Структурный анализ – необходимый инструмент при поисках и разведке рудных месторождений

Читалин А.Ф., Воскресенский К.И., Гришин Е.М., Сивков Д.В., Усенко В.В., Фомичев Е.В., Чикатуева В.Ю.

ООО «Институт геотехнологий»

Майнекс Дальний Восток 2018

г.Магадан

18-20 июля 2018

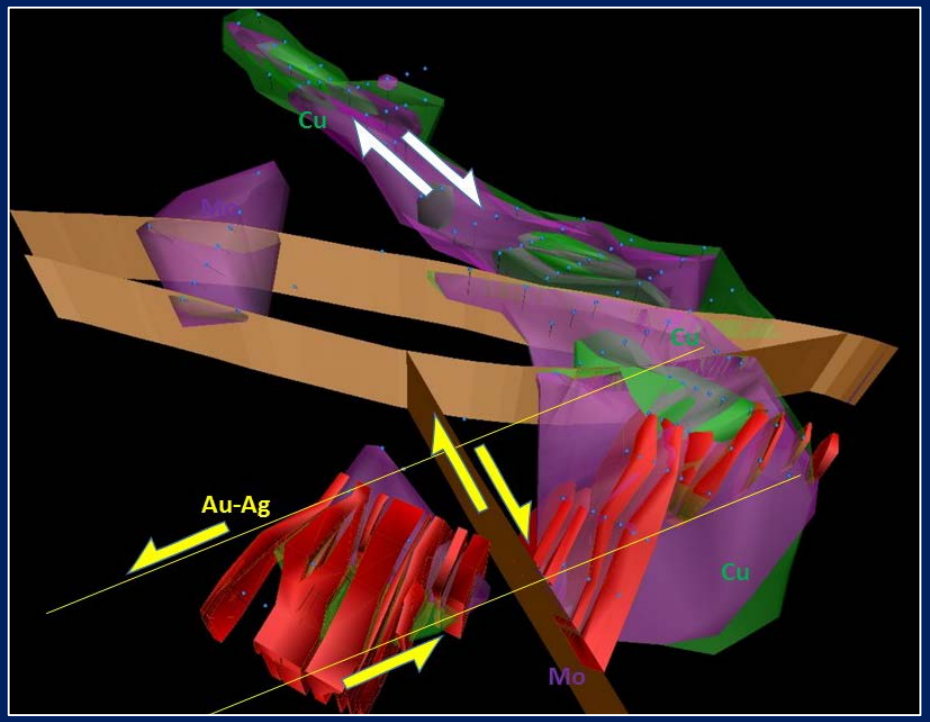
ПРИ ОТСУТСТВИИ ПОЛНОЦЕННЫХ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- **ФОРМАЛЬНОЕ** ПОВЕРХНОСТНОЕ ОПИСАНИЕ ТЕКТОНИКИ И НЕОБОСНОВАННОСТЬ СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА
- **«НЕГЕОЛОГИЧЕСКАЯ»** ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ РУДНЫХ ТЕЛ – ЗАВЫШЕНИЕ ИЛИ ЗАНИЖЕНИЕ ЗАПАСОВ, ОШИБОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ
- **НЕПРАВОМЕРНОСТЬ** СРАВНЕНИЯ С ДРУГИМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ
- **НЕЭФФЕКТИВНОСТЬ** ПОИСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ
- ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ **ФАНТАЗИИ И ИЛЛЮЗИИ**

ЦЕЛЬ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- СОЗДАНИЕ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

- ОСНОВА КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРОГНОЗА



ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ:

- ПРОГНОЗ РУДНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК:
  - РУДНЫХ ЗОН И УЗЛОВ,
  - РУДНЫХ ПОЛЕЙ
  - РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ
  - РУДНЫХ СТОЛБОВ

- КОНТРОЛЬ КОНТУРОВ РУДНЫХ ТЕЛ

- ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ

- ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ

- ЭТАЛОННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

МАСШТАБЫ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

РЕГИОНАЛЬНЫЙ (1:500 000 и мельче) –
РУДНЫЕ ПОЯСА И АРЕАЛЫ

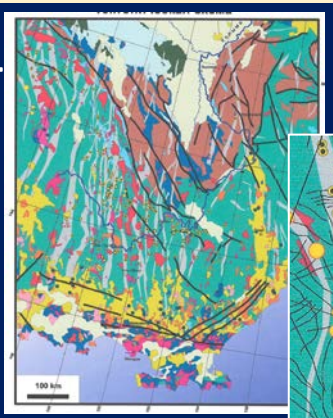
СРЕДНИЙ (1:200 000-1:100 000) –
РУДНЫЕ ЗОНЫ И УЗЛЫ

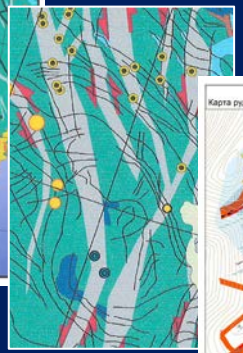
КРУПНЫЙ (1:50 000 – 1:25 000) –
РУДНЫЕ ПОЛЯ

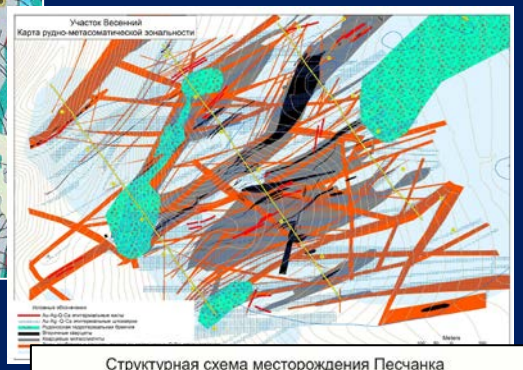
ДЕТАЛЬНЫЙ (1:10 000 – 1:1000) –
МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РУДНЫЕ ЗАЛЕЖИ

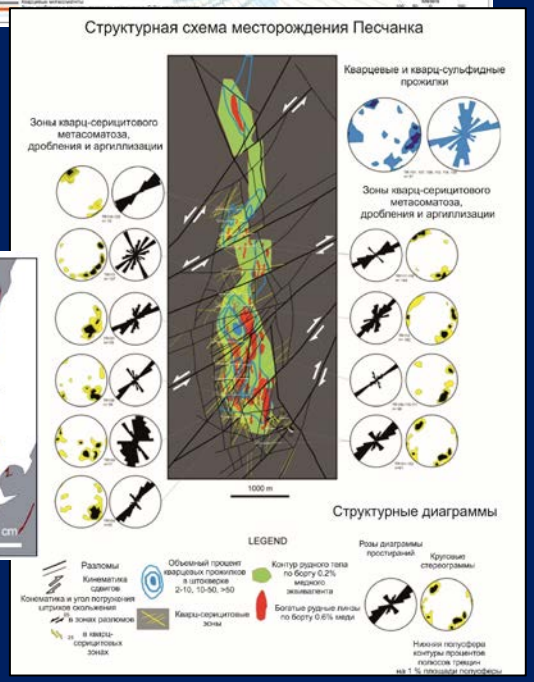
МЕЗО – МАКРО (1:500-1:1) –
РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ МЕЗОСТРУКТУРЫ

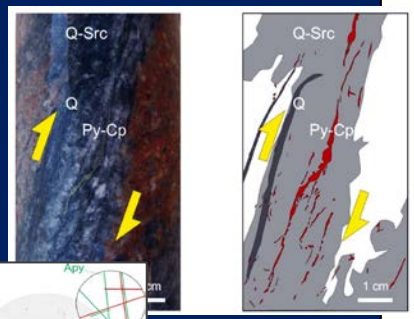
МИКРО –
РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

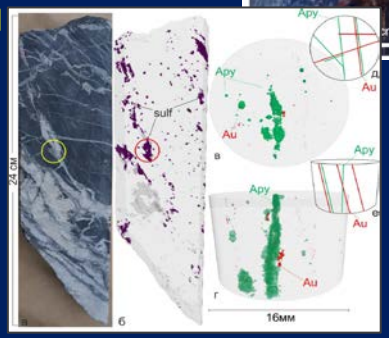






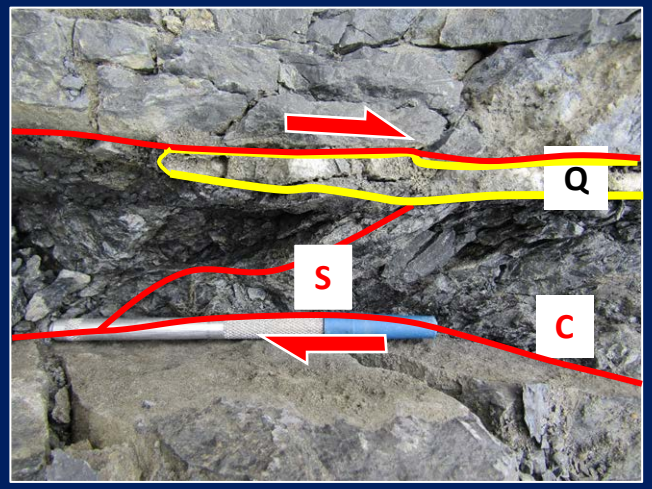


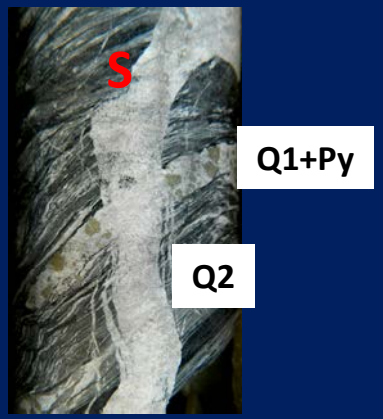




Необходимо согласовать между собой разномасштабные структурные модели

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ – ОСНОВА СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

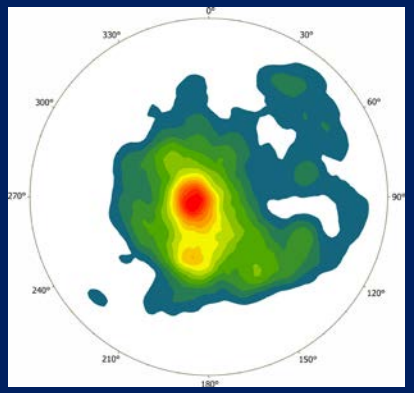




- **ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОЕ КАРТИРОВАНИЕ –**
  СТИЛЬ СТРУКТУРЫ. СКЛАДКИ И РАЗРЫВЫ, СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ И АНСАМБЛИ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ, ВОЗРАСТ

- **СТРУКТУРНО–КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ПРОЖИЛКОВ - СТЕРЕОГРАММЫ**
  СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГНЕЗЫ (ДОРУДНЫЕ, СИНРУДНЫЕ, ПОСТРУДНЫЕ), ОСИ НАПРЯЖЕНИЙ, ТИПЫ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ, ГЕНЕЗИС, ВОЗРАСТ

- **ВЫДЕЛЕНИЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ СТРУКТУРНЫХ ПАРАГЕНЕЗОВ, РУДНЫХ ПАРАГЕНЕЗОВ –**
  РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ ЗОНЫ ДЕФОРМАЦИЙ – СТРУКТУРНЫЕ ТРЕНДЫ, СТРУКТУРНЫЕ ЛОВУШКИ, ДУПЛЕКСНЫЕ СТРУКТУРЫ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДЛЯ ПОИСКОВ КРУПНООБЪЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ



ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ

ДОПОЛНЯЮТ ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ

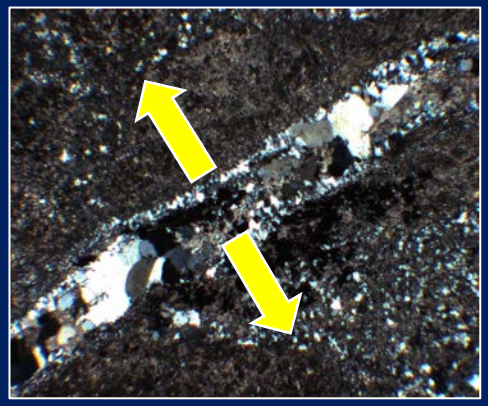
- **МИКРОСТРУКТУРНЫЙ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

ОРИЕНТИРОВКА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ, КИНЕМАТИКА РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ СТРУКТУР, МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ

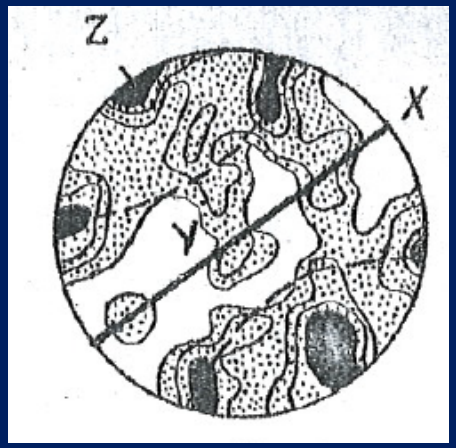
- **ОРИЕНТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ**

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

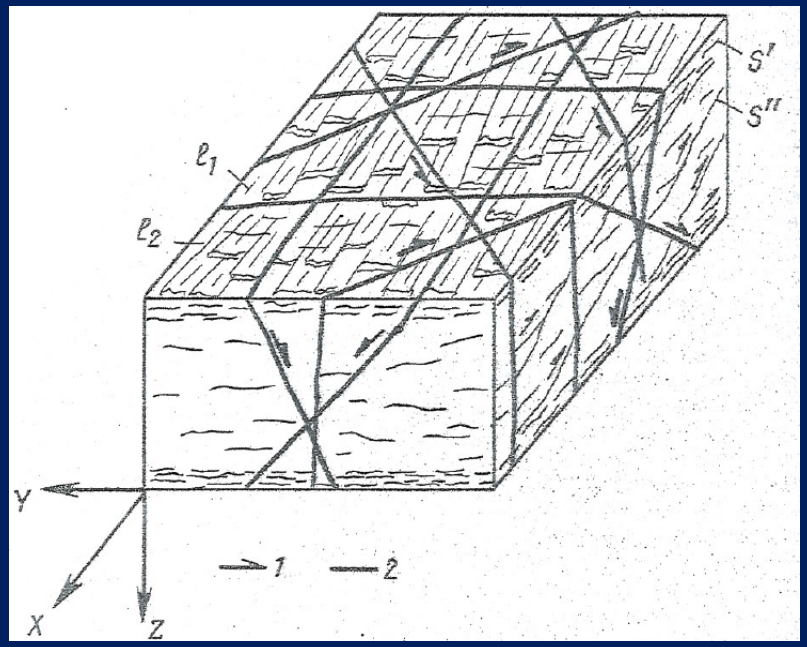
ПЕСЧАНКА
Микроструктурные тренды распределения сульфидов



