



# ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*В.А. Петров, С.А. Устинов, В.А. Минаев,  
И.О. Нафигин, Г.А. Гришков, В.Г. Ишмухаметова*

**ИГЕМ РАН**

III научно-практическая конференция «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование»  
Москва, ВИМС, 21-22 ноября 2023 г.

## Введение

В настоящее время основная роль в выделении и обосновании поисковых площадей принадлежит **прогнозно-минерогеническим исследованиям (ПМИ) масштаба 1:200 000-1:50 000.**

Они относятся к новому виду среднемасштабных региональных работ и в текущий момент им придается большое значение в стадийном процессе последовательного приближения к локальным рудоносным участкам недр.

Именно ПМИ призваны достоверно определить перспективные площади, пригодные для проведения поисковых работ. По своим задачам они в определенной мере отвечают существовавшим в советское время общим поискам масштаба 1:50 000.

Однако по своему целеполаганию и методическим подходам ПМИ существенно отличаются от них, т.к. направлены на выявление определенного **геолого-промышленного типа** месторождений.

Это сопряжено с созданием геолого-генетических моделей, основанных на **минерально-системном подходе**, реализующим парадигму «**источник → транспорт → отложение**» с акцентом на генезис, состав и свойства рудоносных флюидов.

**Машковцев Г.А., Петров В.А.** Пути совершенствования научно-методических основ поисковых работ на твердые полезные ископаемые // Сборник докладов научно-практической конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии». 22-24.11.2022. М.: ФГБУ «ВИМС», 2023. С. 195-208.

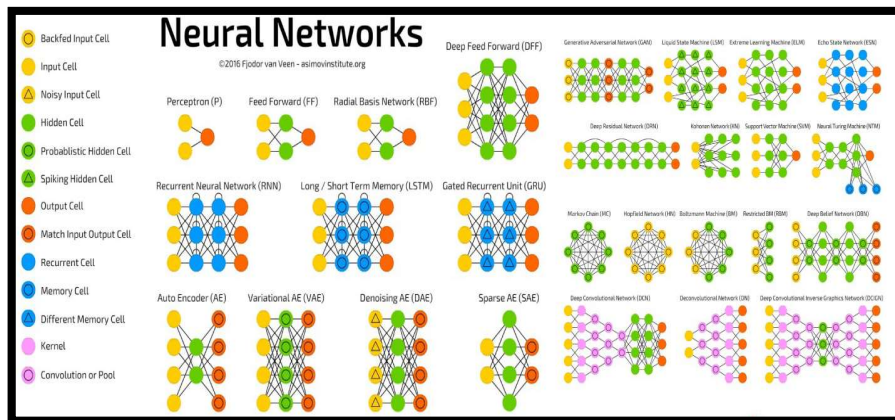
## **Минерально-системный подход к анализу основных факторов рудогенеза**

**Последовательность выявления рудоносных комплексов и структур на основе ГИС моделирования и нейросетевых технологий в рамках прогнозно-минерагенических исследований:**

- **Линеаментно-статистический (кластерный) анализ**
- **Кинематический анализ линеаментов в поле напряжений-деформаций периода рудообразования (ТМА)**
- **Мультиспектральные характеристики рудосопровождающих метасоматитов**

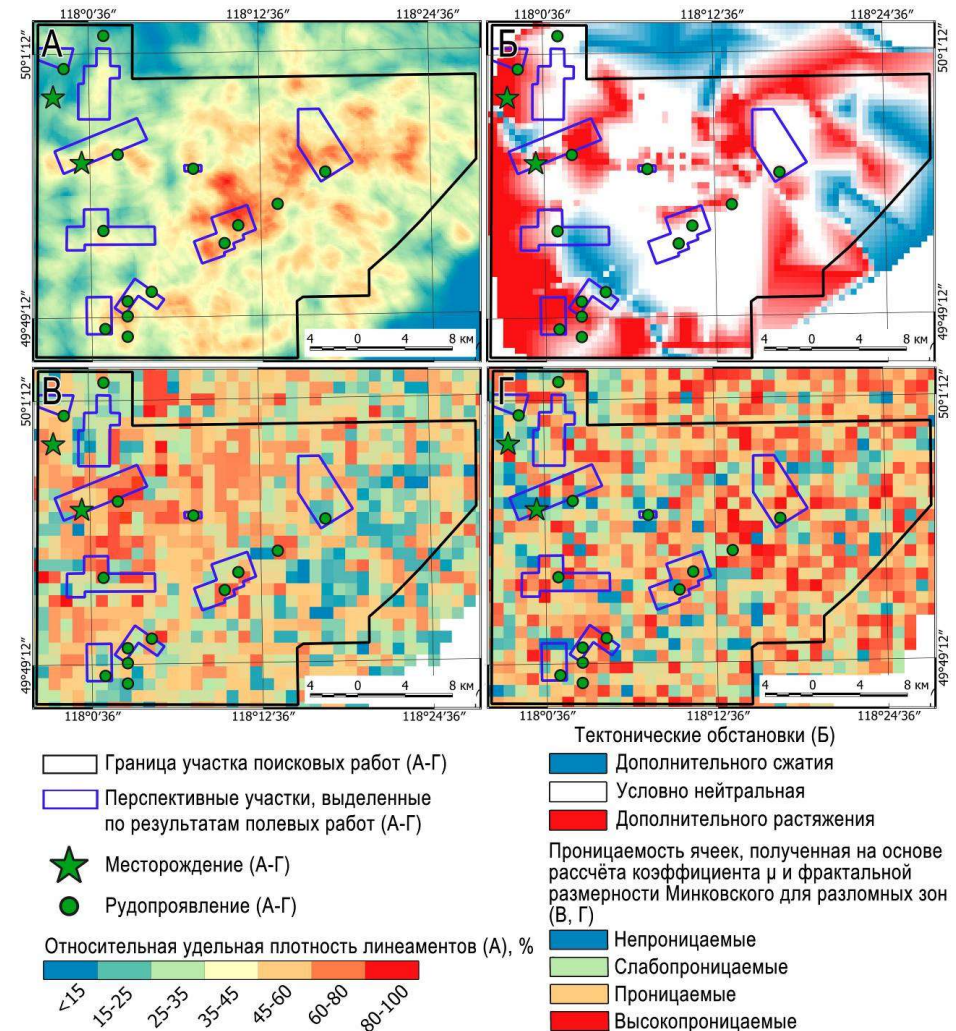
*Петров В.А., Устинов С.А., Минаев В.А. Роль академической науки в формировании теоретических основ уранового рудообразования // Разведка и охрана недр. 2023. № 8. С. 14-20  
(Юбилейное заседание межотраслевого КНТС по геологии, поискам и разведке месторождений урана, посвященное 80-летию становления отечественной урановой геологии.  
Москва, ФГБУ «ВИМС», 23 мая, 2023 г.)*

