Поисковые геолого-структурные модели для выбора лучших участков для поисков рудных месторождений (геологическое таргетирование)

Читалин А.Ф.
ООО «Институт геотехнологий»

2023 г

СОЗДАНИЕ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ

- Назначение геолого-структурной модели; 2D и 3D модели

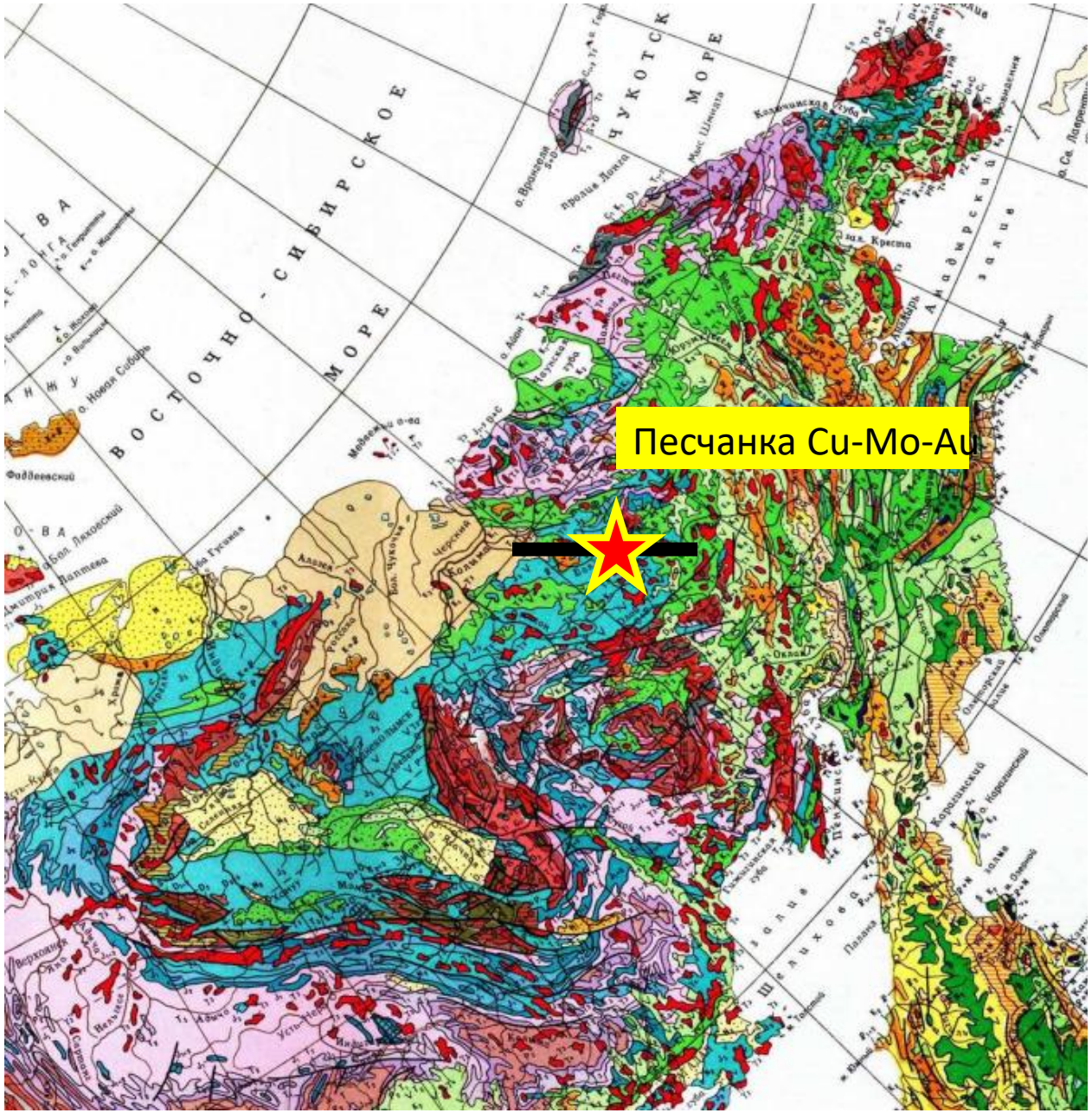
- ОСНОВА ПОИСКОВОЙ МОДЕЛИ
- Морфология и кинематика рудоносных структур
- Прогноз структурных ловушек