ПЕСЧАНКА
Микроструктура растяжения в кварцевом прожилке



БЕСТЮБЕ Деформационные узоры ориентировок оптических осей кварца, Интерпретация кинематики и условий деформации (Читалин, 1992)



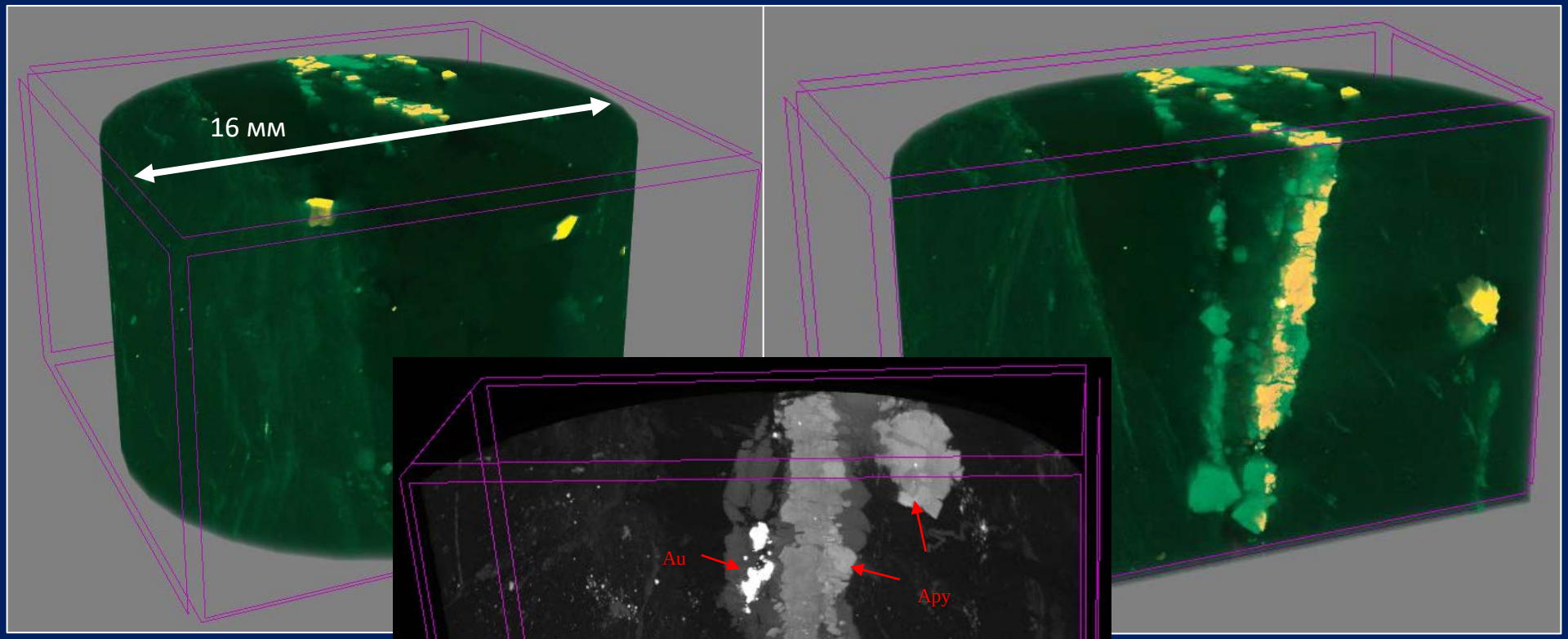
БЕСТЮБЕ
Строение золотоносной кварцевой жилы:
- зеркала скольжения,
- деформационная полосчатость,
- трещины скалывания

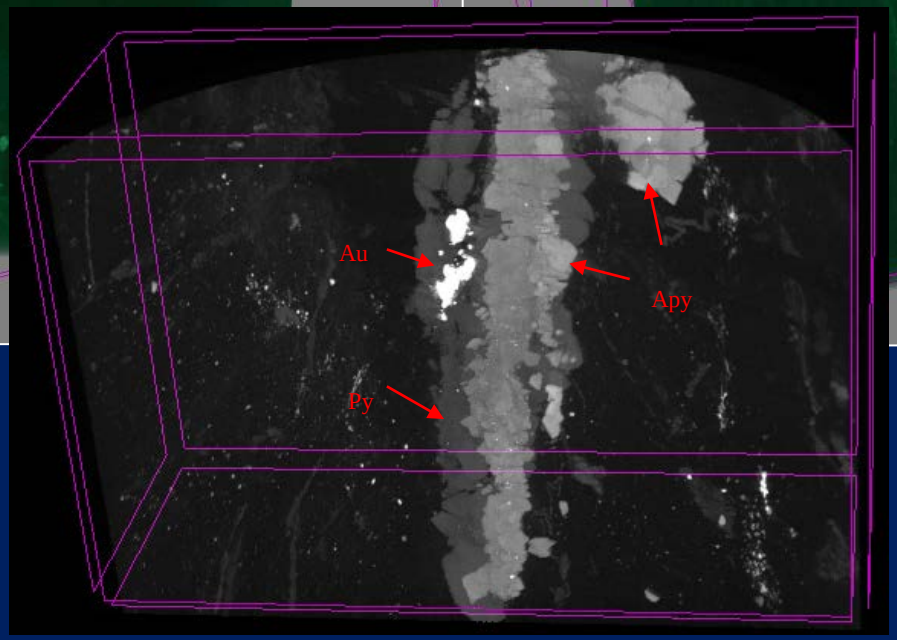
(Читалин, 1992)

ТОМОГРАФИЯ И МИКРОТОМОГРАФИЯ ОРИЕНТИРОВАННОГО КЕРНА

ВЫДЕЛЕНИЕ В ОБЪЕМЕ СКРЫТЫХ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ МИКРОСТРУКТУР

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВОЗРАСТНЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РУДНЫХ ПРОЖИЛКОВ





ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

- **СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ**

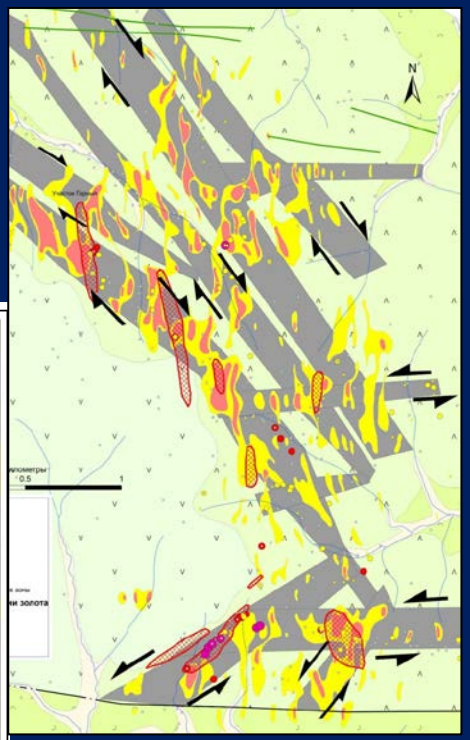
ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАГЕНЕЗОВ РАЗНЫХ ЭТАПОВ ДЕФОРМАЦИЙ

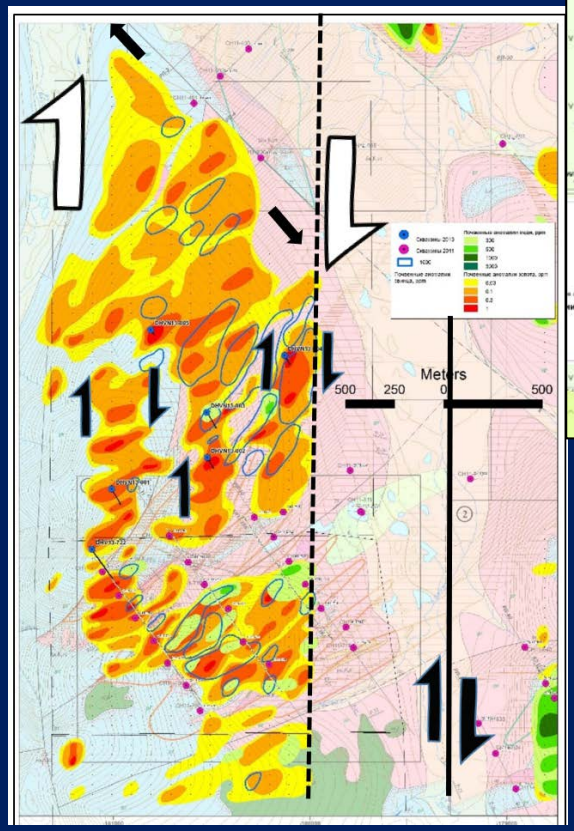
- **СТРУКТУРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**

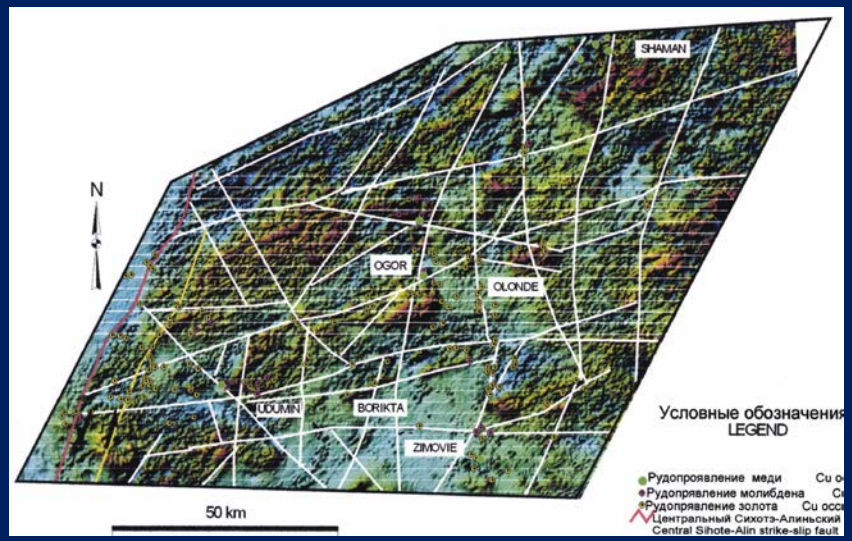
- ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
- ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
- ЛИНЕАМЕНТОВ

- **КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ (LESSA)**

РАЗНЫЕ УРОВНИ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ







Полевая заверка и интерпретация выделенных структур

ТЕКТОНОФИЗИКА

- **ФИЗИЧЕСКОЕ АНАЛОГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

- СРАВНЕНИЕ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СО СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛЬЮ

- ПРОГНОЗ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК ОРУДЕНЕНИЯ

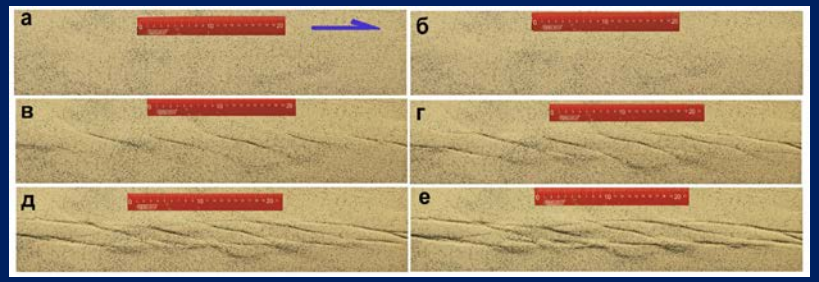
- **СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА С ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ**

- ФИЗИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ И ЕЕ УЛУЧШЕНИЕ

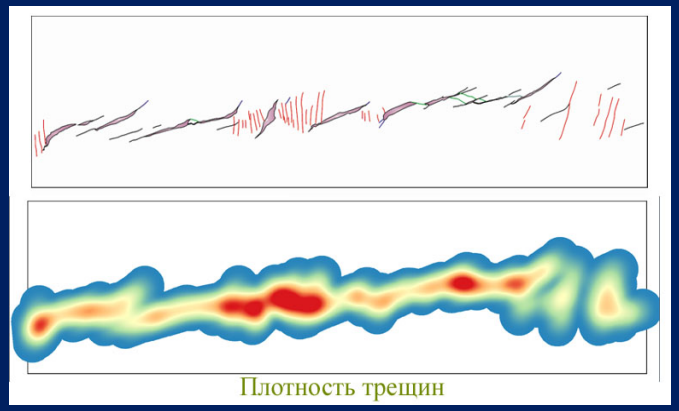
- КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК ОРУДЕНЕНИЯ

Прибор для тектонофизического моделирования в лаборатории тектонофизики геологического факультета МГУ, рук. Фролова Н.С.