# 1а: Линеаментно-статистический (кластерный) анализ



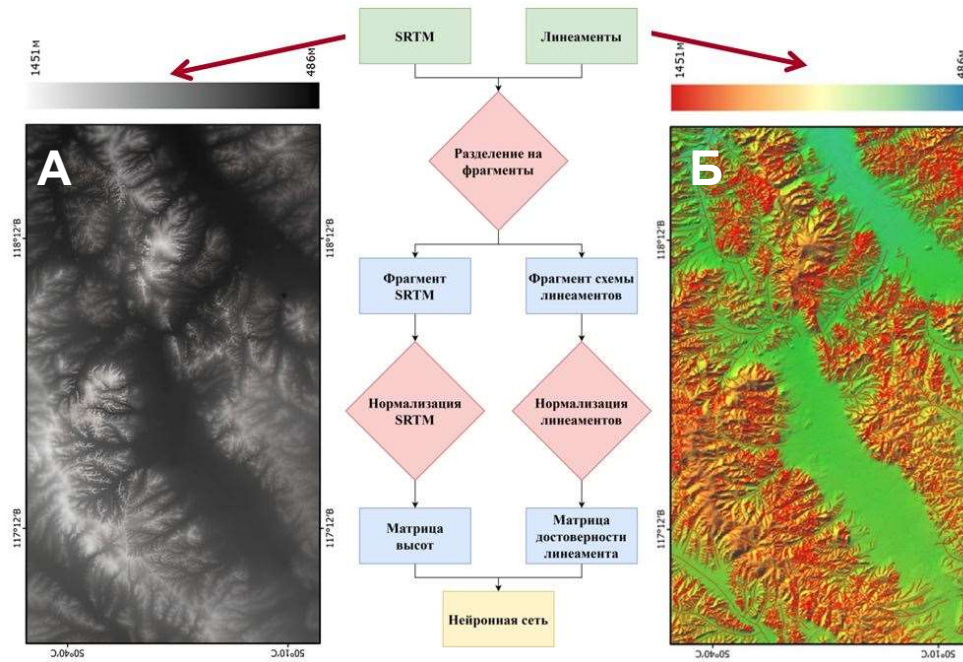
## Разнообразие структур нейросетевых моделей

- Нейросети используются для решения различных задач (распознавание лиц, номеров машин, текста) и для каждой разработаны свои модели структур.
- Перспективы использования нейросетевых технологий для прогнозирования рудного потенциала территорий несомненны, особенно в части анализа набора пространственно-временных предпосылок и признаков.



Пример использования ГИС и нейросетевых технологий для выявления геоструктурных и тектонических факторов рудогенеза (Устинов и др., 2022): **А** – плотность линеаментов; **Б** – тектоническая обстановка; **В** – проницаемые ячейки (размер 1x1 км) на основе расчёта **тенденции к сдвигу (транстенсии)** разломных зон; **Г** – проницаемые ячейки на основе расчёта фрактальной размерности Минковского

# 16: Линеаментно-статистический (кластерный) анализ

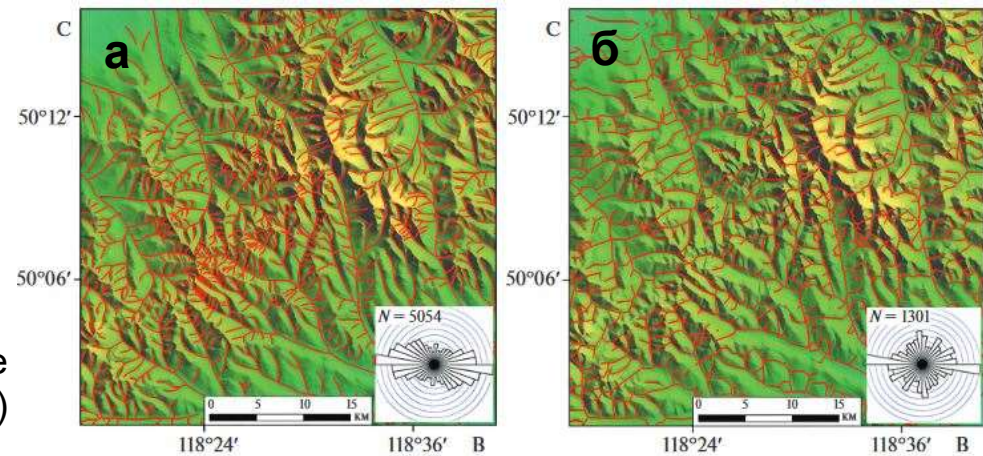


## Результат работы нейронной сети

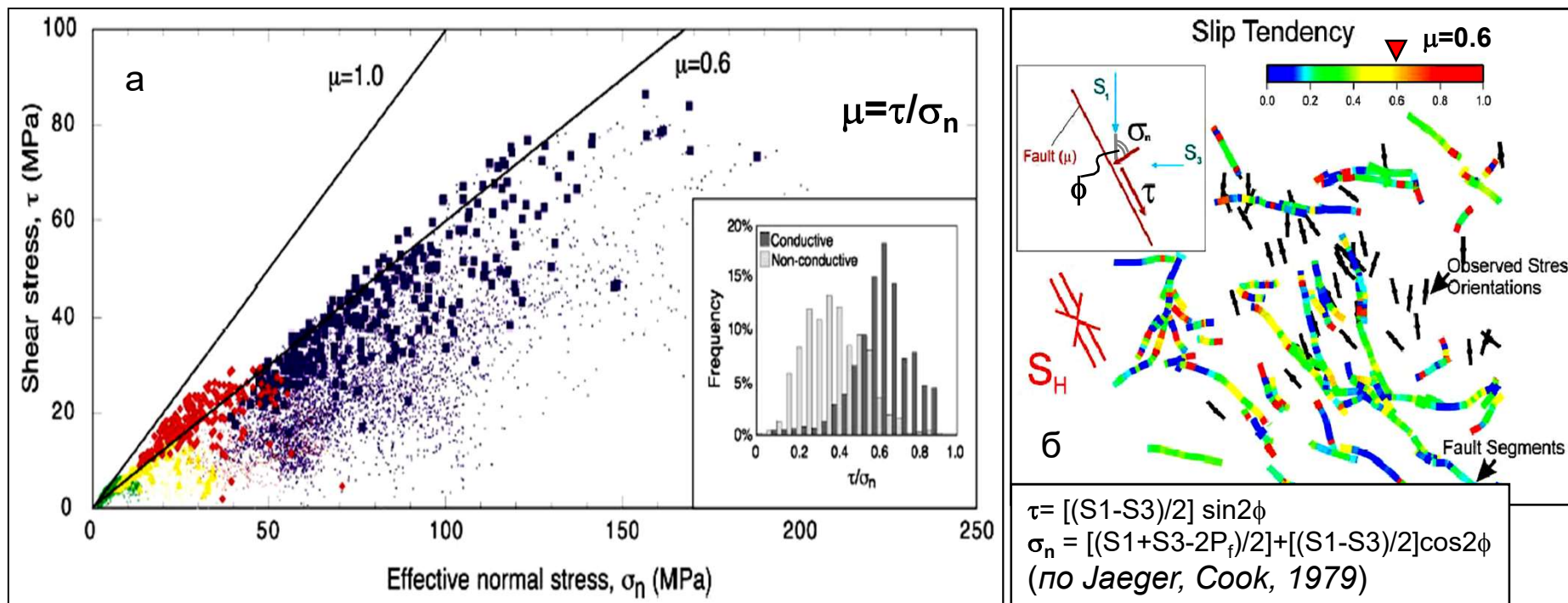
			Входное изображение
			Искомый линеамент
			Результат работы нейронной сети

