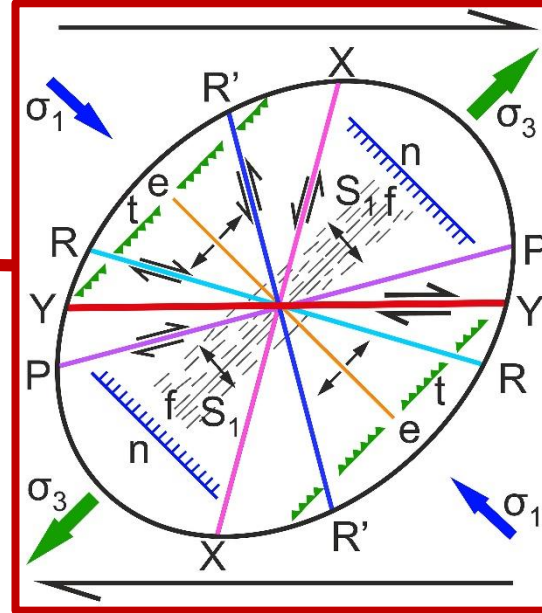


Выделенные по цифровой модели рельефа
линеamentы (красные линии)

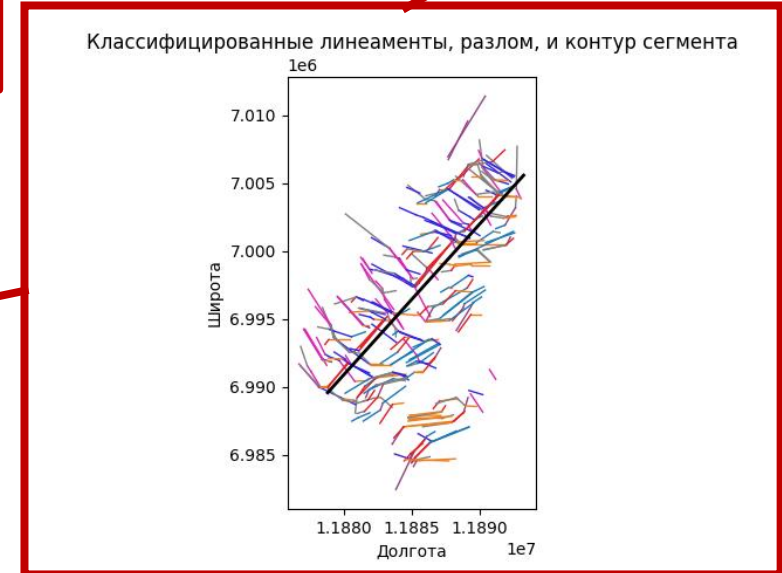
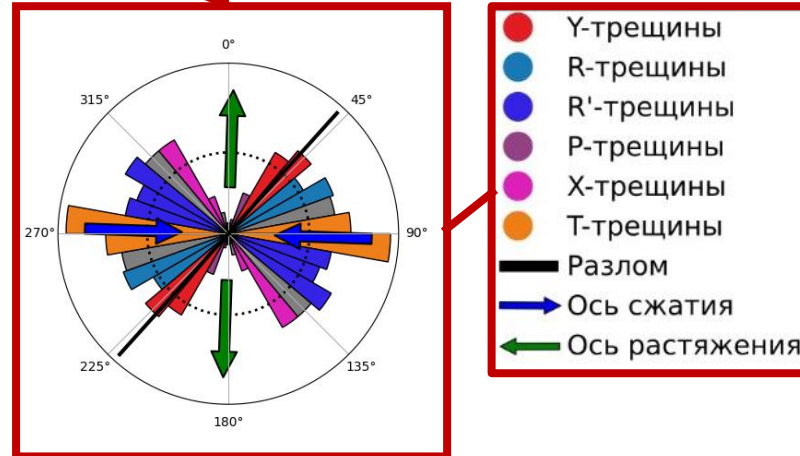


Тектонофизическая интерпретация линеаментов на основе модели сдвиговой зоны П.Л. Хэнкока (*Hancock, 1985*) с использованием авторского программного обеспечения (ПО)

ПО «Lineament Stress Calculator» (LSC) для интерпретации линеаментов как мегатрещин, оперяющих протяженный (магистральный) разлом – автор м.н.с. Лаборатории геоинформатики ИГЕМ РАН
А.Д. Свечеревский