Стадии развития сдвиговой зоны в модели из песка

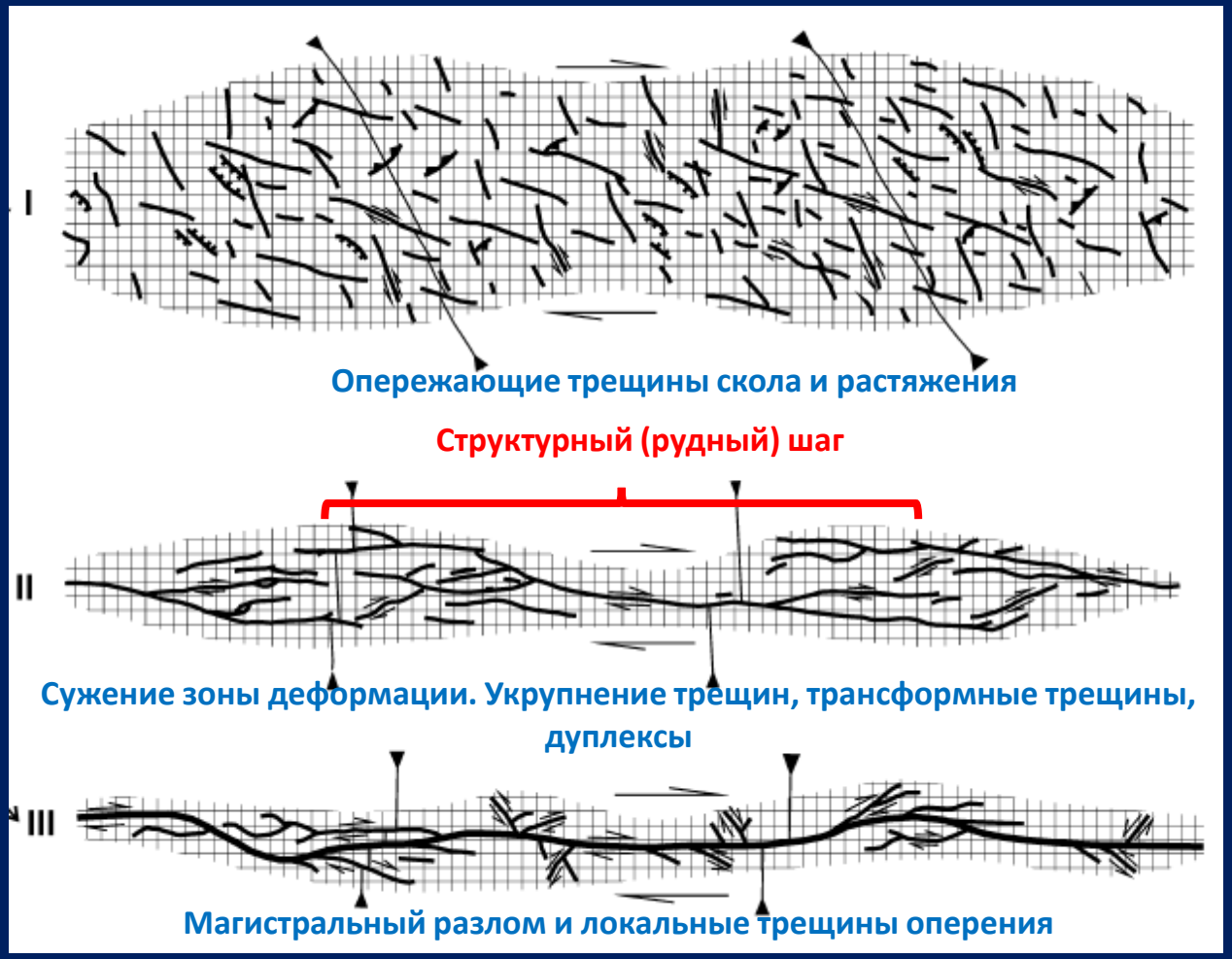


Компьютерная обработка, анализ плотности трещин

Использованные материалы

- **песок** с примесями солидола, вазелинового масла и воды
- **глина:** каолиновая и бентонитовая, влажная (25-40%)

СОВРЕМЕННАЯ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗЛОМА. СТАДИИ РАЗВИТИЯ



Семинский К.Ж.
ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН. ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ. 2003

Публикации: Шерман, Борняков, Семинский и др, 1986-2014;

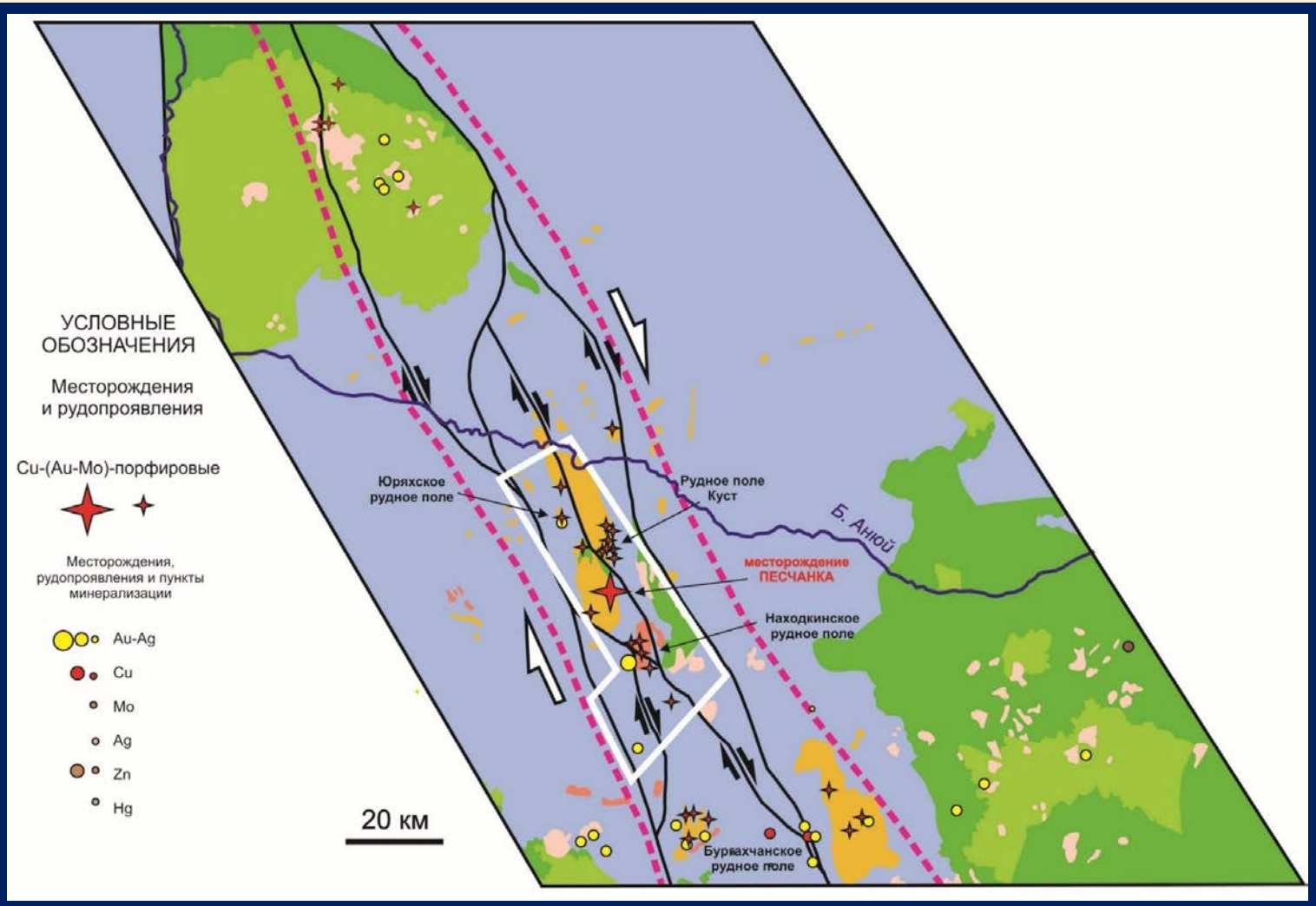
Стадии развития разлома:

I – Ранняя дизъюнктивная

II – Поздняя дизъюнктивная

III –Полного разрушения (Магистральный Сместитель)

БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА (ЧУКОТКА) – СДВИГОВАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ



Баимская рудная зона – региональный правый сдвиг

Продольные правые сдвиги R

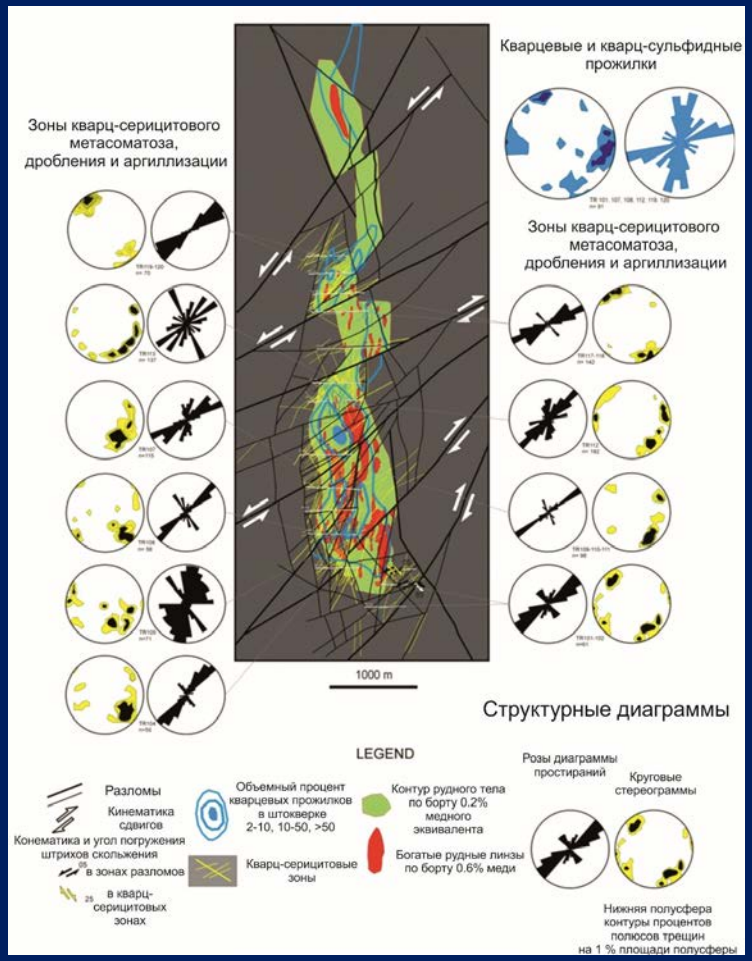
Поперечные левые сдвиги R’

Меридиональные структуры растяжения – порфировые интрузии и рудные штокверки

(Читалин и др, 2013)

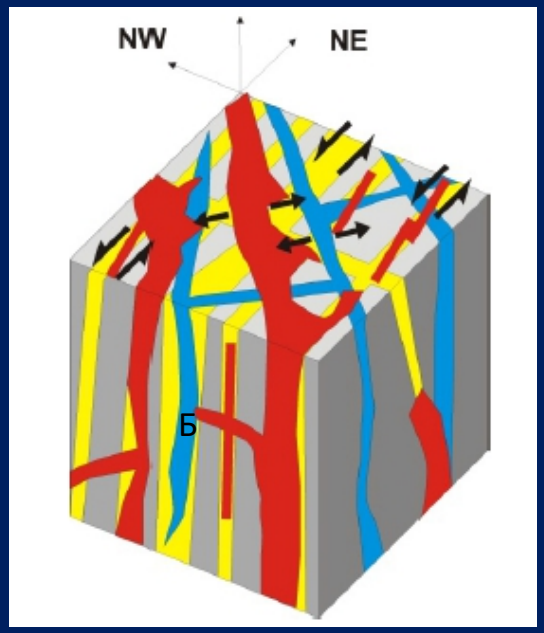
БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА. МЕДНОПОРФИРОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПЕСЧАНКА – СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МЕСТОРОЖДЕНИЯ И СТЕРЕОГРАММЫ РУДНЫХ ПРОЖИЛКОВ

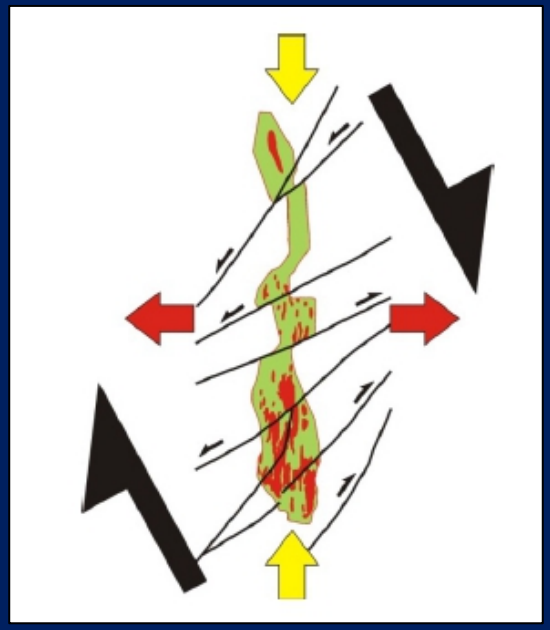


(Chitalin et al, 2012)