Визуализация цифровой модели рельефа территории на базе SRTM («Shuttle Radar Topography Mission») (А) и линеаменты, выделенные ручным способом (Б)

Верификация: линеаменты, выделенные ручным способом (а) и нейронной сетью (б)



## 2а: Кинематический анализ линеаментов в поле напряжений-деформаций периода рудообразования (ТМА)



**Соотношение скалывающих ( $\tau$ ) и эффективных нормальных ( $\sigma_n$ ) напряжений в массивах пород: «сдвиговая тенденция» каркаса разрывных нарушений ( $\mu$ ):**

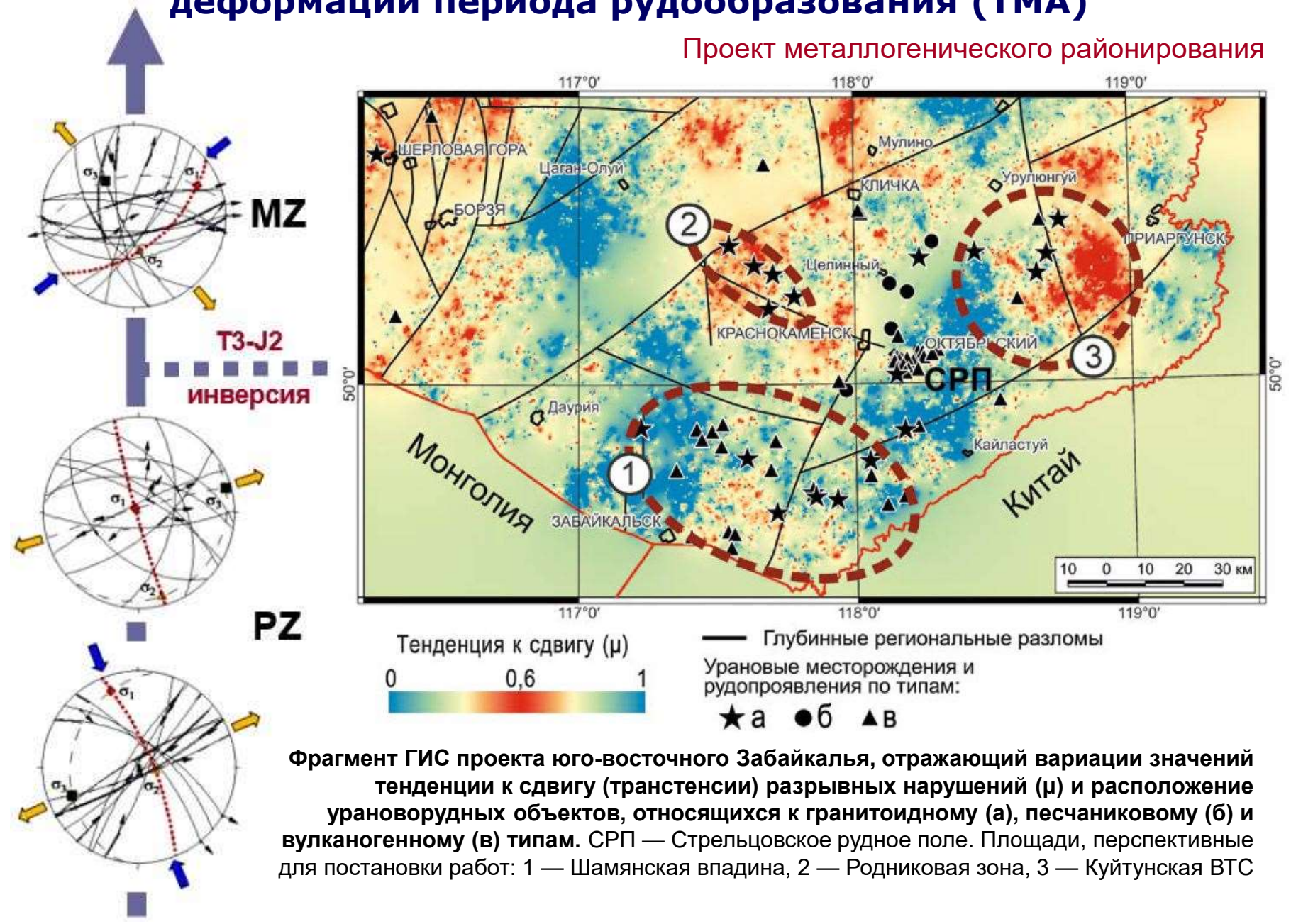
(а) Соотношение скалывающих ( $\tau$ ) и эффективных нормальных ( $\sigma_n$ ) напряжений в породах полигона в Неваде (зеленый), Лонг Велли, Калифорния (желтый), Кайон Пасс, Калифорния (красный) и КТВ, Германия (синий). Квадратами показаны гидравлически активные трещины и разломы, а точками – пассивные разрывы. На врезке отражены нормализованные статистические данные для всех участков (по *Zoback, Townend, 2001*).

(б) Комбинация картины распределения оси главных сжимающих усилий ( $S_H$ ) и ориентировки каркаса разрывных нарушений (по *Fuchs, Müller, 2001*) позволяет рассчитать значение  $\mu = \tau / \sigma_n$ , ( $\mu$  – тенденция к сдвигу,  $\tau$  – скалывающие и  $\sigma_n$  – эффективные нормальные напряжения) и визуализировать элементы разрывов, в различной степени предрасположенных к сдвигу (сколу), а также участки концентрации и рассредоточения напряжений.  $P_f$  – флюидное давление,  $\phi$  – угол между нормалью к плоскости разрыва и осью  $S_1$ .