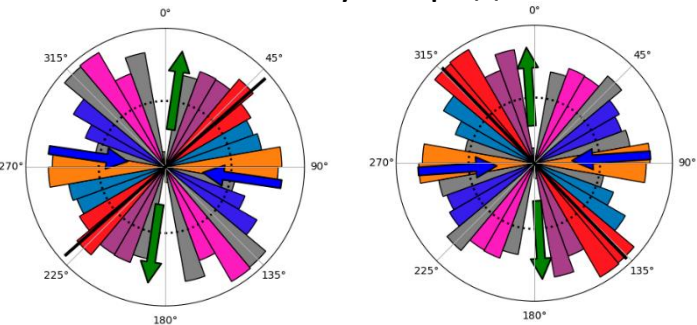
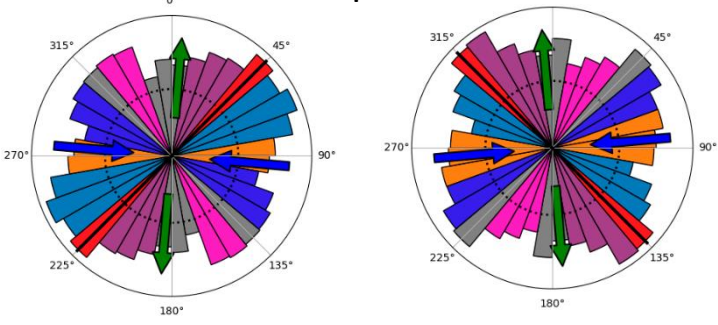
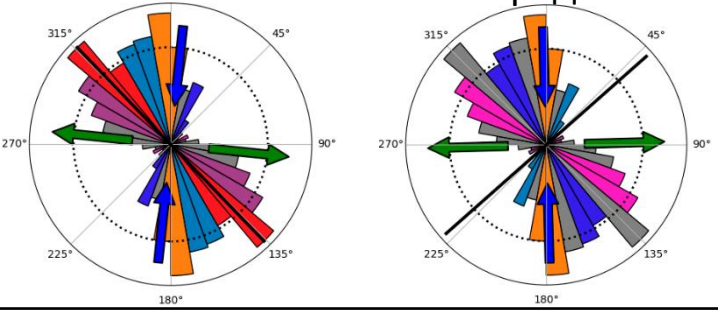
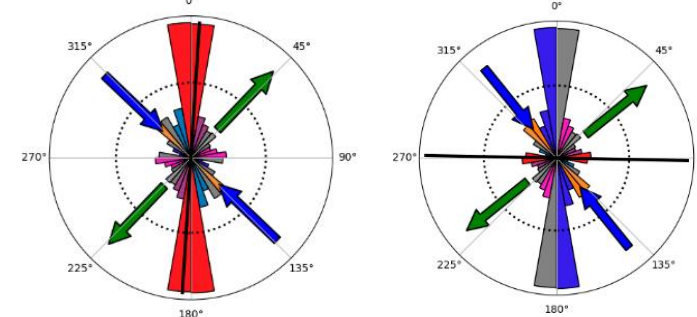
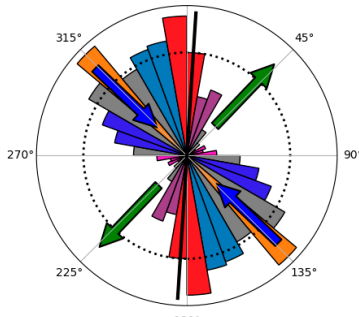
	Кол-во
Y-трещины	75446
R-трещины	64533
Нейтральные	50982
P-трещины	46621
X-трещины	12116
R'-трещины	10148
T-трещины	9680
Количество линеаментов в первой четверти	141519
Количество линеаментов в последней четверти	128006
Сдвиг	Правый сдвиг
Описание сдвига	Правый сдвиг: больше линеаментов в первой четверти



Y – магистральные сдвиги; R – первичные (синтетические) сколы Риделя; R' – первичные антитетические сколы; X, P – вторичные сдвиги; T, e – отрывы; n – сбросы, t – взбросы, f – складки, S_1 – кливаж, σ_1 – ось максимального сжатия, σ_3 – ось максимального растяжения.

1 – разлом; 2 – трещины отрыва; 3, 4 – сколы с правой (3) и левой (4) сдвиговой кинематикой; 5, 6 – ориентация осей растяжения (5) и сжатия (6) в горизонтальной плоскости; 7, 8 – дополнительные обстановки растяжения (7) и сжатия (8)

Реконструкция параметров и этапов смены поля напряжений-деформаций (ПНД) для каркаса закартированных разрывных нарушений и линеаментов СРП на основе модели П.Л. Хэнкока с помощью ПО «Lineament Stress Calculator» (автор – А.Д. Свечеревский, ИГЕМ РАН)

Тип анализируемых объектов:	Закартированные разломы	Линеаменты
Тектонический этап		
Предрудный этап 1. Субширотное сжатие. Формирование кальдеры. Развитие СВ (магистральные правые сдвиги) и СЗ разломов (левые сдвиги). Наследование древнего регионального структурного плана, сформированного при аккреции террейнов к Сибирскому кратону.	Разломы без субмеридиональных 	Линеаменты региональные 
Предрудный этап 2 – Начало рудного этапа. Инверсия параметров ПНД. Начало мезозойской ТМА. Субмеридиональное сжатие. Максимальное развитие структур СЗ ориентировки (правые сдвиги).	Не зафиксирован ● Y-трещины ● R-трещины ● R'-трещины ● P-трещины ● X-трещины ● T-трещины — Разлом → Ось сжатия ← Ось растяжения	Линеаменты локальные – в пределах СРП 
Рудный этап – завершение мезозойской ТМА. СЗ-ЮВ сжатие. Наибольшее развитие – субмеридиональные структуры (левые сдвиги). В меньшей степени – субширотные структуры (правые сдвиги).		