СТРУКТУРА РУДНОГО ШТОКВЕРКА



СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ – ЛИНЕЙНЫЙ ШТОКВЕРК РАСТЯЖЕНИЕ В ЗОНЕ ПРАВОГО СДВИГА

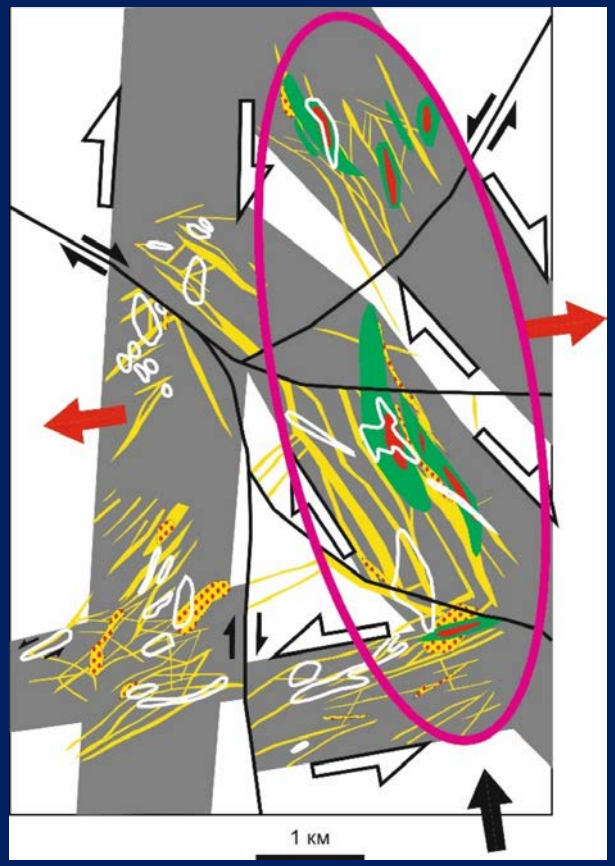


СТАДИИ РАЗВИТИЯ РУДНОЙ СТРУКТУРЫ:

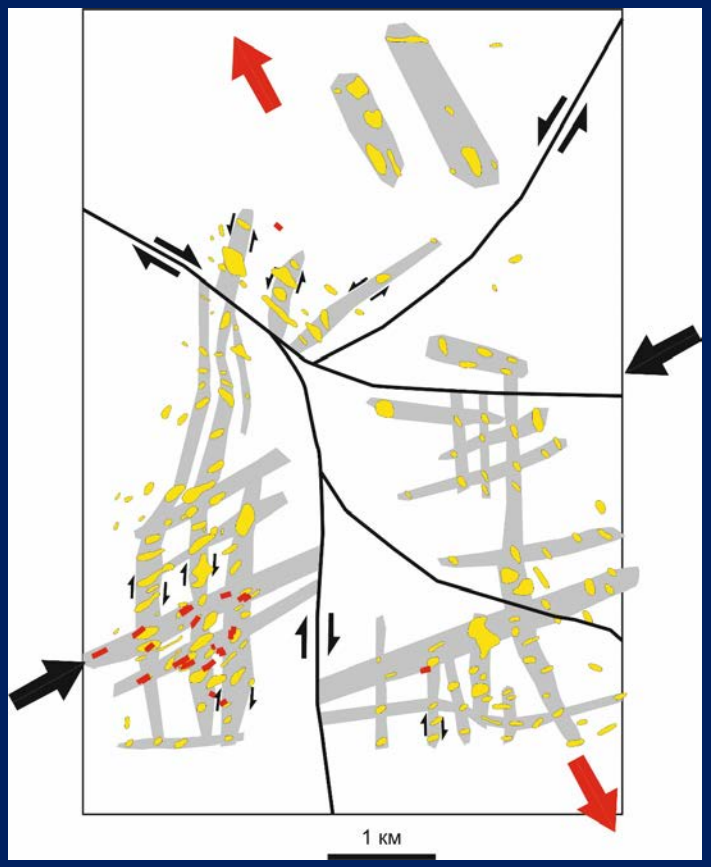
1. **Желтое - Q-Src метасоматиты**
2. **Синее – кварцевые прожилки**
3. **Красное – сульфидные прожилки**

БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА. НАХОДКИНСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ – СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ

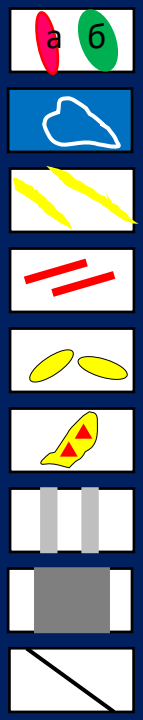
1. «Порфировый» этап



2. Эпитермальный этап

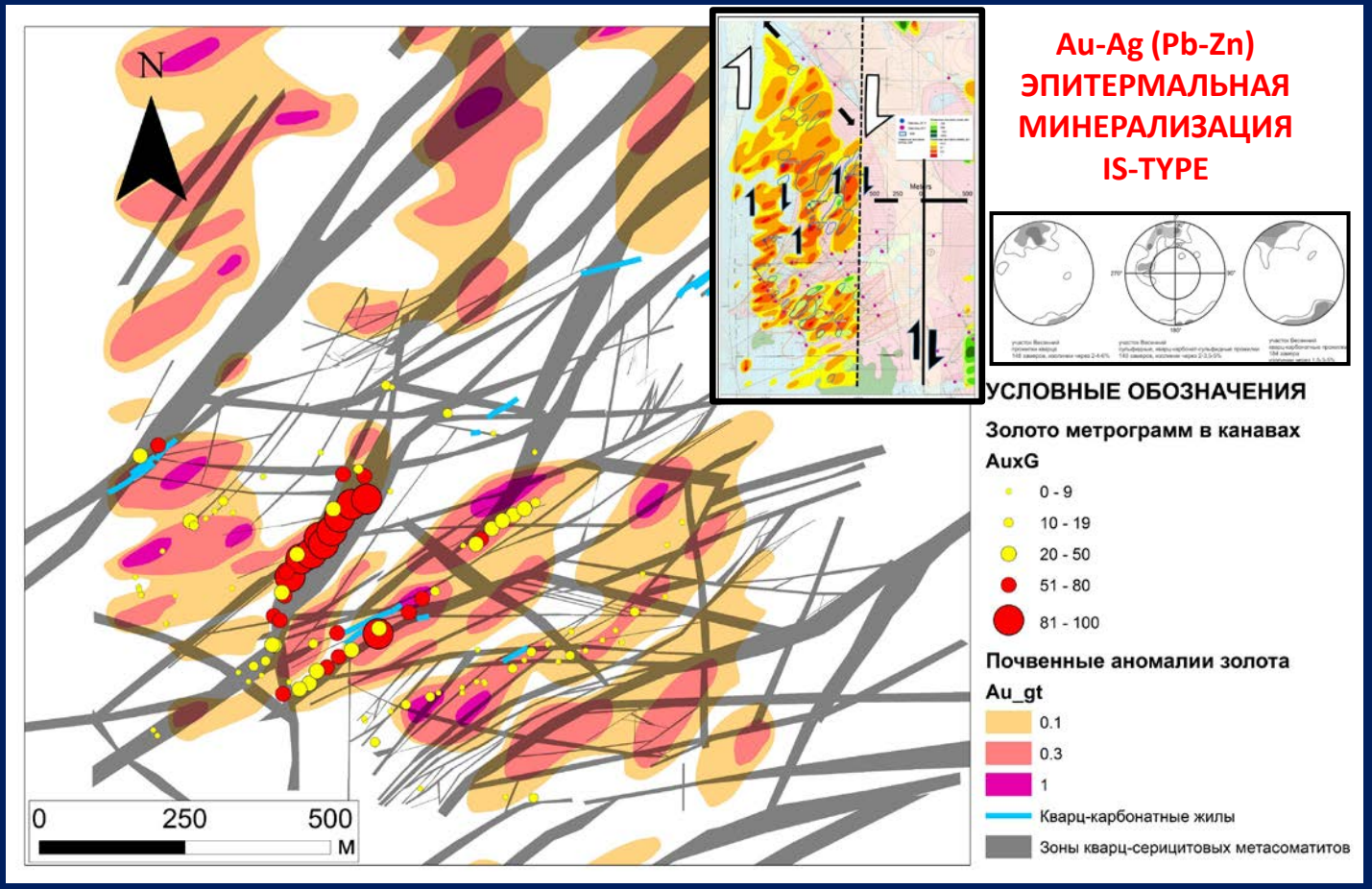


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



- Медно-порфировые руды: а-богатые, б-рядовые
- Ядра кварцевых штокверков (кварца > 5%)
- Кварц-серицитовые зоны с брекчиями и аргиллизитами
- Эпитермальные Au жилы
- Почвенный аномалии золота
- Гидротермальные брекчии
- Зоны концентраций Au аномалий
- Зоны сдвига
- Пострудные разломы

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ СТРУКТУРНЫХ ПЛАНОВ



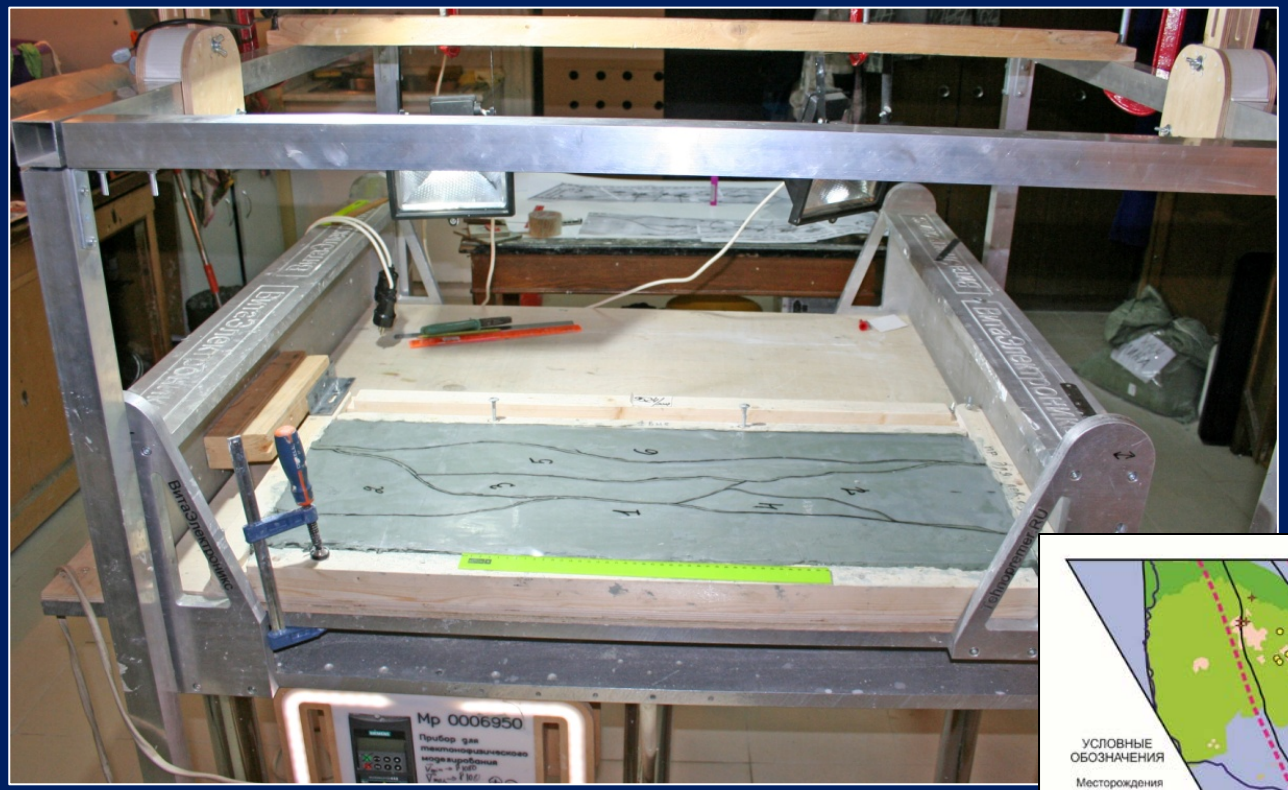
КРУПНОТОННАЖНЫЙ ОБЪЕКТ

РЕСУРСЫ P1+P2
Au > 200 т, Ag > 2000 т

- РУДОНОСНЫЕ КВАРЦ-КАРБОНАТНЫЕ ЖИЛЫ И ЛИНЕЙНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ШТОКВЕРКИ
- СТРУКТУРА МЕДНО-ПОФИРОВОГО ЭТАПА ПЕРЕСЕКАЕТСЯ ЗОЛОТО-РУДНОЙ СТРУКТУРОЙ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЭТАПА
- НАЛОЖЕННЫЕ МЕРИДИОНАЛЬНЫЕ ПРАВОСДВИГОВЫЕ ЗОНЫ С БОГАТОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ

(Читалин и др., 2014)

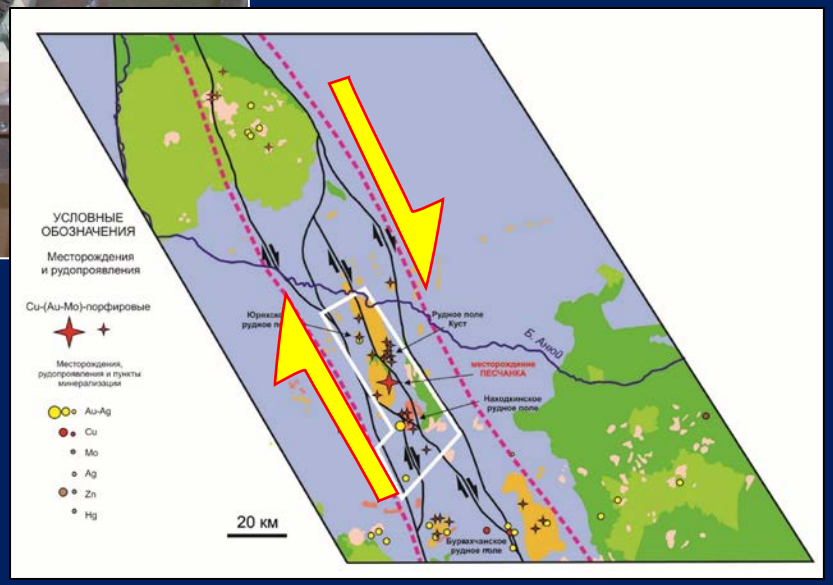
Моделировался правый сдвиг и реверсивный (левый-правый) сдвиг.