**Наиболее гидравлически активные сегменты разрывных структур обладают  $\mu=0.6$**

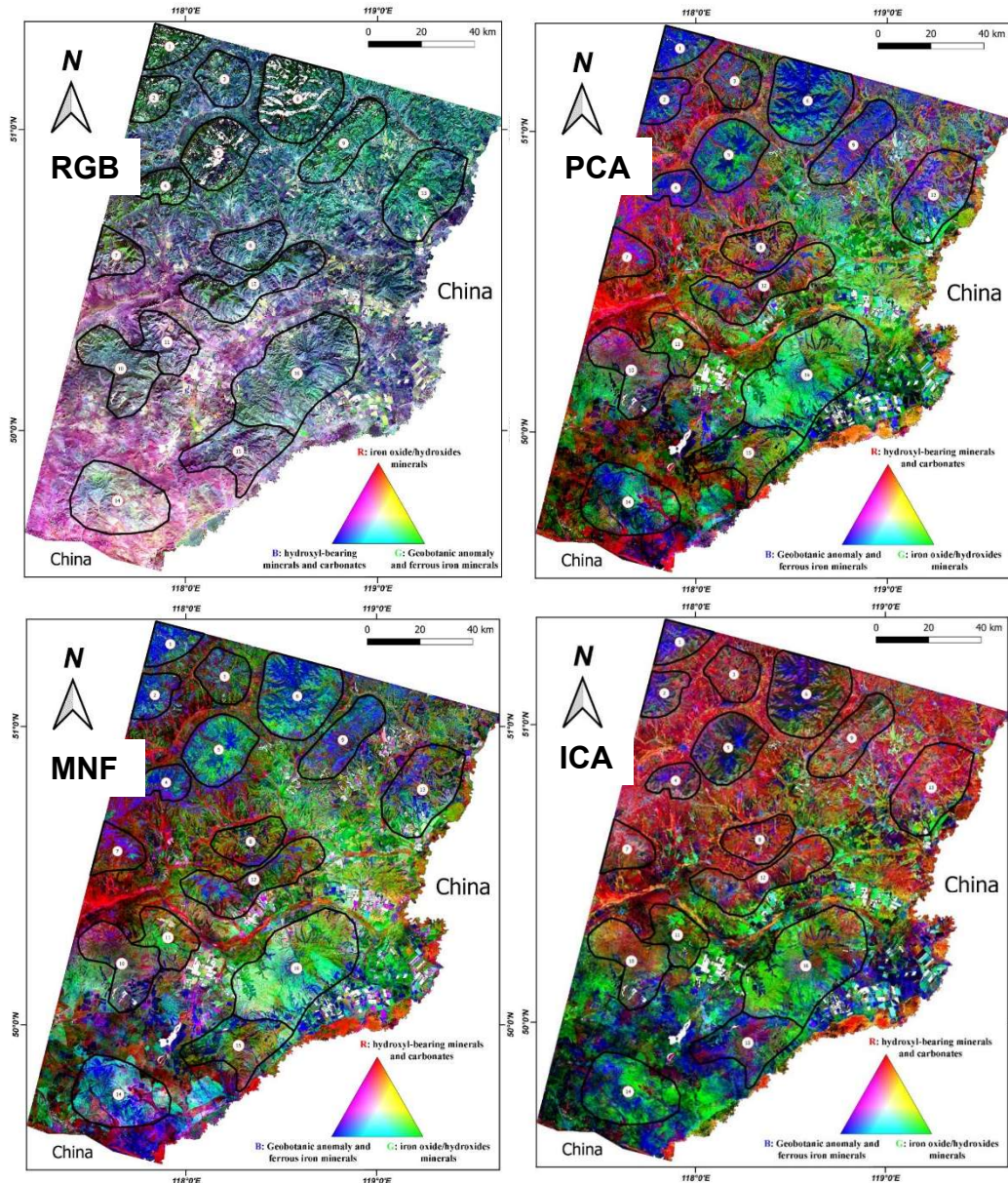
# 26: Кинематический анализ линеаментов в поле напряжений-деформаций периода рудообразования (ТМА)

Проект металлогенического районирования



Фрагмент ГИС проекта юго-восточного Забайкалья, отражающий вариации значений тенденции к сдвигу (транстенсии) разрывных нарушений ( $\mu$ ) и расположение урановорудных объектов, относящихся к гранитоидному (а), песчаниковому (б) и вулканогенному (в) типам. СРП — Стрельцовское рудное поле. Площади, перспективные для постановки работ: 1 — Шамьянская впадина, 2 — Родниковая зона, 3 — Куйтунская ВТС

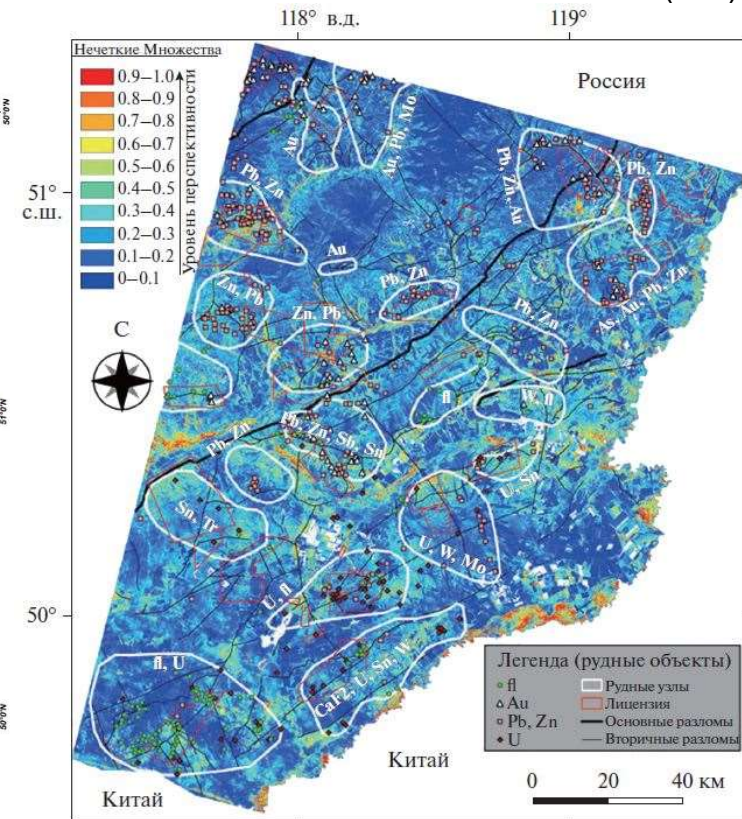
### 3: Мультиспектральные характеристики рудосопровождающих метасоматитов