Визуализация сегментов разрывных структур, предрасположенных к сдвигу

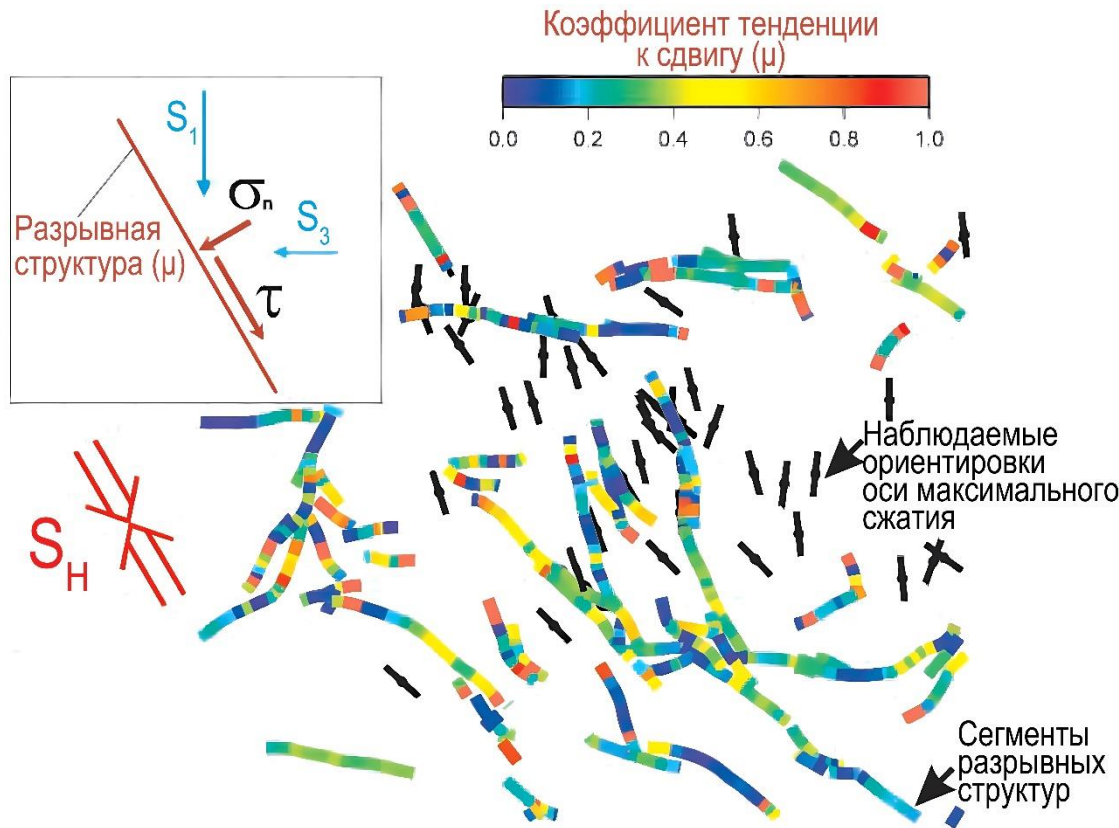
Схема определения тенденции к сдвигу на основе расчета отношения скалывающих (τ) и эффективных напряжений (σ_n) на отдельных сегментах разломов (**Fuchs, Müller, 2001)

Скалывающие (τ) и эффективные (σ_n) нормальные напряжения (*Jaeger and Cook, 1979):

$$\tau = \frac{S_1 - S_3}{2} \sin 2\phi$$

$$\sigma_n = \frac{S_1 + S_3 - P_f}{2} + \frac{S_1 - S_3}{2} \cos 2\phi$$

где S_1 – значение напряжений по оси максимального сжатия,
 S_3 – значение напряжений по оси наименьшего сжатия,
 P_f – флюидное давление,
 ϕ – угол между нормалью к плоскости разрывного нарушения и осью действия напряжения S_1



Тенденция к сдвигу (μ) определённого структурного элемента разлома:

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma_n}$$

Наиболее гидравлически активные сегменты разрывных структур обладают $\mu \approx 0,6$

*Jaeger J.C., Cook N.G.W. *Fundamentals of Rock Mechanics*. – 3rd edit. – 1979. – 593 p.

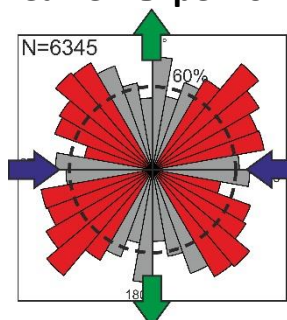
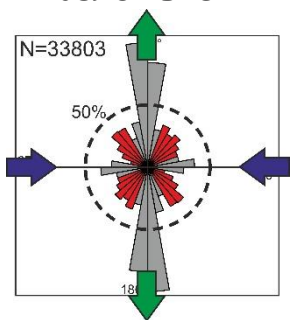
**Fuchs K., Müller B. *World Stress Map of the Earth: a key to tectonic processes and technological applications // Naturwissenschaften*. – 2001. – № 88. – P. 357–371. 10

Визуализация гидравлически активных сегментов разрывных структур СРП (красный) на основе расчета тенденции к сдвигу ($\mu \approx 0,6$) с учетом параметров ПНД на определенной стадии тектонической эволюции

Предрудный этап 1

Разломы СРП

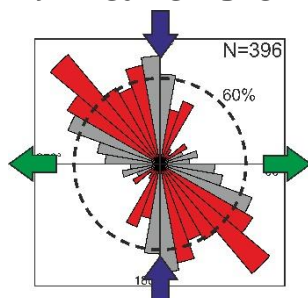
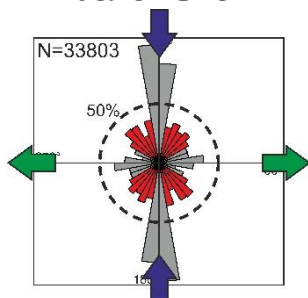
Линеаменты региональные