Прибор для тектонофизического моделирования в лаборатории тектонофизики геологического факультета МГУ

Проведен 31 эксперимент

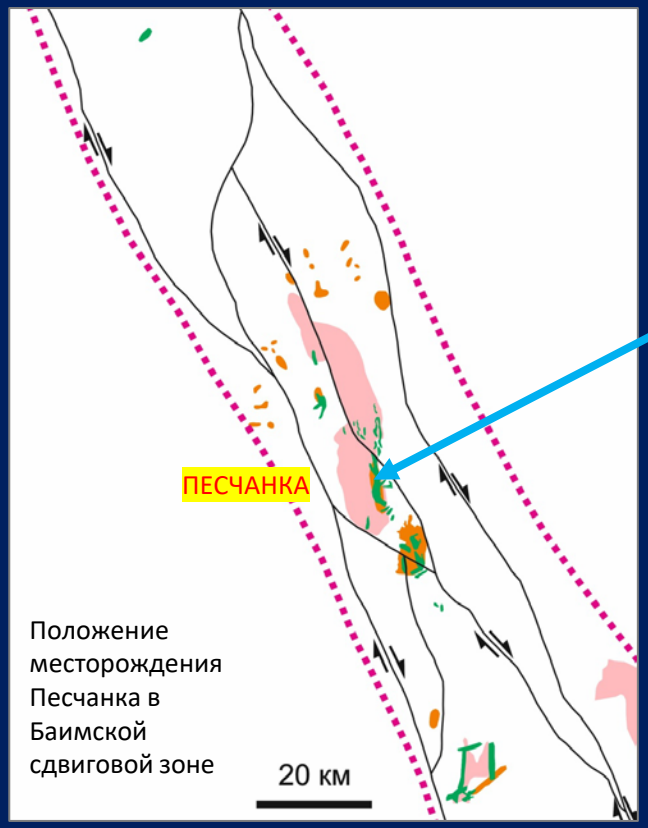
Сдвиговая модель Баимской рудной зоны
(Читалин и др, 2013)



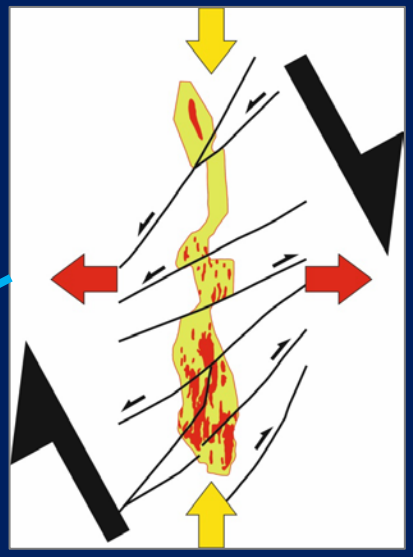
«Физическое аналоговое моделирование рудоносной Баимской сдвиговой зоны Западной Чукотки»
Н.С. Фролова, Т.В. Кара, А.Ф. Читалин (тезисы конференций: Севастополь-2018, Владивосток-2018)

Сдвиговые структуры Баимской зоны - результат реверсивного (левого – правого) сдвига

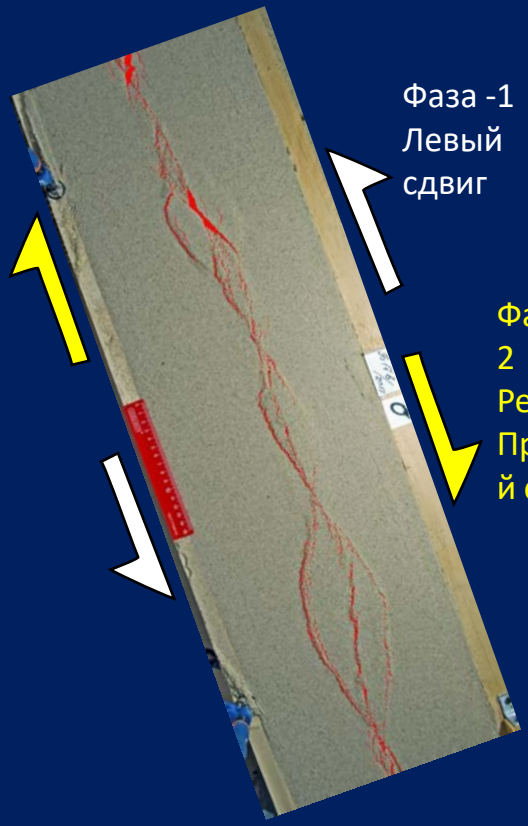
Сдвиги и медно-порфировые штокверки Баимской зоны



Песчанка . Структурная модель рудного штокверка растяжения



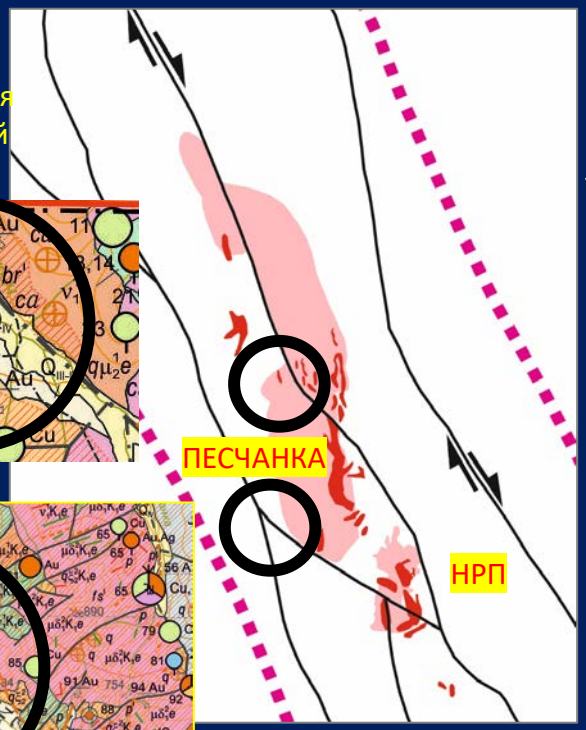
Модель реверсивного сдвига. Дуплексы сжатия и наложенного растяжения



БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА - ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПРОГНОЗ ЛОКАЛЬНЫХ РУДОНОСНЫХ СТРУКТ

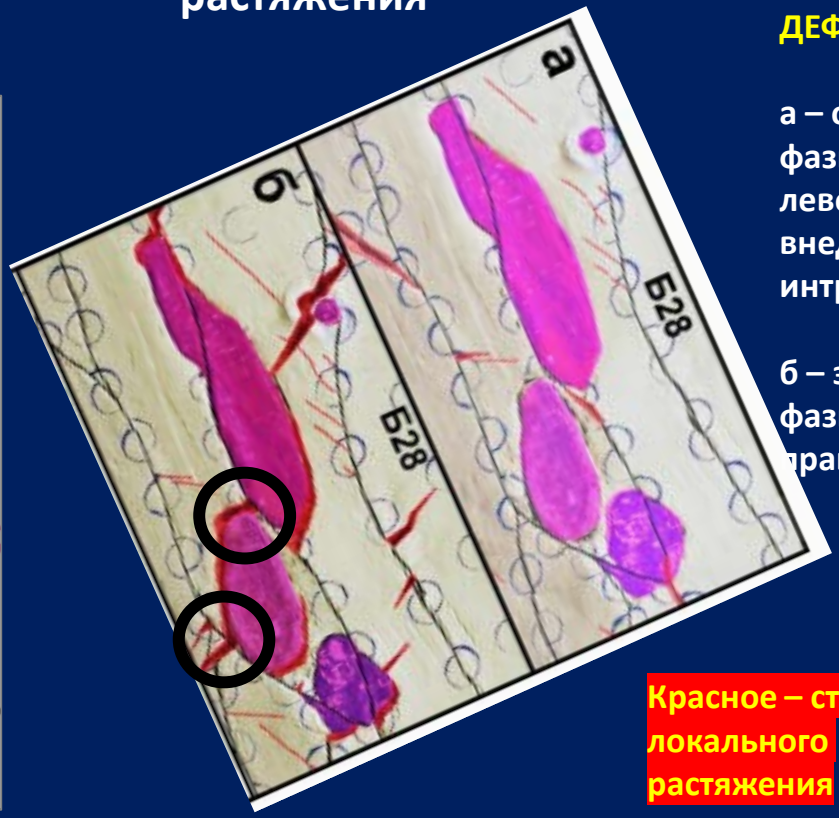
Медные штокверки Баимской сдвиговой зоны

В долине р. Егдыгкыч прогнозируется слепой рудный штокверк



В долине р. Баимка есть предпосылки обнаружения медного штокверка: узел разломов, порфировые штоки, проявления меди и золота

Тектонофизическая модель правого сдвига с интрузиями. Структуры растяжения



ФАЗЫ ДЕФОРМАЦИИ:

а – окончание 1-фазы деформации левого сдвига и внедрение интрузивных тел

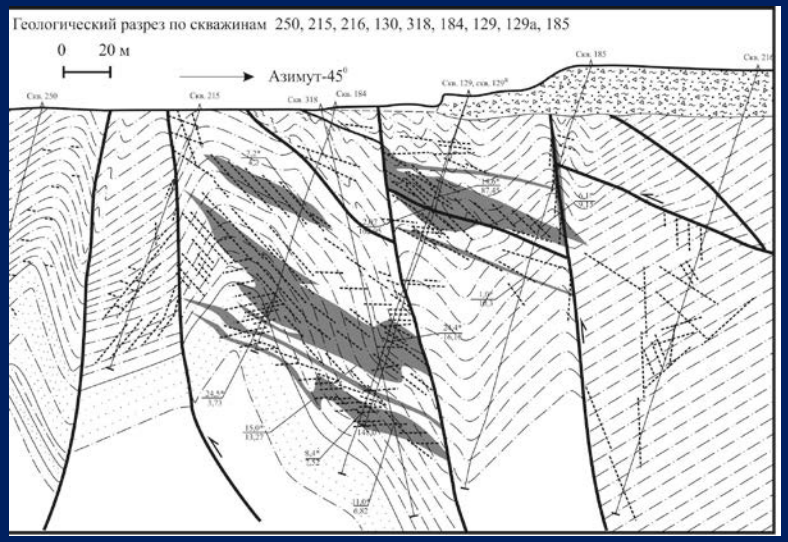
б – завершение 2-фазы деформации правого сдвига

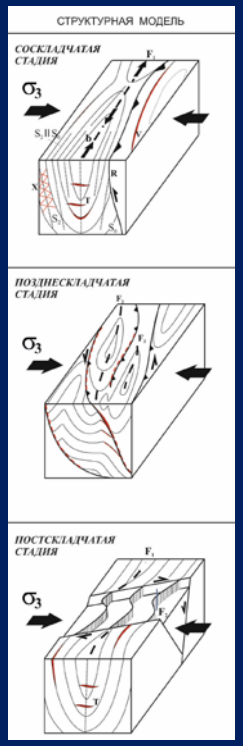
Красное – структуры локального растяжения

ДРАЖНОЕ – СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ

Структурные и минералогические исследования выполнялись независимо специалистами ЦНИГРИ (Аристов и др.) и Санкт-Петербургского госуниверситета (Худолей и др.)

МОДЕЛЬ ЦНИГРИ

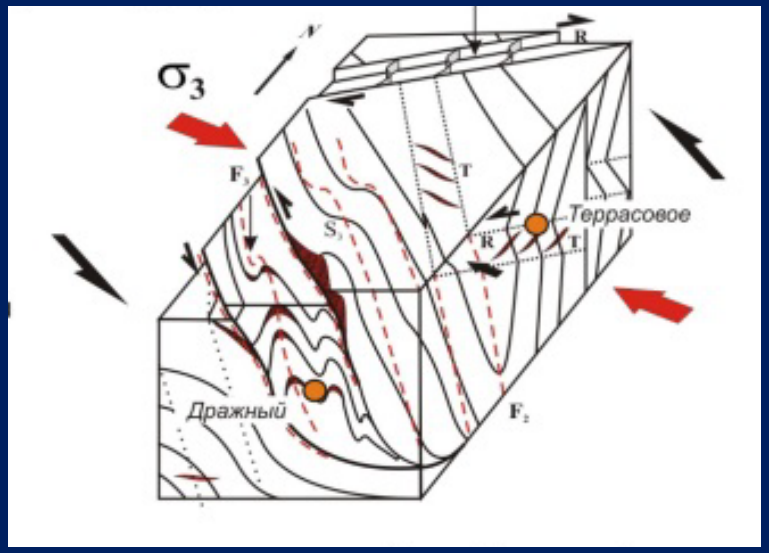




Аристов В.В. и др., 2006, 2010:

Дражный – золотоносные соскладчатые Q-Ca-Sulf жилы и прожилки по субгоризонтальным трещинам отрыва в осевых частях изоклинальных складок-
Серии жил и прожилков сгруппированные в пологие рудные залежи.
Пострудные взбросы, надвиги, сдвиги.