Оценка территорий для геолого-минералогического картирования на основе статистических методов обработки данных дистанционного зондирования КА Landsat-8

**Основные методы:**

- ▶ анализа главных компонент (PCA)
- ▶ минимальной доли шума (MNF)
- ▶ независимый компонентный анализ (ICA)



Landsat-8 composites (Nafigin et al., 2022; Ишмухаметова и др., 2023)

Схема распределения кластеров, перспективных на рудную минерализацию (Au, U, Mo, Pb-Zn, Sn, W, Ta, Nb, Li, флюорит), созданная на основе ГИС-моделирования с использованием алгоритмов нечеткой логики



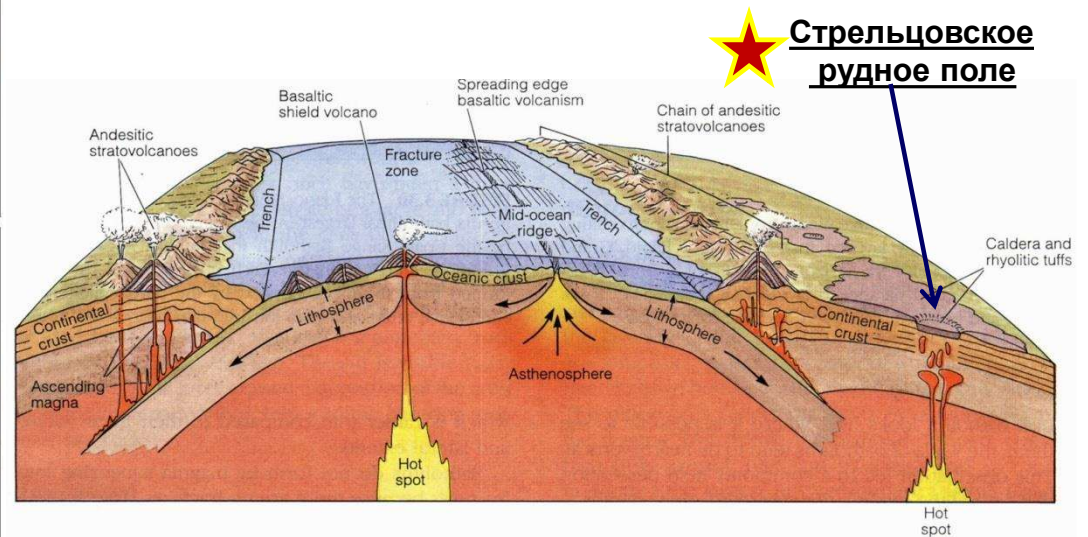
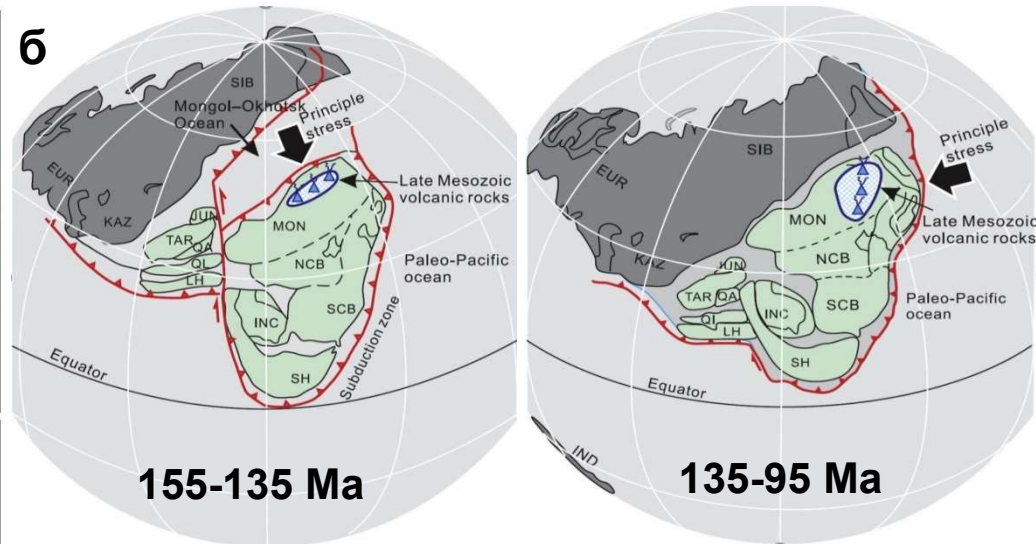
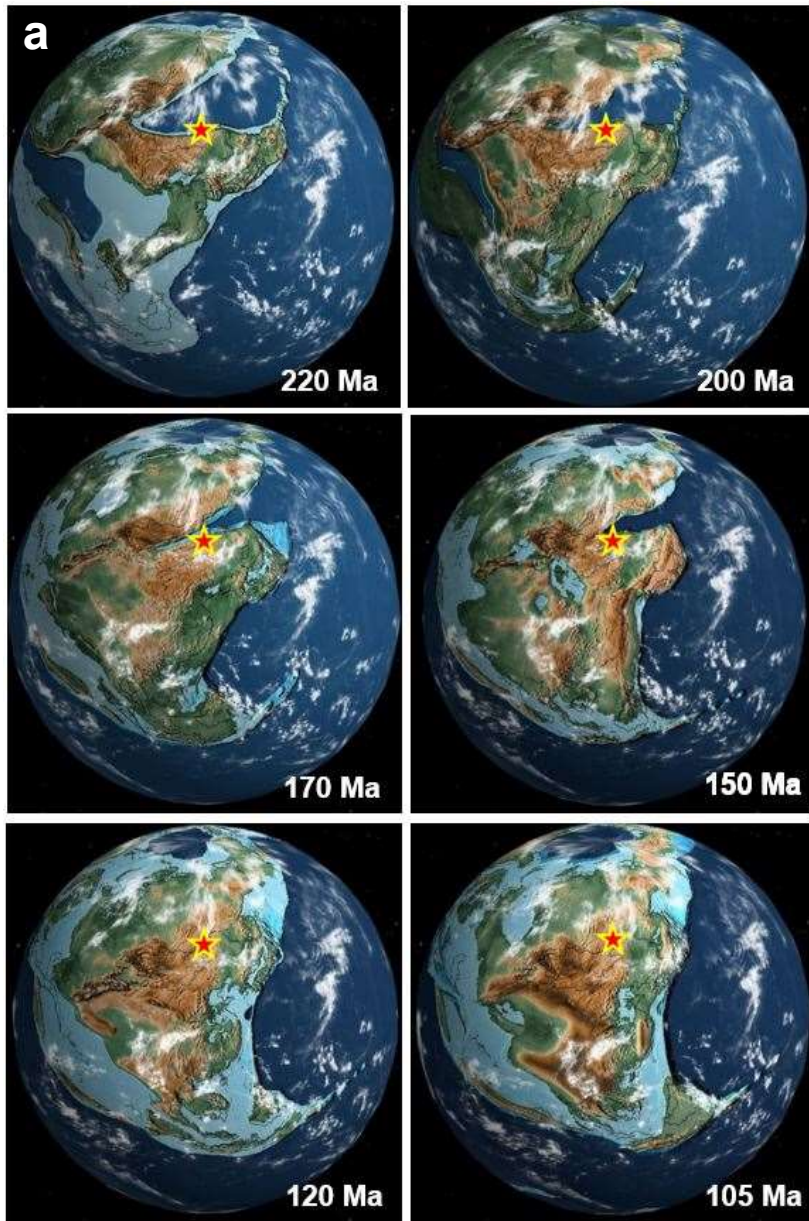
## Последовательность тектоно-магматических циклов в Восточном Забайкалье (Андреева и др., 2020)