Предрудный этап 2 – Начало рудного этапа

Разломы СРП

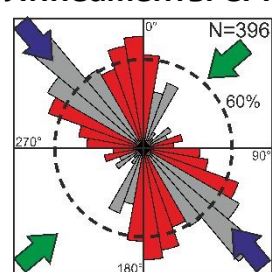
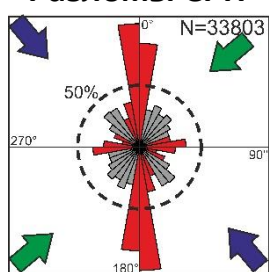
Линеаменты СРП



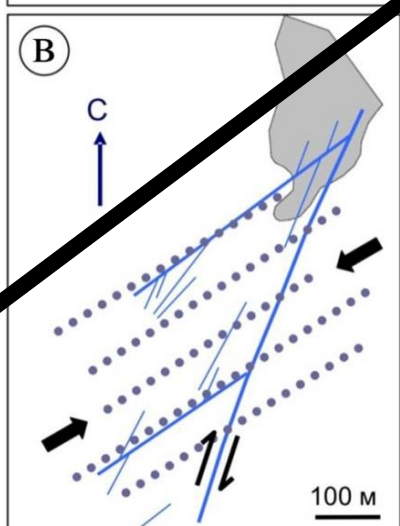
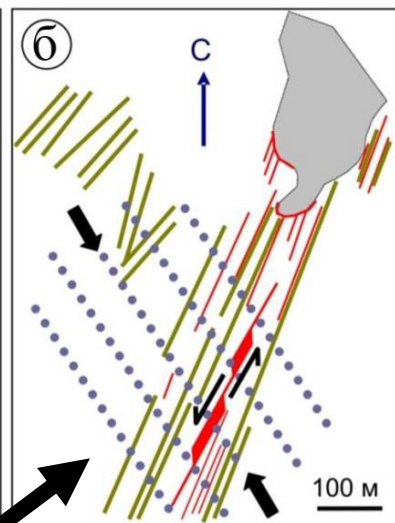
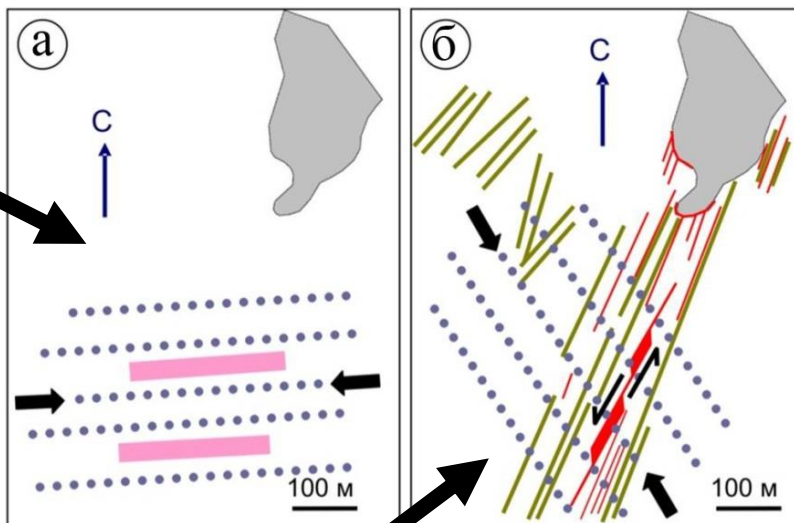
Основной рудный этап

Разломы СРП

Линеаменты СРП

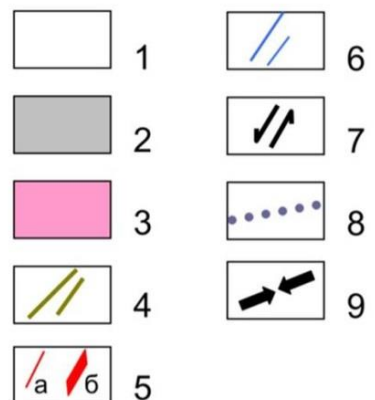


Изменение ориентировки оси главных сжимающих напряжений (σ_1) для первого (а), второго (б) и третьего (в) этапов тектогенеза установленных для месторождения Антей (*Петров и др., 2009)