МОДЕЛЬ СПБ-УНИВЕРСИТЕТА

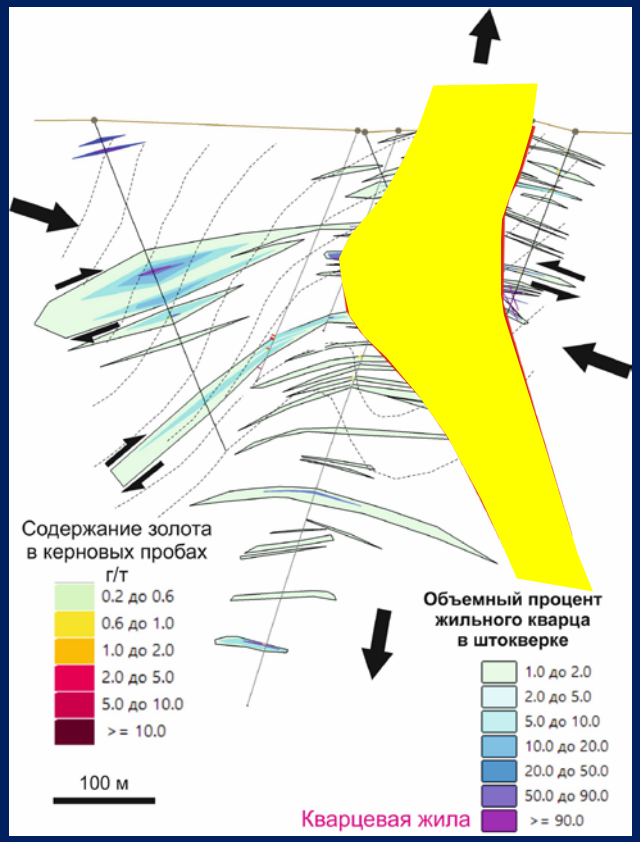


Худолей А.К., Войтенко В.Н., и др., 2010, 2015:

Рудоконтролирующий региональный Адыча-Тарынский левый сдвиг
Дражный – седловидная залежь в замке антиклинали + рудные линзы, оперяющие продольные соскладчатые левые сдвиги
Террасовый – кулисные золотоносные жилы в зоне пологого левого сдвиго-надвига

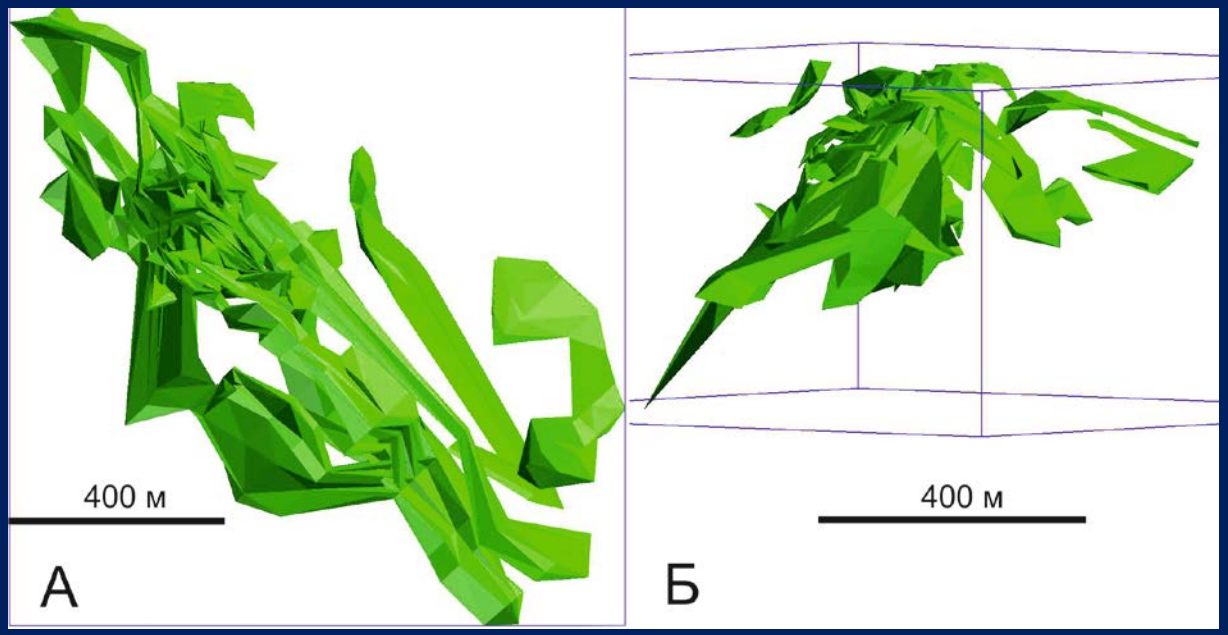
СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ НЕСКОЛЬКО РАЗЛИЧАЮТСЯ

ЗОЛОТОЙ КАНАЛ

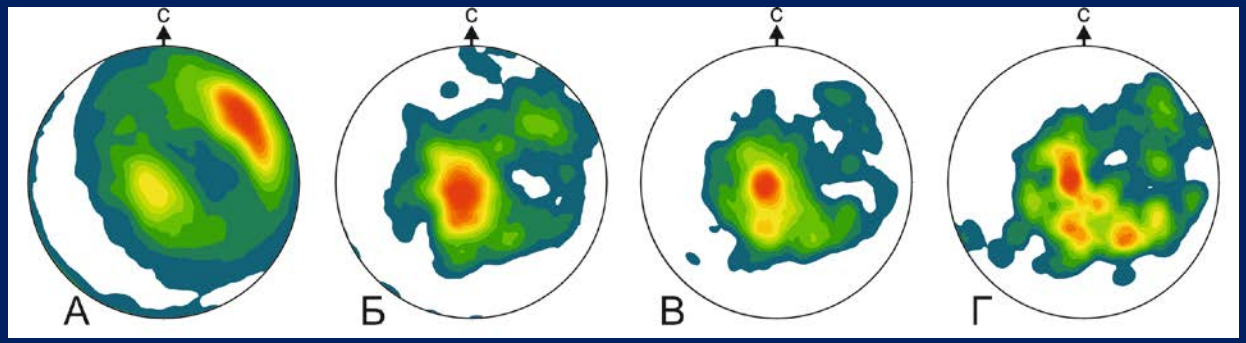


Кинематика постскладчатых рудных штокверков

Объемная модель рудных штокверков (участок Дражный)

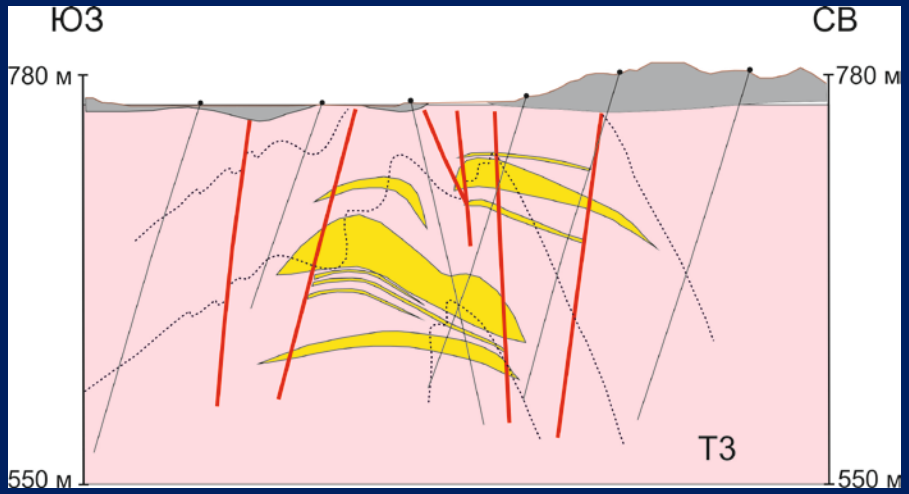


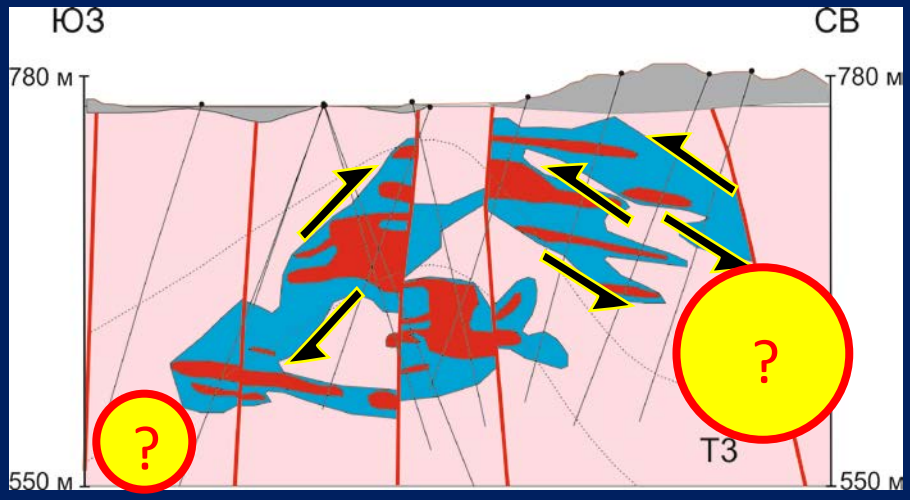
Стереограммы трещин(А) и золотоносных прожилков(Б-Г)



ОРУДЕНЕНИЕ ПОСЛЕСКЛАДЧАТОЕ

Различия в отрисовке рудных залежей и определении их структурной позиции





Рудные залежи 2009 г

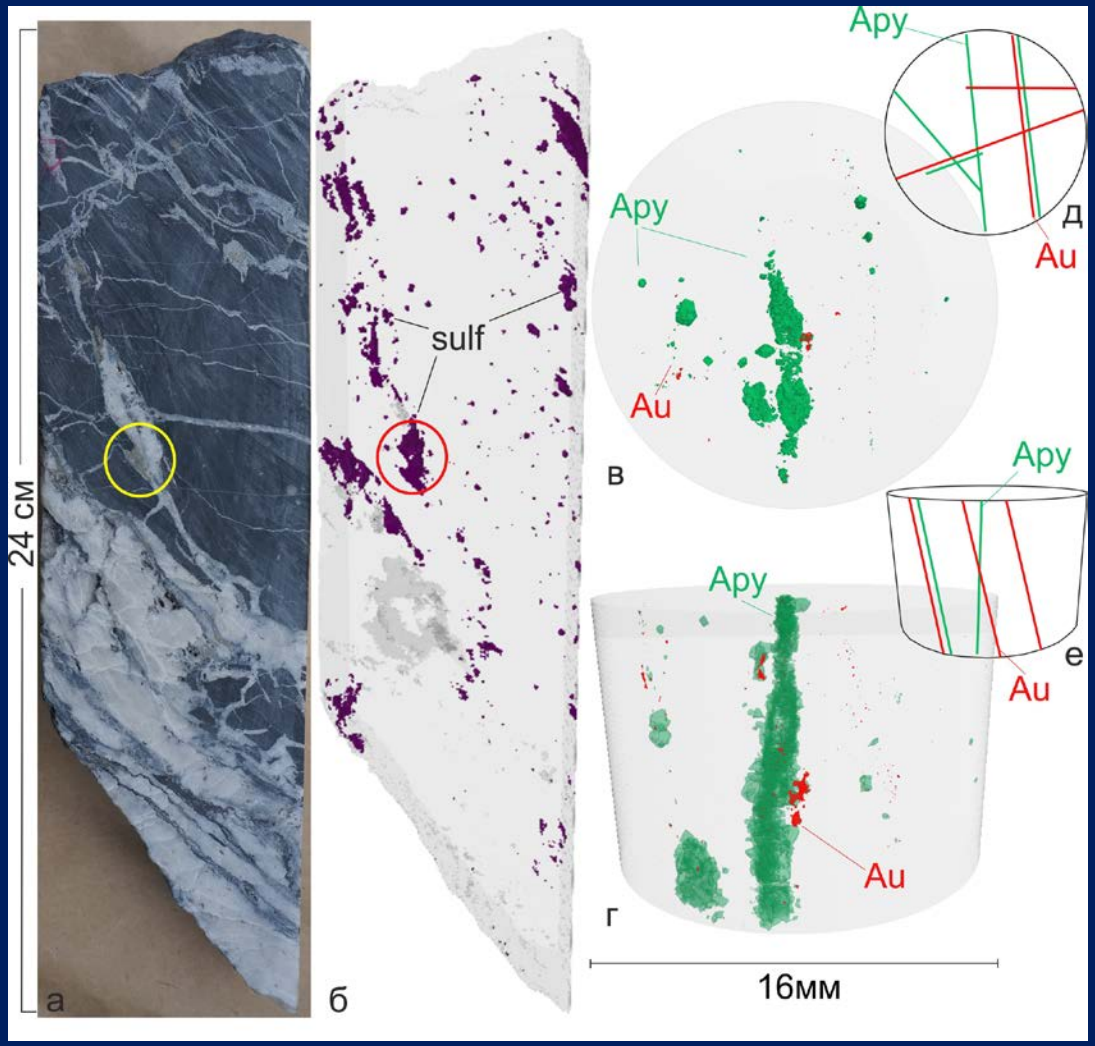
Рудные залежи 2018 г (ИГТ)

Кварцевый штокверк (>5 % кварца)

Простые седловидные рудные залежи в замке антиклинали.
Запасы занижены примерно на 10%

Пологие рудные залежи в структурах растяжения в кварцевых штокверках надвигового типа. Прогноз руды по падению штокверков

ДРАЖНОЕ – ТОМОГРАФИЯ ОРИЕНТИРОВАННОГО КЕРНА



Строение и взаимоотношение рудных прожилков по данным компьютерной томографии и микротомографии:

а – изучаемый образец алевропесчаников с кварцевыми прожилками;

б – распределение сульфидной минерализации (sulf) в образце;

в-г – распределение зерен арсенопирита (Apy) и золота (Au) в цилиндре;

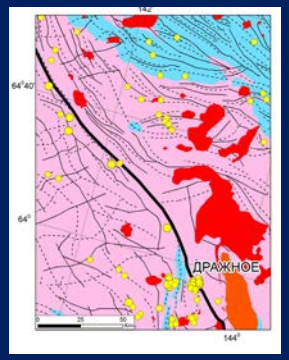
д-е - реконструкция микроструктурных трендов распределения золота (красные линии) и арсенопирита (зеленые линии) в цилиндре.

Поздняя золотоконтролирующая микроструктура не совпадает со структурой более ранней кварцево - сульфидной минерализации.