Млн лет	Тектоно-магматический цикл	Главные магматические комплексы и эффузивно-субвулканические серии	Изотопный возраст*
100	Ранне- и позднемеловой, завершающий	Субщелочные базальты и андезибазальты, трахиандезиты, туфы	130–94 млн лет
	Мезозойский	Субщелочные риолиты, трахириолиты, перлиты, трахириодациты тургинской серии, гипабиссальные экструзии сиенит-порфиоров и кварцевых монцонитов	150–141 млн лет
		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, монцониты, диориты	173–150 млн лет
	Средне- и позднеюрский	Приаргунская и шадоронская серии субщелочных базальтов, трахиандезибазальтов, трахидацитов, дацитов, трахидиоритов	164–153 млн лет
220	Позднетриасовый	Каменная свита: толеитовые базальты, андезибазальты, риодациты (развиты только в крайней западной части территории)	212 млн лет
370	Герцинский	Удинский интрузивный комплекс: амфибол-биотитовые граниты, гранодиориты, кварцевые диориты, габбро-диориты, лейкократовые граниты	275–239 млн лет
	Каледонский	Континентальный раннепермский вулканический комплекс развит только на сопредельной территории Восточной Монголии	
590		Газимурский и борщевочный комплексы: гранито-гнейсы, плагиограниты, диориты, бластопорфировидные гнейсо-граниты	646–457 млн лет
	Протерозой-рифей	Заурулюгевский массив (комплекс), включая Уртуйский и Бамбакайский массивы: гранито-гнейсы, порфиробластовые гранитоиды, амфиболлизированные габброиды	1111–784 млн лет

~50 млн лет

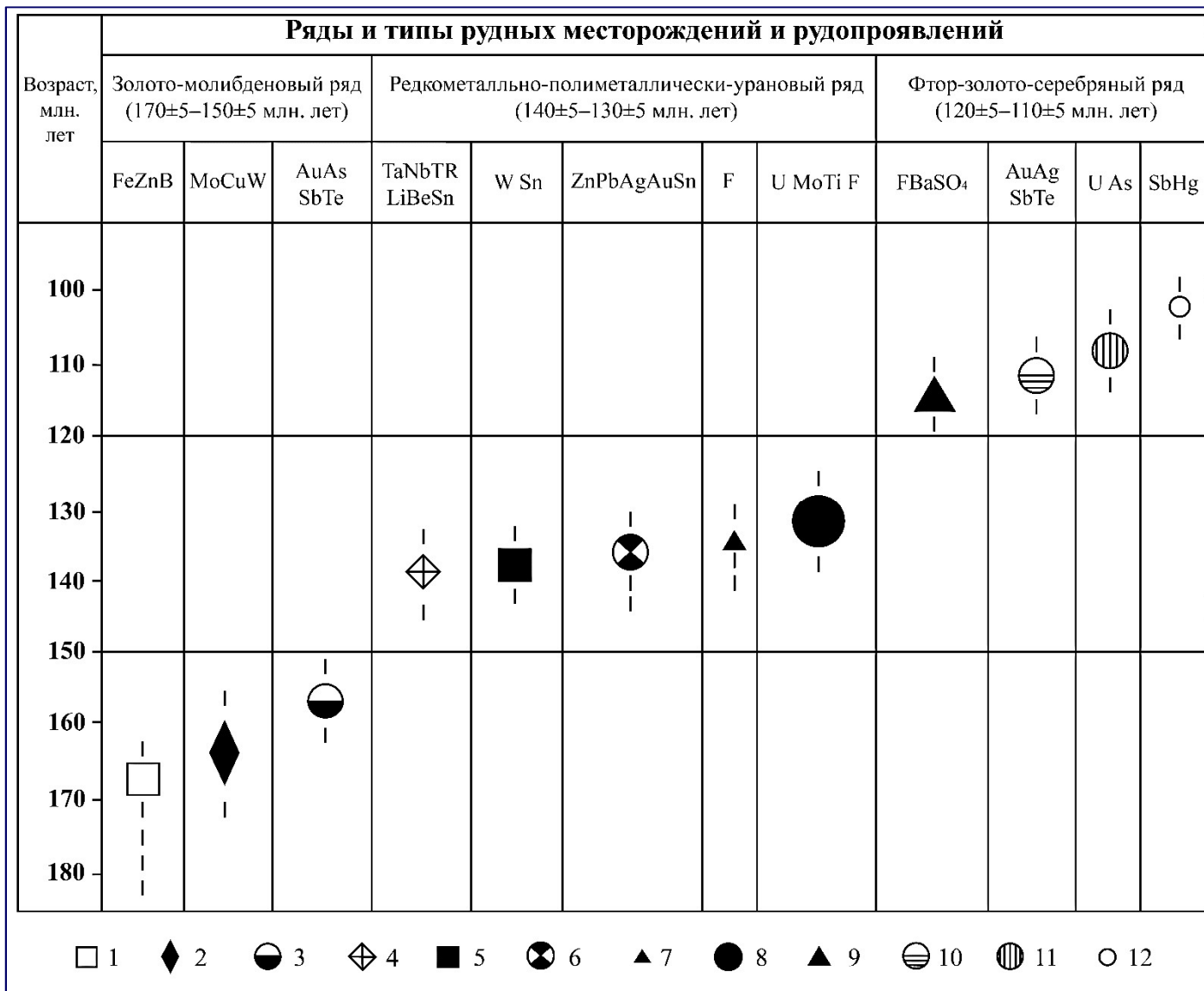
\* Сведения об изотопных возрастах приведены по собственным данным и из архивов лаборатории геохронологии и изотопной геохимии ИГЕМ РАН, а также из публикаций: Андреева и др., 1996; Андреева, Головин, 2001; Рублев, Буева, 1998; Голубев и др., 2010, 2011; Ищукова и др., 2007; Абушкевич, Сырицо, 2007;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