- Последовательность разработки геолого-структурной модели

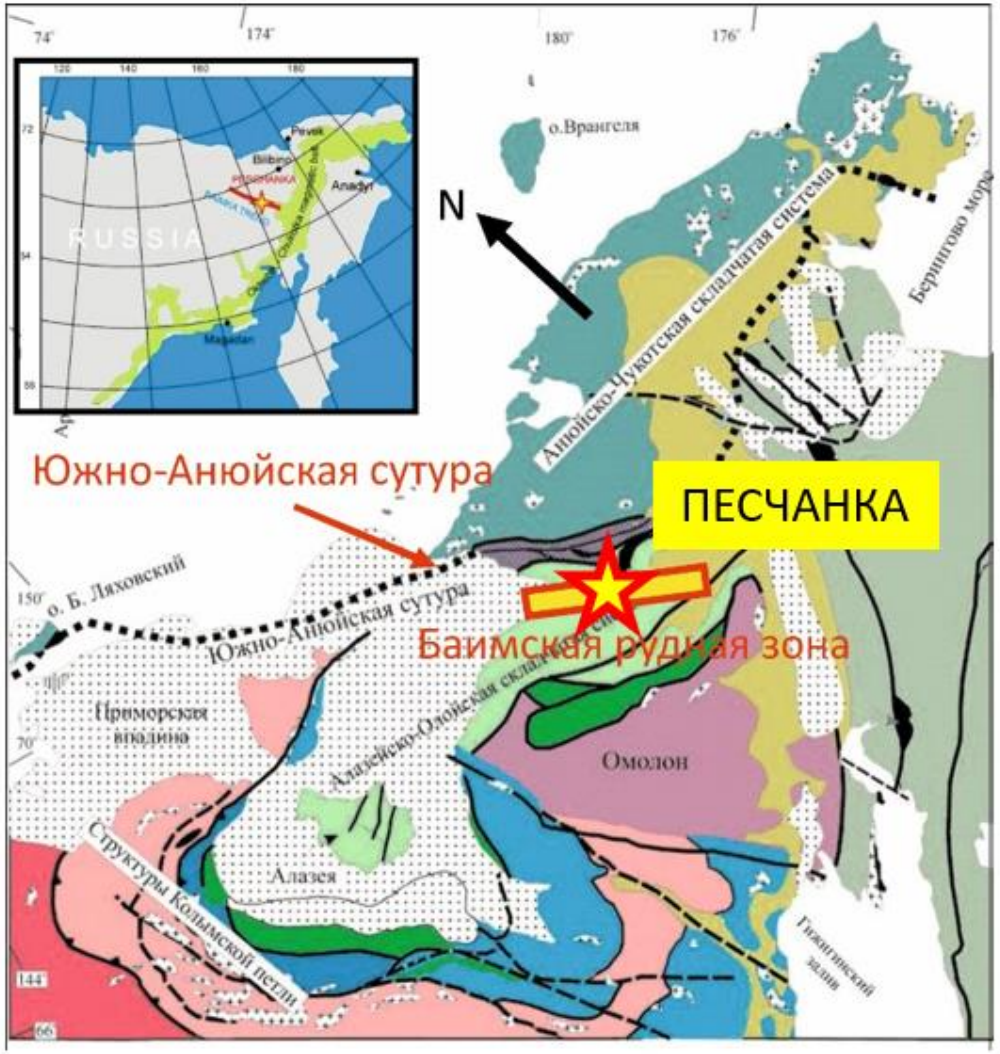
(*на примерах изученных специалистами ИГТ медно-порфировых и золоторудных месторождений и рудоносных структур*):

- полевое геолого-структурное картирование, анализ и интерпретация структурных данных
- уточнение полевой модели по данным лабораторных структурных исследований и вспомогательных методов структурного анализа
- комплексный анализ различных и разномасштабных структурных данных
- использование аналоговых тектонофизических моделей
- выделение структурных ловушек: трендов минерализации, структур растяжения и сжатия, дуплексов
- прогноз рудоносных структур, скрытого оруденения на основе модели