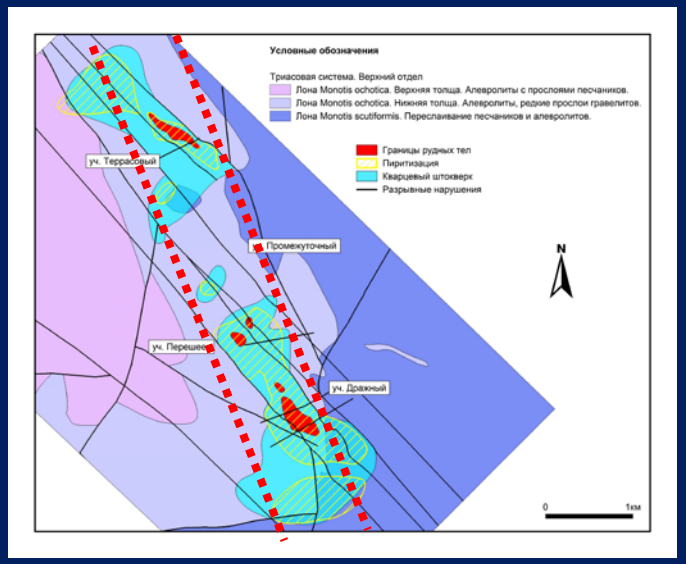
ЗОЛОТО НАЛОЖЕНО НА СФОРМИРОВАННУЮ СТРУКТУРУ ШТОКВЕРКОВ - ???

ДРАЖНОЕ – СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИГТ-2018, ПРОГНОЗ

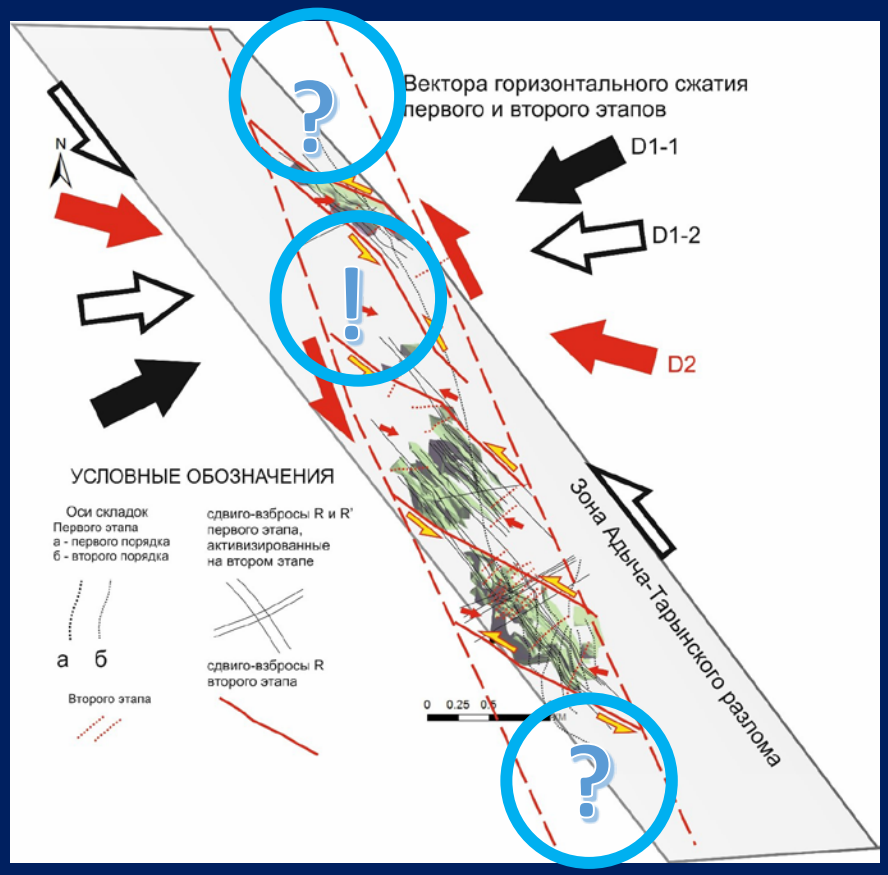
Региональная позиция месторождения



Рудные участки – ареалы кварцевого прожилкования и сульфидизации с вложенными рудными телами

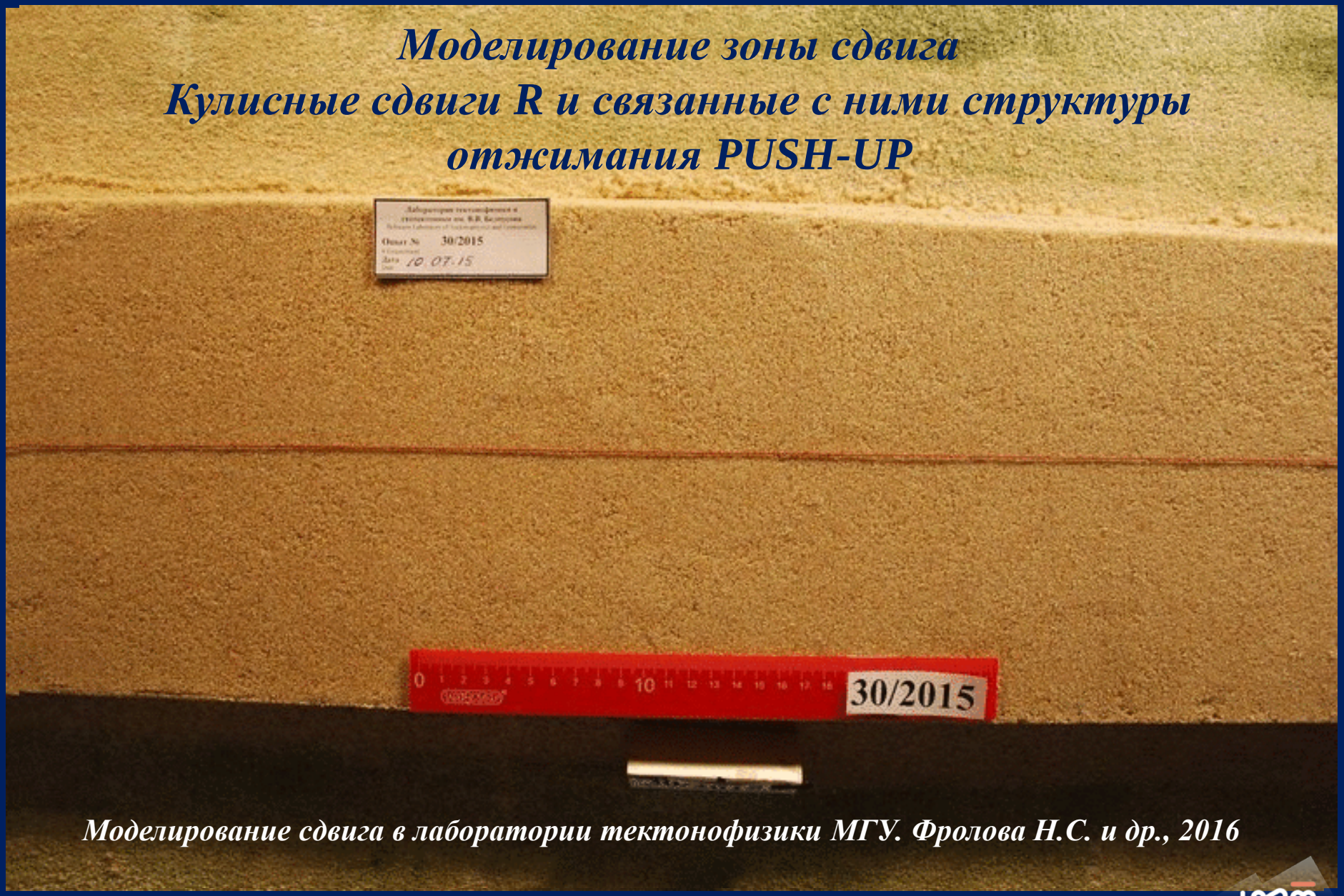


Структурная модель и прогнозируемые рудные штокверки



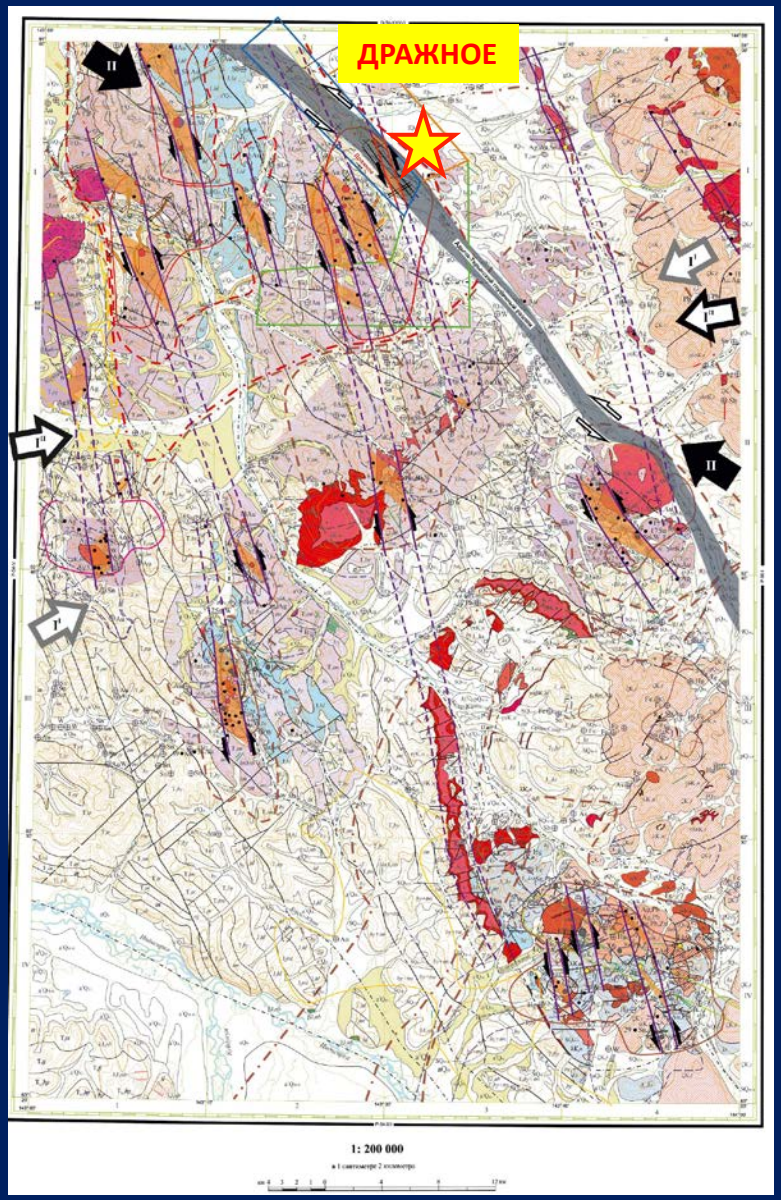
Структурная сдвиговая модель – рудоносные штокверки в структурах отжимания PUSH-UP

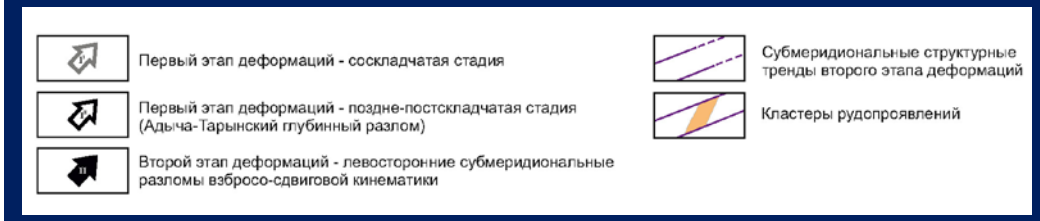
Моделирование зоны сдвига
Кулисные сдвиги R и связанные с ними структуры отжимания PUSH-UP



Моделирование сдвига в лаборатории тектонофизики МГУ. Фролова Н.С. и др., 2016

Структурно – прогнозная схема Тарынского рудного узла





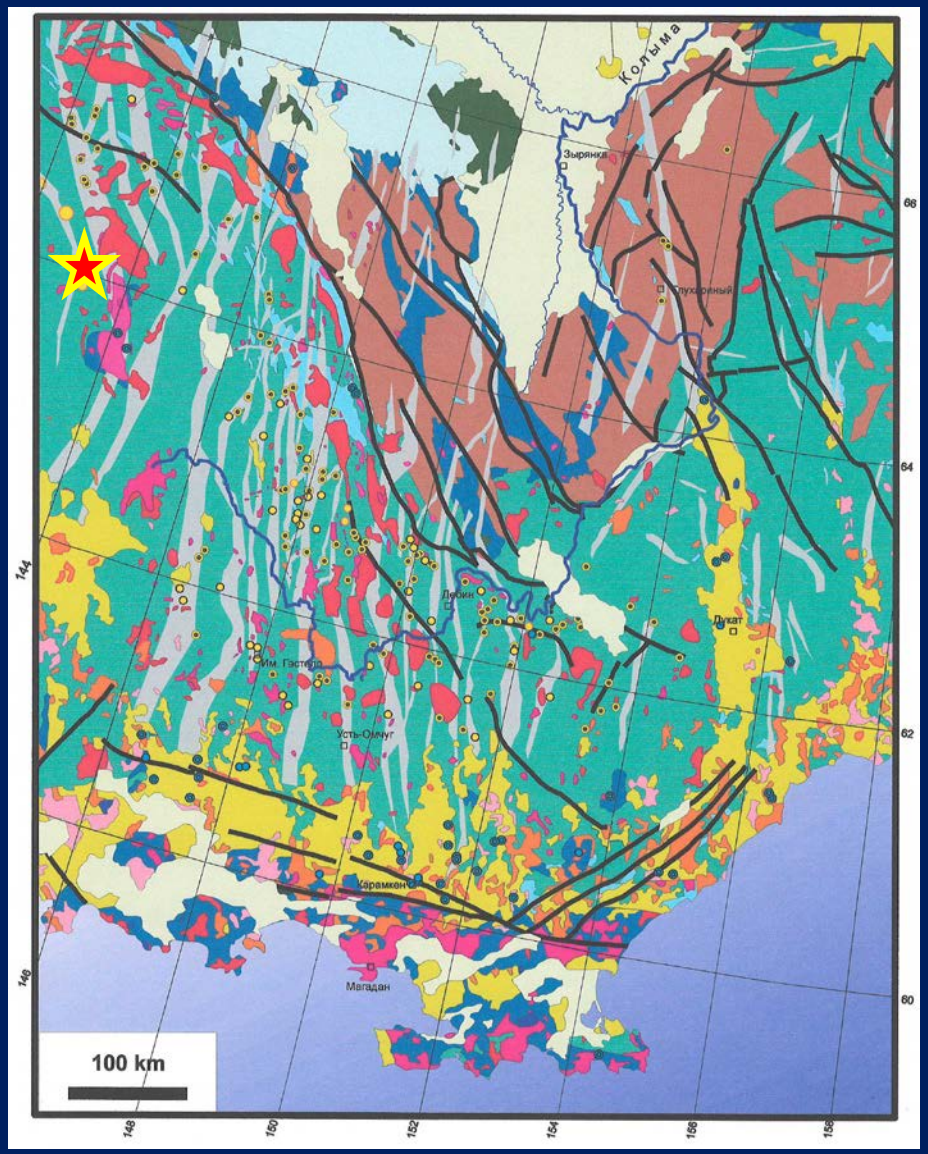
Рудные тренды ССЗ-простирания объединяют кластеры рудопроявлений и пунктов минерализации.