# Палеорекострукции позднеМЗ геодинамических событий (а – по [www.dinosaurpictures.org](http://www.dinosaurpictures.org), б - по Yang et al., 2015)

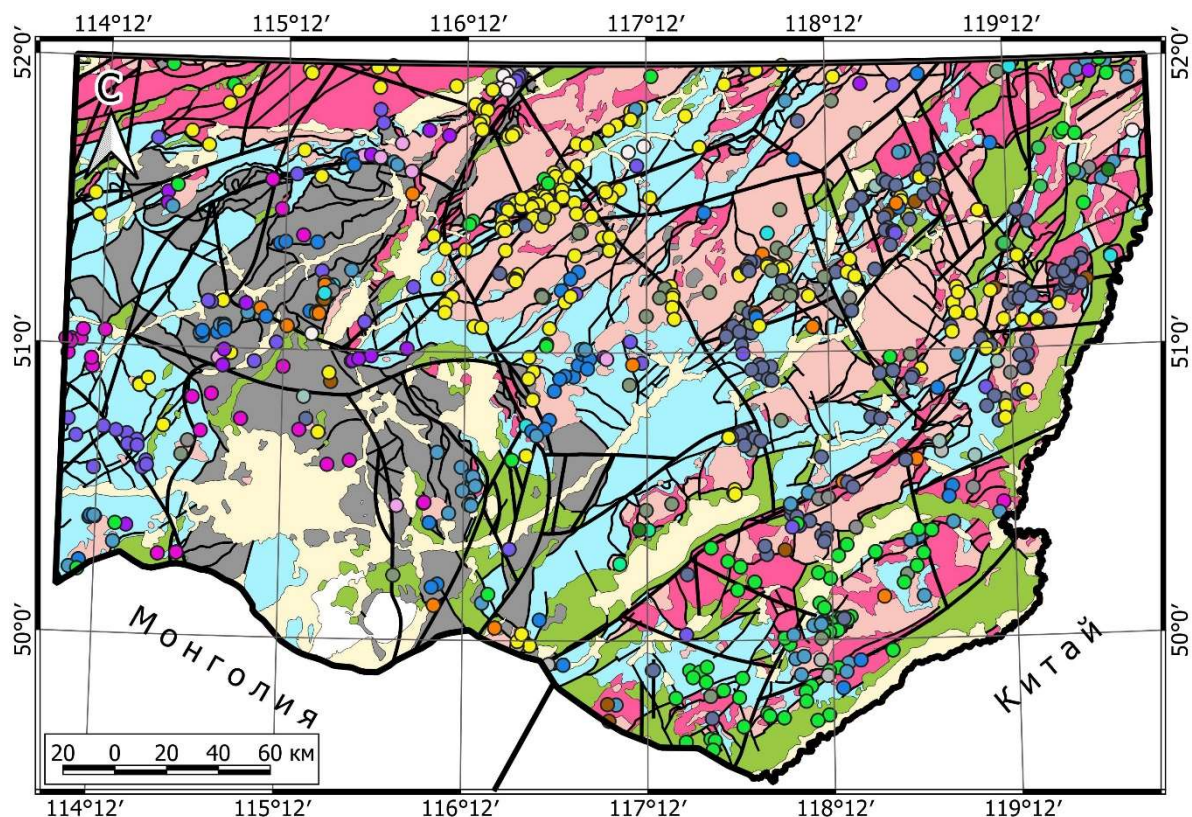


**Положение вулcano-плутонических комплексов в  
плейт-тектонической трактовке**

# Последовательность образования позднемезозойских рудных месторождений Восточного Забайкалья (по основным геохимическим ассоциациям) (Рыбалов, 2000)

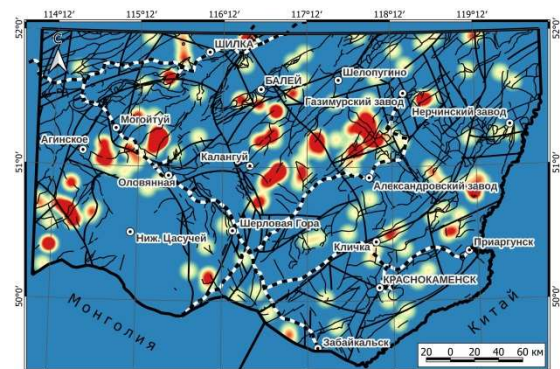


# 1239 месторождений и рудопроявлений в Восточном Забайкалье (лист ГКК М-50)

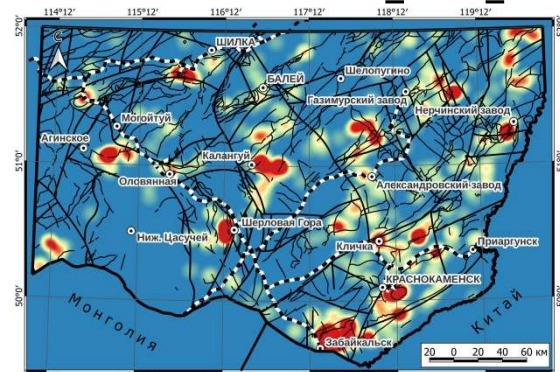


- |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|
| ○ Ag | ● Bi | ● Fe | ○ Li | ● Pb | ● Ta | ● W  |
| ● As | ● Ce | ○ Hg | ● Mn | ● Sb | ● Th | ● Y  |
| ● Au | ● Cu | ● La | ● Mo | ● Sn | ● U  | ○ Zn |

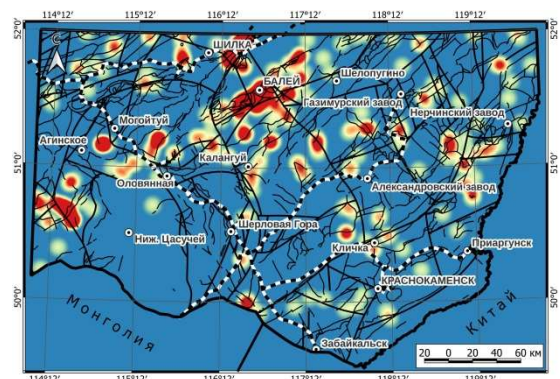
Справа: тепловые карты временных рядов рудных объектов, выделенных Б.Л. Рыбаловым, отражающие пространственную плотность оруденения (количество рудных объектов на единицу площади по С.С. Смирнову). Красные области – максимальная плотность (сближенность) рудных объектов, синие области - отсутствие объектов. Для визуализации рассматривалось количество рудных объектов в радиусе 10 км.