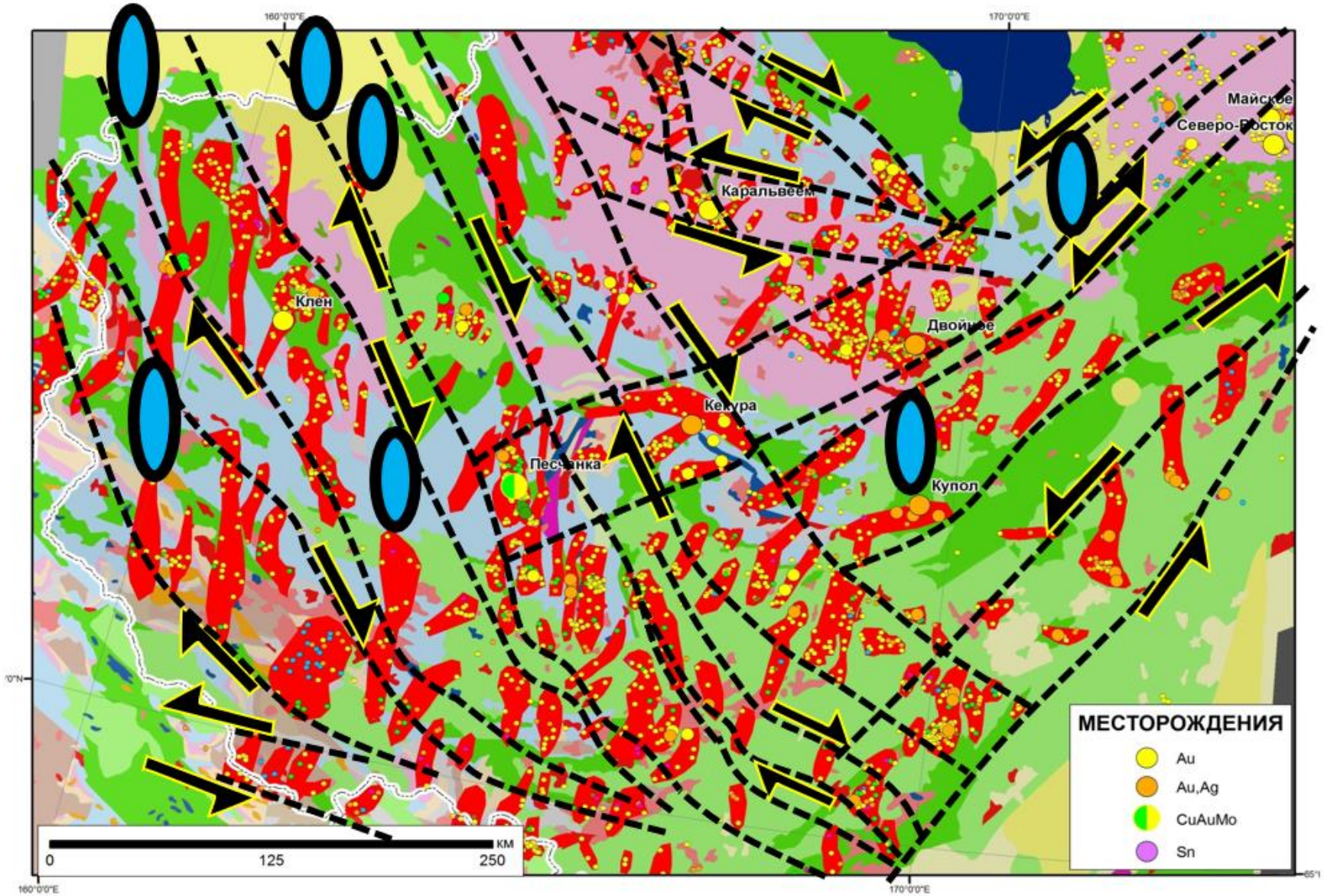
БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА (БРЗ) В РЕГИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ЧУКОТКИ



БРЗ принадлежит Алазейско-Олойской складчатой системе Верхоянско-Колымского складчатого пояса и протягивается параллельно Южно-Анюйской сутуре



ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА
РЕГИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ТРЕНДОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
ПРОГНОЗ РУДНЫХ КЛАСТЕРОВ