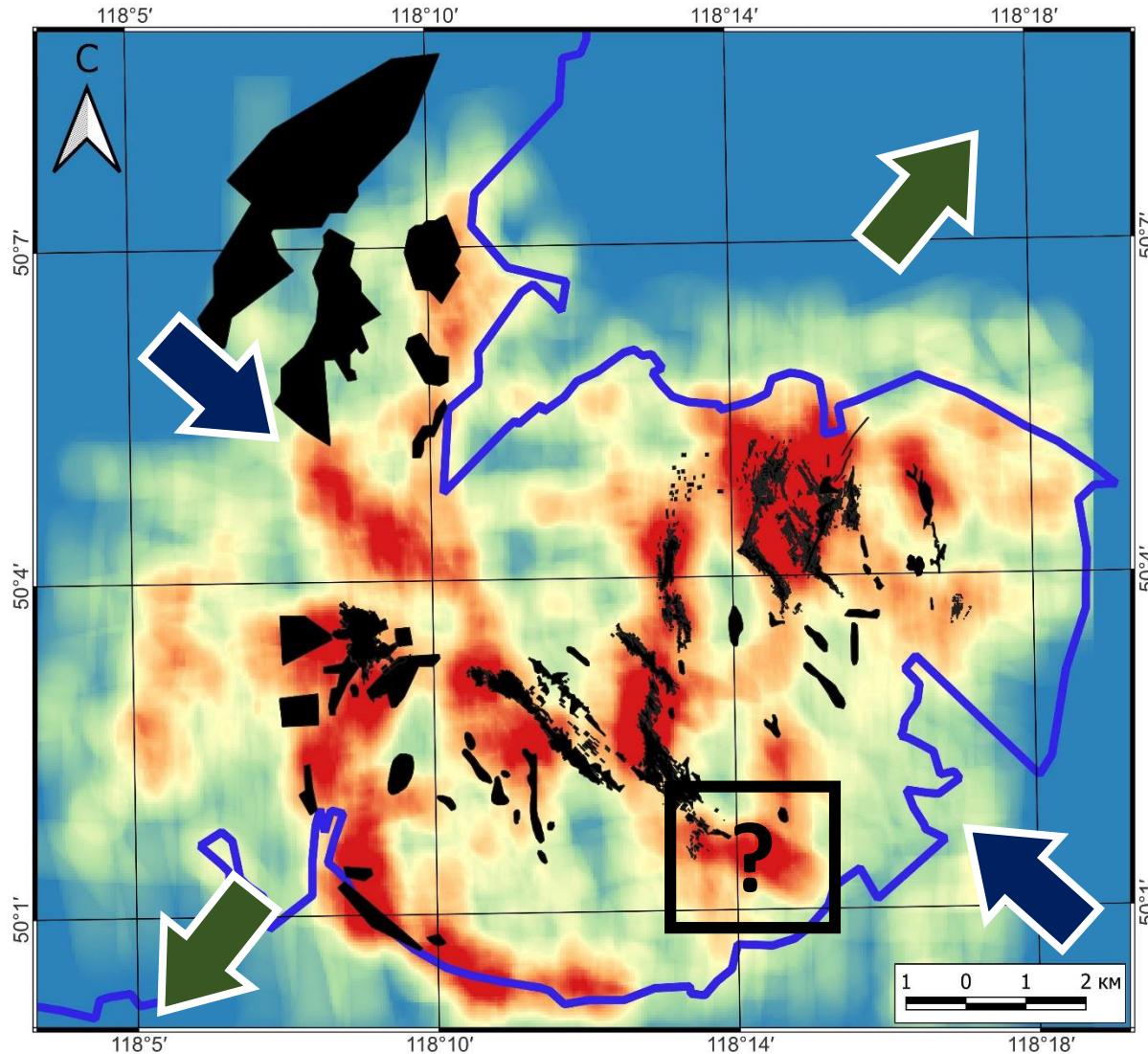
Условные обозначения:

- 1 – гранитоиды,
- 2 – конгломераты и структурный эллювий,
- 3 – жильобразные тела калишпатитов и альбититов,
- 4 – предрудная гидрослюдизация и рудосопровождающие гематит-альбитовые изменения,
- 5 – рудные тела,
- 6 – пострудная аргилизация (каолинит, смектит),
- 7 – направления смещений вдоль плоскостей разрывов,
- 8 – траектории главных сжимающих усилий,
- 9 – вектор сжатия.