**Золото-молибденовый ряд  
170±5-150± Ma**

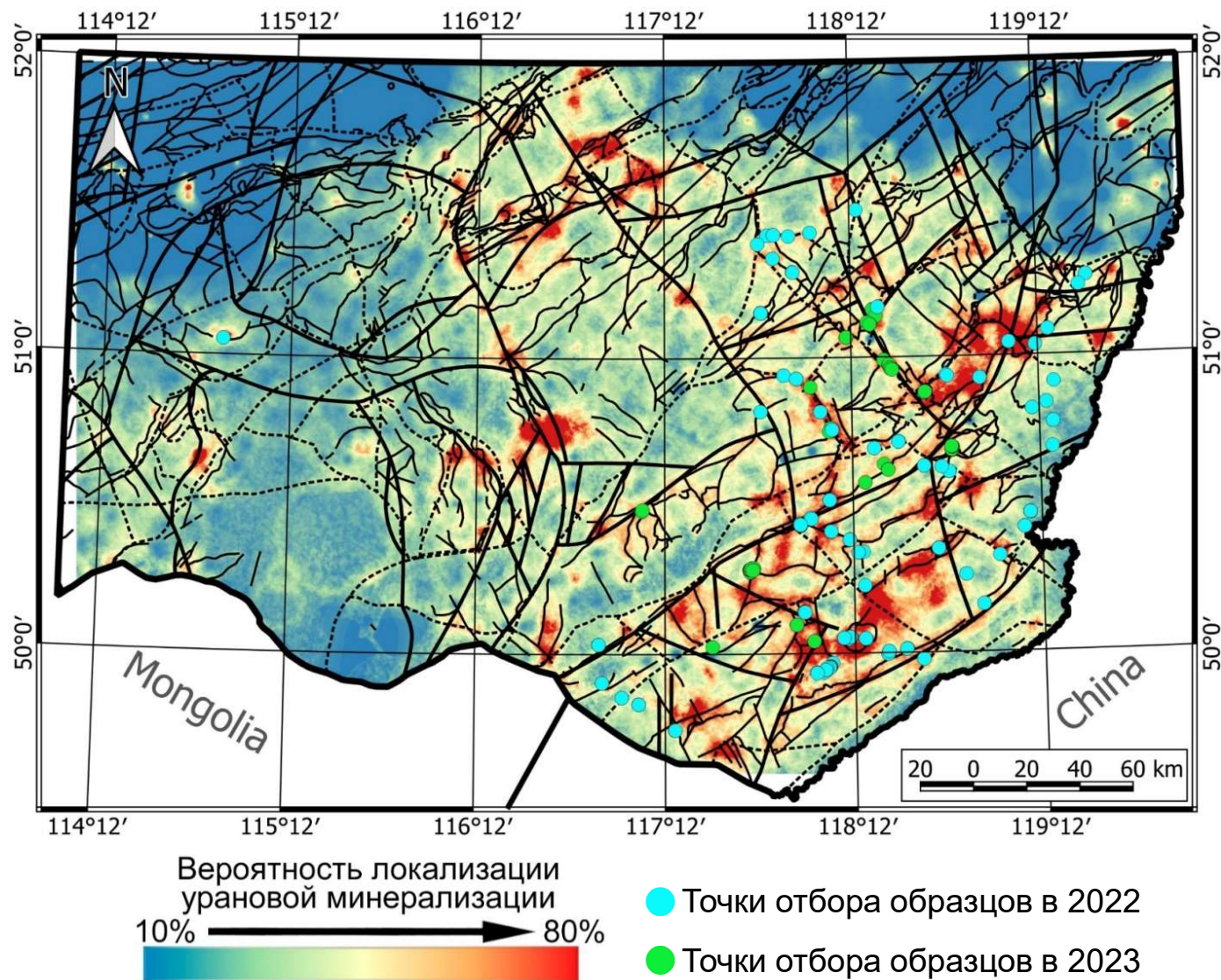


**Редкометалльно-полиметалл-  
урановый ряд 140±5-130±5 Ma**



**Фтор-золото-серебряный ряд  
120±5-110±5 Ma**

# Структурная весовая прогнозно-поисковая модель Восточного Забайкалья с учетом содержаний урана в коренных породах



Модель отражает положение линеаментов и разломных зон, наиболее проницаемых в период уранового рудообразования. Точность модели, заверенная на эталонных U-рудных объектах, составляет 80%

## Выводы

**1.** В настоящее время основная роль в выделении и обосновании поисковых площадей на дефицитные виды стратегического минерального сырья принадлежит прогнозно-минерогенетическим исследованиям (ПМИ) м-ба 1:200 000-1:50 000, которые отвечают существовавшим в советское время общим поискам м-ба 1:50 000, но отличаются от них по своему целеполаганию и методическим подходам.

**2.** ПМИ направлены на выявление определенного геолого-промышленного типа месторождений, что сопряжено с созданием геолого-генетических моделей, основанных на минерально-системном подходе, который реализует парадигму «источник → транспорт → отложение» с акцентом на генезис, состав и свойства рудоносных флюидов.

**3.** Одним из ключевых моментов ПМИ на дефицитные виды стратегического минерального сырья является разработка и внедрение в практику эффективных методов прогноза, поисков и оценки месторождений, которые основаны на ГИС моделировании и нейросетевых технологиях.



Ежегодно, начиная с 1999 года, в третью среду ноября (в этом году 15.11), отмечается Всемирный день географических информационных систем (ГИС).

Первые отображения объектов, расположенных на поверхности Земли, в памяти компьютеров относятся к 1960-м гг. Сбором и хранением этих сведений занимались военные ведомства двух сверхдержав – СССР и США, которые использовали информацию для наведения ракет различной дальности. В мирных целях ГИС впервые начали применять в 1970-х в картографии. Настоящим прорывом в распространении ГИС стало появление персональных компьютеров. В 80-90-х гг. наработки ГИС стали востребованными у частных пользователей ПК, количество которых постоянно растёт. Сегодня геоинформационные системы - один из быстро развивающихся сегментов IT-технологий.

Во Всемирный день ГИС отмечают свой праздник все те, кто имеет непосредственное отношение к сбору, хранению и формированию информации, связанной с графической визуализацией пространственных данных.