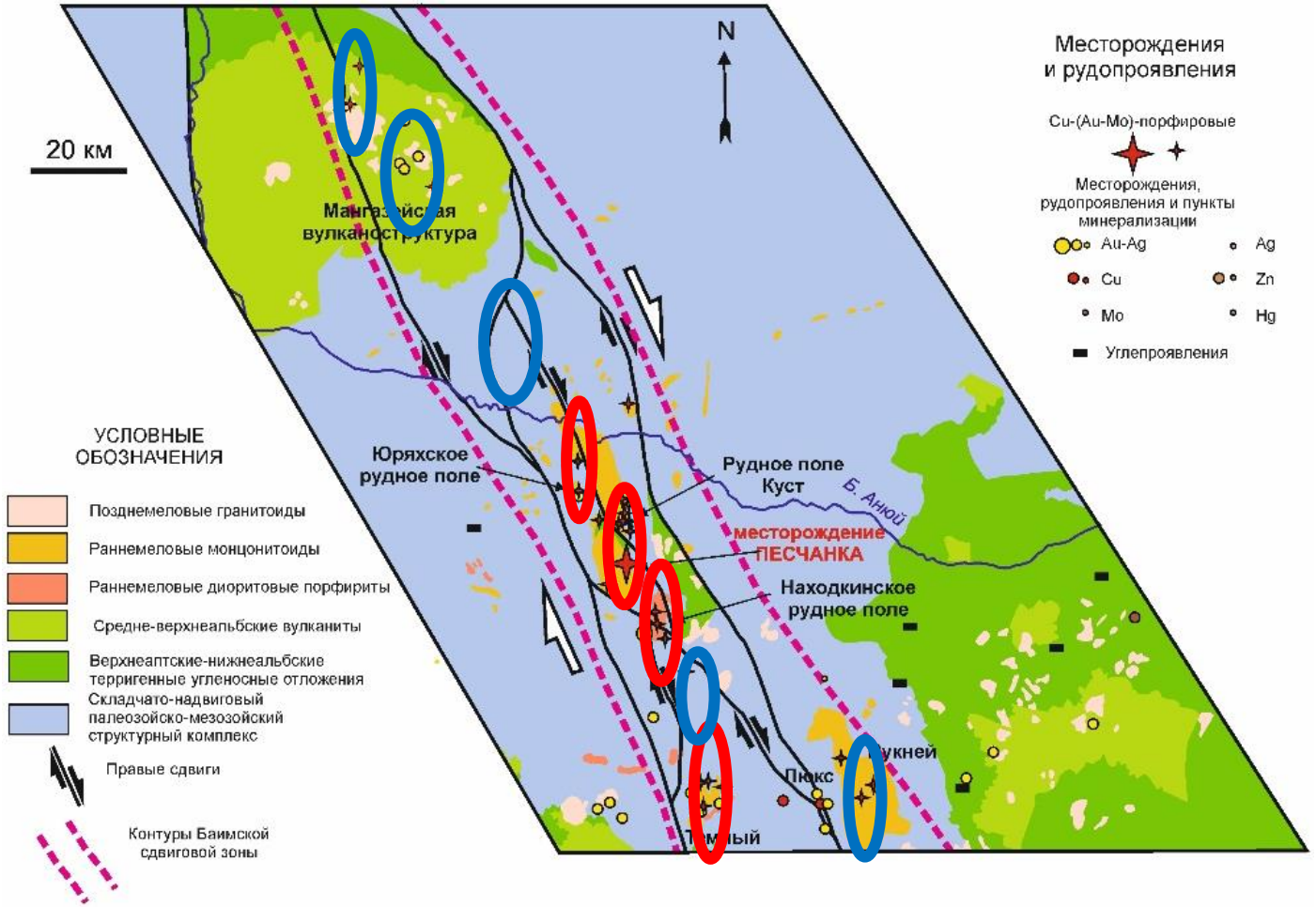


РУДОНОСНЫЕ ЗОНЫ РАСТЯЖЕНИЯ И СДВИГА – ПОИСКОВЫЕ КОРИДОРЫ И УЗЛЫ

Преобладают субмеридиональные тренды минерализации – локальные структуры растяжения в сопряженных региональных сдвиговых зонах

Прогнозируемые рудные кластеры

ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА. БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА. СРЕДНЕМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗ РУДНЫХ ШТОКВЕРКОВ



Баимская сдвиговая зона была выделена при анализе геологической карты масштаба 1:500 000 *(Читалин и др, 2013)*

Линейные интрузивные штоки, медно-порфировые и золотосеребряные штокверки контролируются локальными структурами растяжения в правосдвиговой зоне