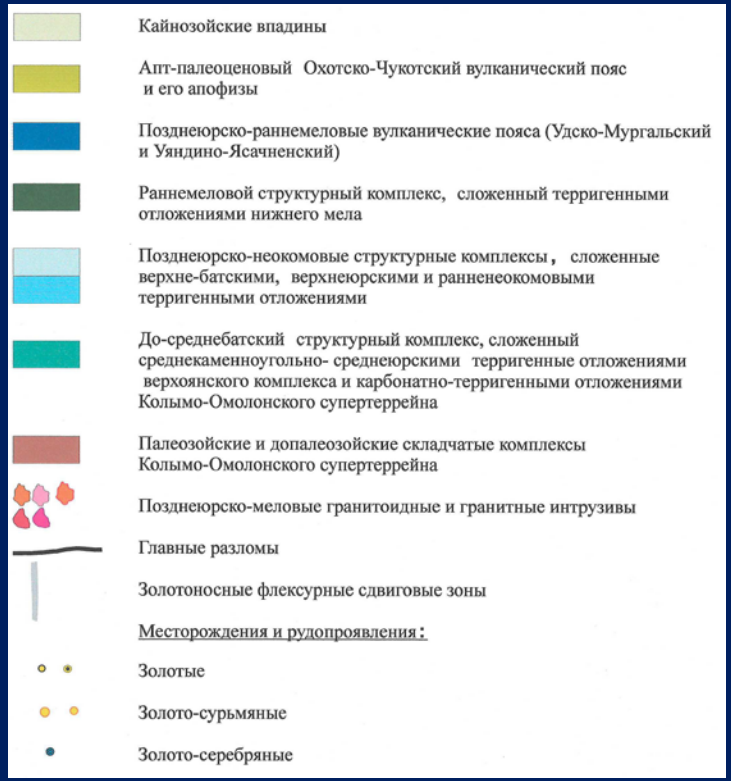
Рудные тренды интерпретируются как зоны левого сдвига, а кластеры рудопроявлений – как локальные структуры локального растяжения (дуплексы ?) в зонах сдвига

В пределах выделенных рудоконтролирующих сдвиговых зон прогнозируются новые рудные объекты – слабо эродированные и перекрытые аллювием в долинах и слепые.

ПОЗИЦИЯ ДРАЖНОГО В СТРУКТУРЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗОЛОТОНОСНЫЕ СДВИГОВЫХ ЗОН

Тектоническая схема и месторождения золота Колымского региона



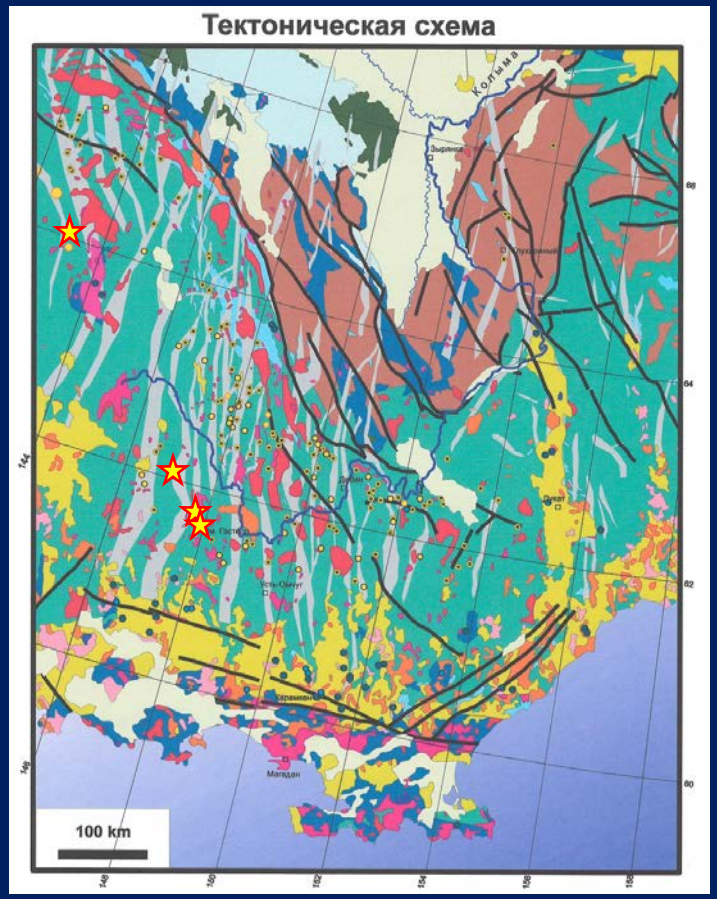


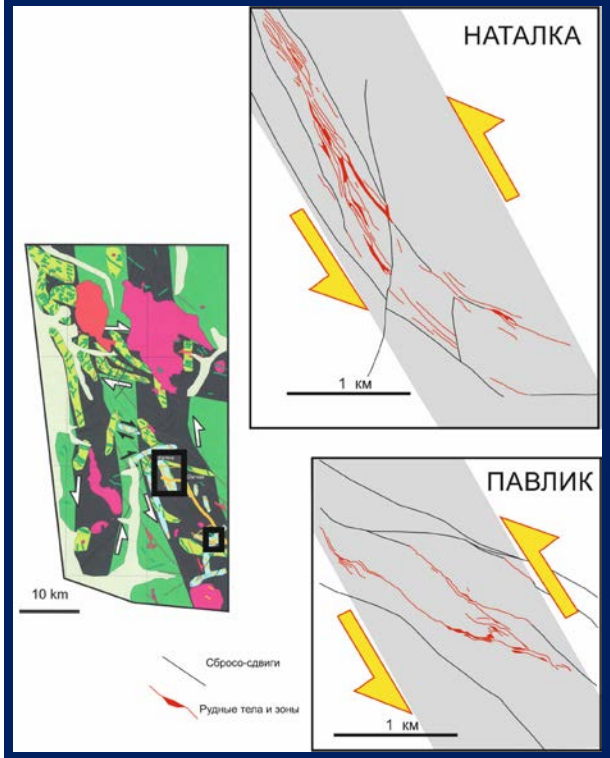
★ ДРАЖНОЕ

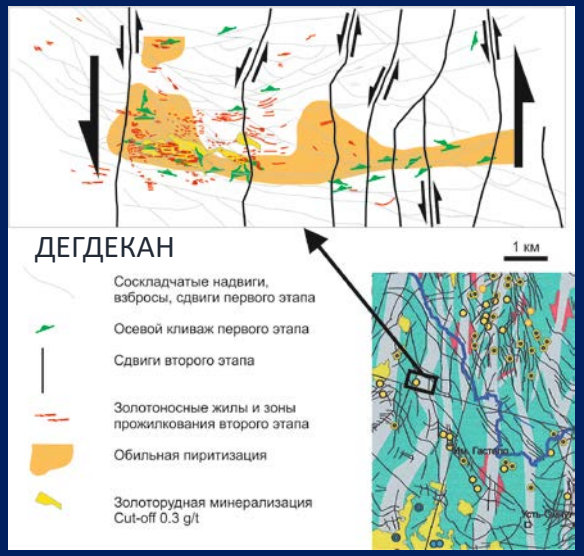
Золотоносные сдвиговые зоны Тарынского узла являются частью структуры золотоносных сдвиговых зон Колымского региона

(Читалин, 2001, 2016)

ЗОЛОТОНОСНЫЕ СДВИГОВЫЕ ЗОНЫ КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА





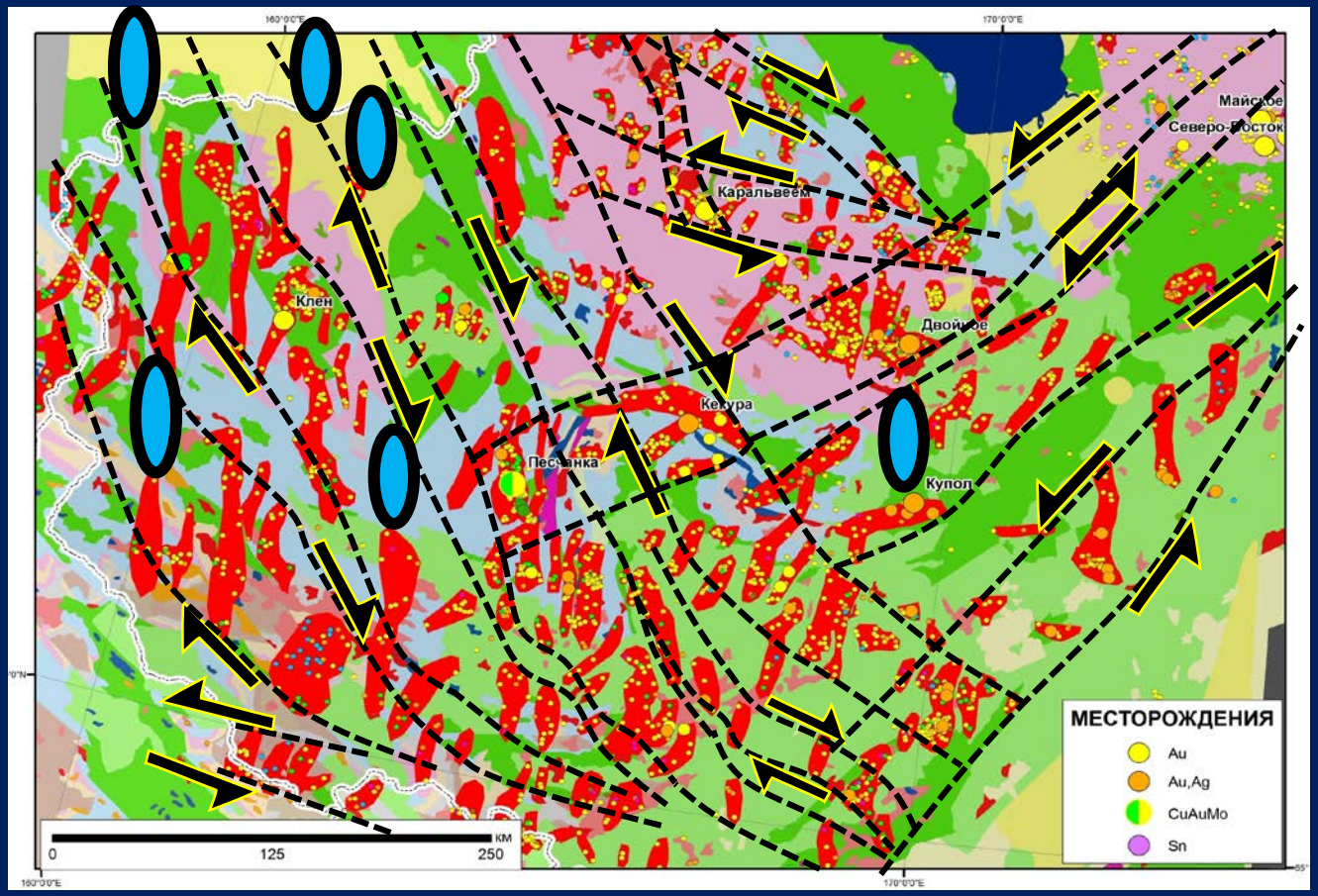


Структурный анализ выполнен на основе:

- **полевых исследований**
- **анализа геологических карт масштаба 1:200 000, 1:50 000**
- **анализа детальных карт и разрезов рудных полей и месторождений из геологических отчетов, структурных схем и зарисовок обнажений из публикаций**

(*Читалин, 2001, 2016*)

РУДОНОСНЫЕ ЗОНЫ РАСТЯЖЕНИЯ И СДВИГА ЗАПАДНОЙ ЧУКОТКИ



Преобладают субмеридиональные рудные тренды – локальные структуры растяжения в сопряженных региональных сдвиговых зонах
(Читалин и др., 2017)

Прогнозируемые рудные кластеры

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ – НАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ:

ФАКТЫ > АНАЛИЗ > СИНТЕЗ > ИНТЕРПРЕТАЦИЯ > ВЫВОДЫ > ПРОГНОЗ

ОСТОРОЖНО С АНАЛОГИЯМИ !

«ГЕОЛОГ ДОЛЖЕН ЗНАТЬ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,

НО КОГДА ИЗУЧАЕТСЯ РУДНЫЙ ОБЪЕКТ – ЗАБУДЬТЕ О МОДЕЛЯХ»

Noel C. White - известный эксперт-геолог, главный геолог BHP (1997)
из курса лекций «Models of Ore Deposits»

Структурный анализ – необходимый инструмент при поисках и разведке рудных месторождений

Спасибо за внимание !