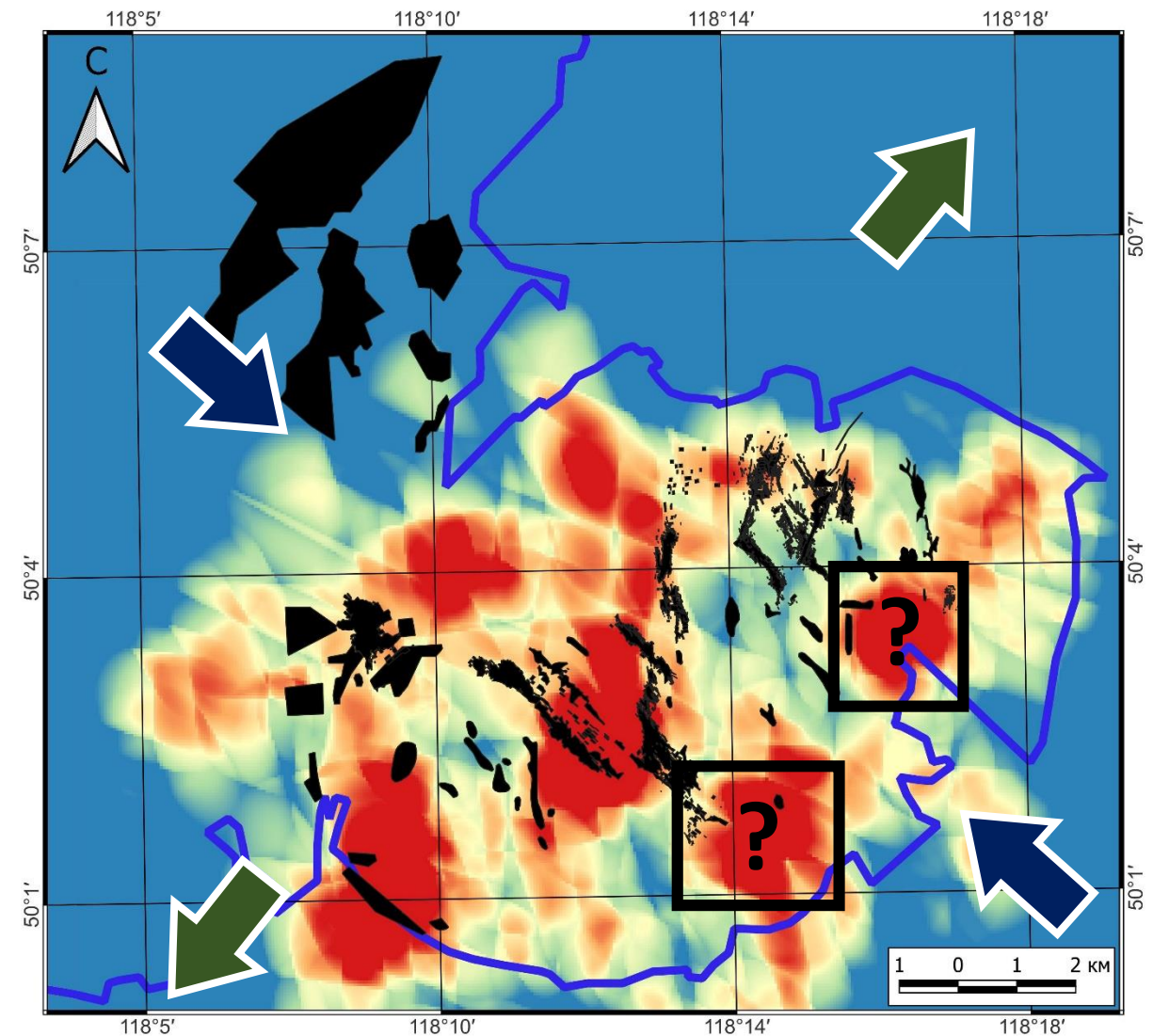


Структурно-тектонифизические прогнозно-поисковые модели Стрельцовского урановорудного поля (Стрельцовская кальдера) для этапа рудообразования

На основе каркаса закартированных разрывных нарушений



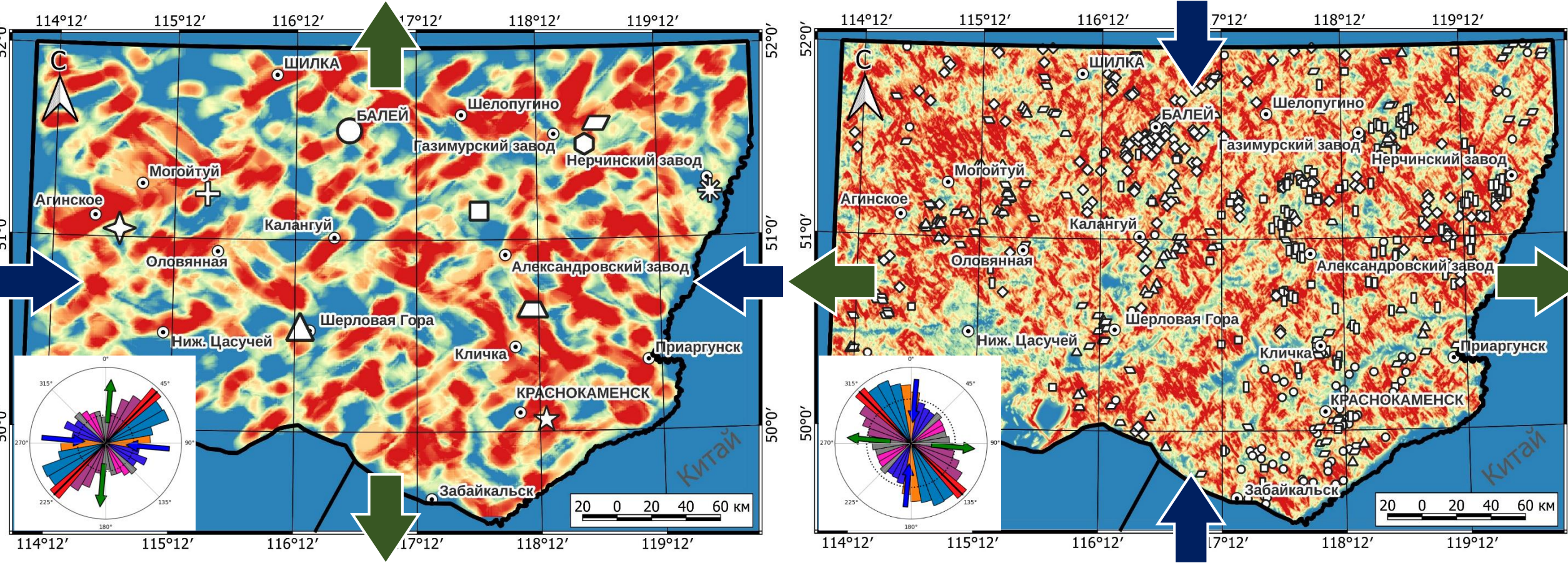
На основе выявленных линеаментов



Обобщенные весовые модели гидравлически активных сегментов разноранговых разрывных структур на основе расчета тенденции к сдвигу ($\mu \approx 0,6$) с учетом параметров ПНД на определенной стадии тектонической эволюции

Региональная весовая модель – аккреция террейнов

Локальная весовая модель – тектономагматическая активизация



☆ 1

⊗ 4

▱ 7

⊕ 10

○ 2

□ 5

▵ 8

△ 3

⬢ 6

☆ 9

1 – Стрельцовское рудное поле (19 месторождений – U, Mo), 2 – Бале́йское рудное поле (Бале́йское и Тасеевское месторождения - Au), 3 – Шерловогорское месторождение (Sn, Zn, Pb, Be, Ag, In, Sc), 4 – Березовское месторождение (Fe), 5 – Бугдаинское месторождение (Mo, Pb, Au, Ag), 6 – Быстринское месторождение (Au, Ag, Cu, Fe), 7 – Ново-Широкинское месторождение (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Cd, Sb, Bi), 8 – Месторождение Нойон-Тологой (Zn, Pb, Au, Ag, Sb, Cd, S), 9 – Орловское месторождение (Ta, Li), 10 – Уронайское месторождение (Bi, Au),

◇ Au

▣ Mo

▤ Sb

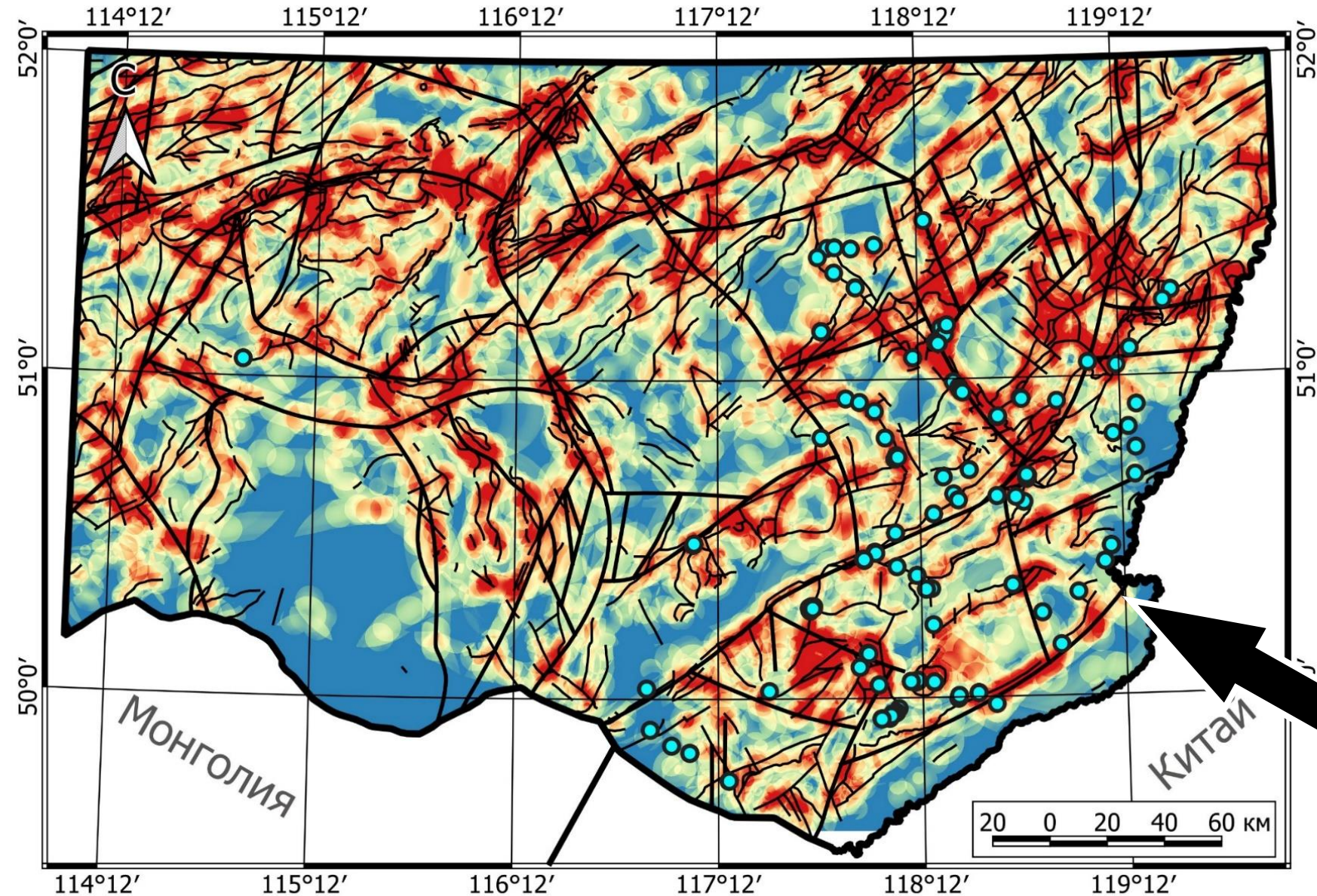
○ U

△ Cu

▢ Pb, Zn

▥ Sn

△ W



Структурная региональная весовая прогнозно- поисковая модель территории юго-восточного Забайкалья

Точность модели на основе
эталонных объектов
89 %

Схема отбора проб коренных пород для
геохимического анализа на территории
листа ГК М-50 (ФГБУ «ИМГРЭ»)

Вероятность локализации
рудной минерализации
10% → 89%

Тектонические нарушения:

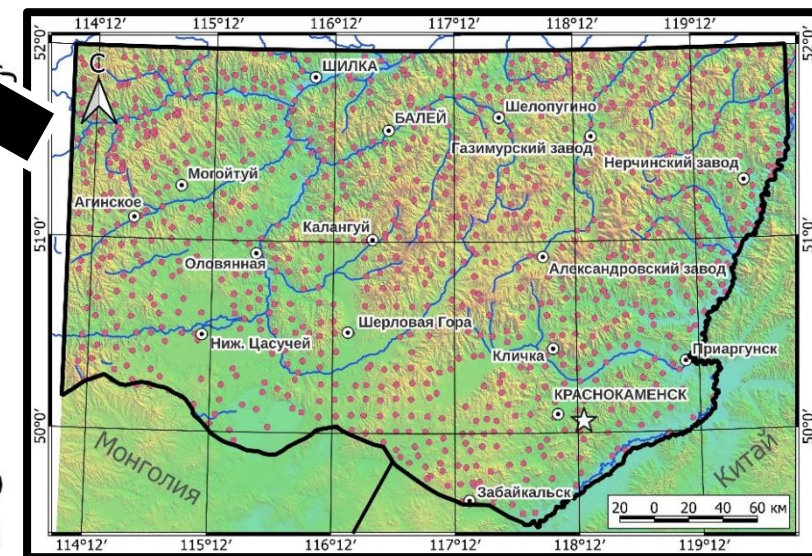
----- Неотектонические зоны

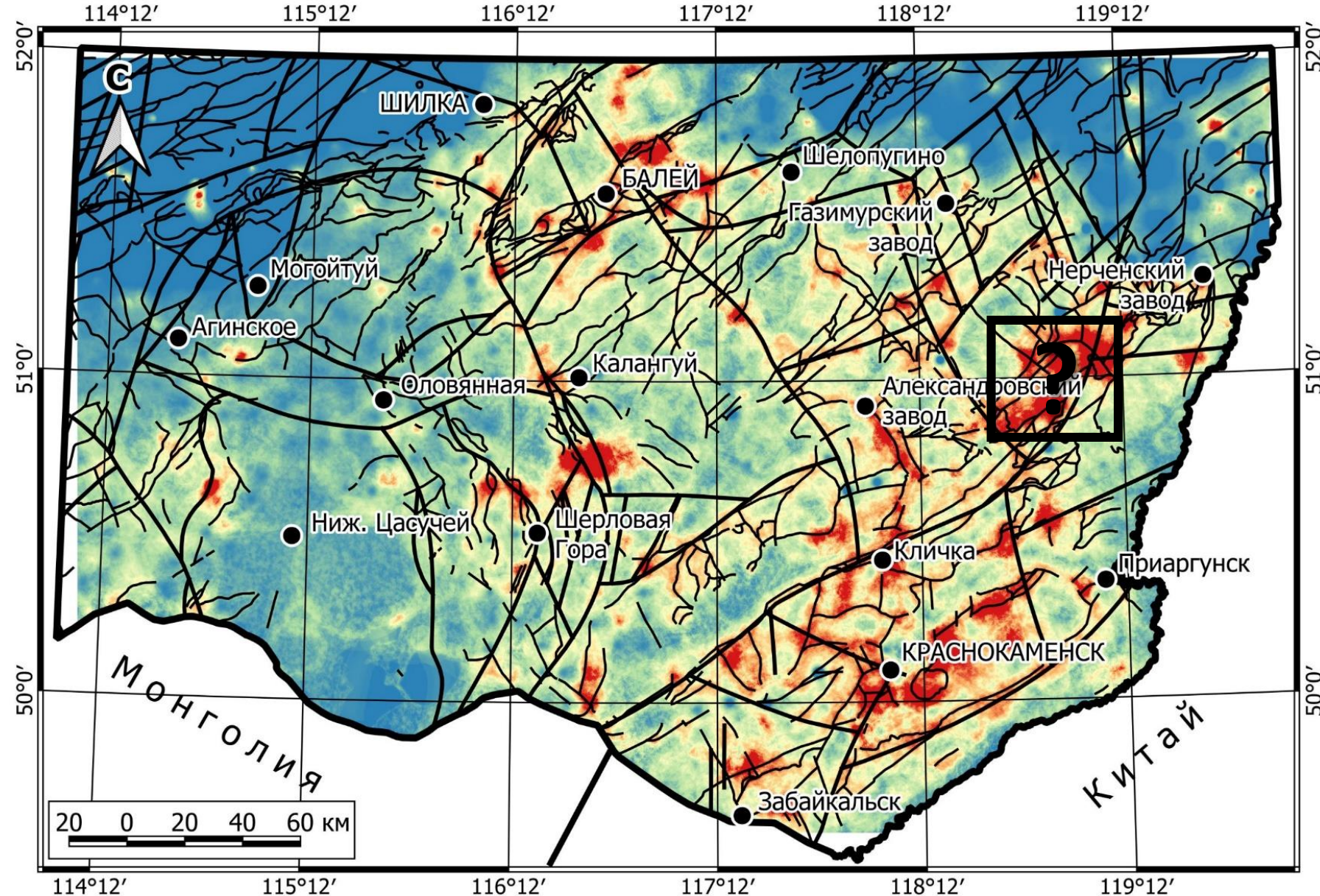
— Разрывные нарушения в чехле

— 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.





**Структурная
региональная весовая
прогнозно-поисковая
модель юго-восточного
Забайкалья с учетом
содержаний урана в
коренных породах**

**Точность модели на
основе эталонных
урановорудных объектов
– 80 %**

Вероятность локализации
урановорудной минерализации
10% → 80%

Тектонические нарушения:
— Разрывные нарушения в чехле
— Глубинные разрывные нарушения

● Населенные пункты
и их названия
□ Рамка ГГК М-50

Спасибо за внимание!

Контакты:



Степан Устинов:
stevesa@mail.ru



ФГБУ «ВИМС»



ИГЕМ РАН