Прогноз линейных штокверков с учетом структурного шага и полевых признаков

Рудные штокверки

Прогнозируемые рудные штокверки

Баимская рудная зона – региональный правый сдвиг

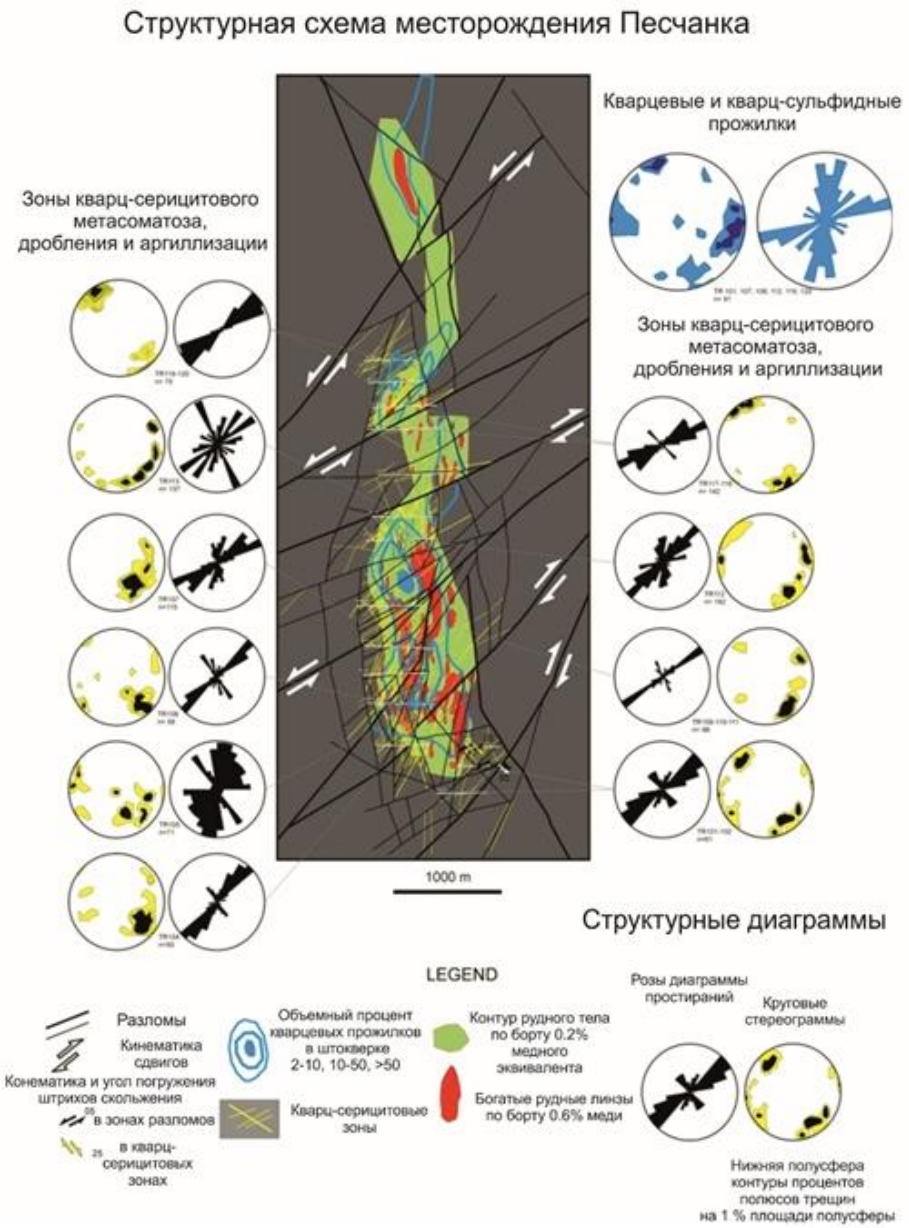
Продольные правые сдвиги R

Поперечные левые сдвиги R’

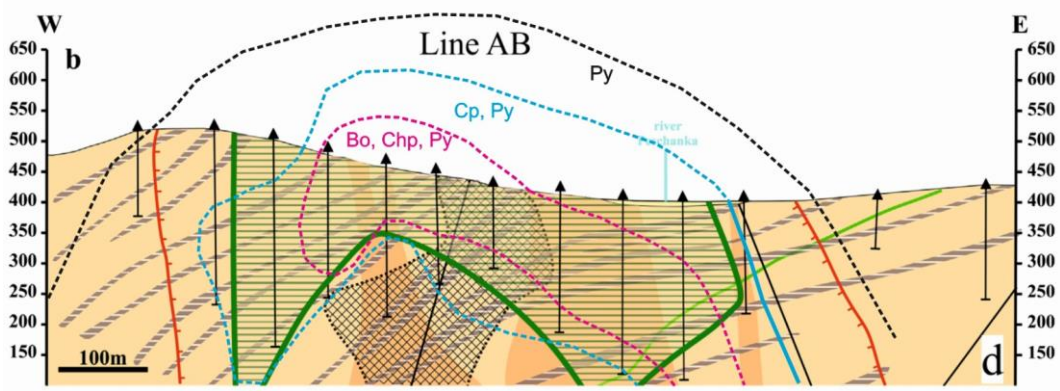
Меридиональные структуры растяжения – порфировые интрузии и рудные штокверки

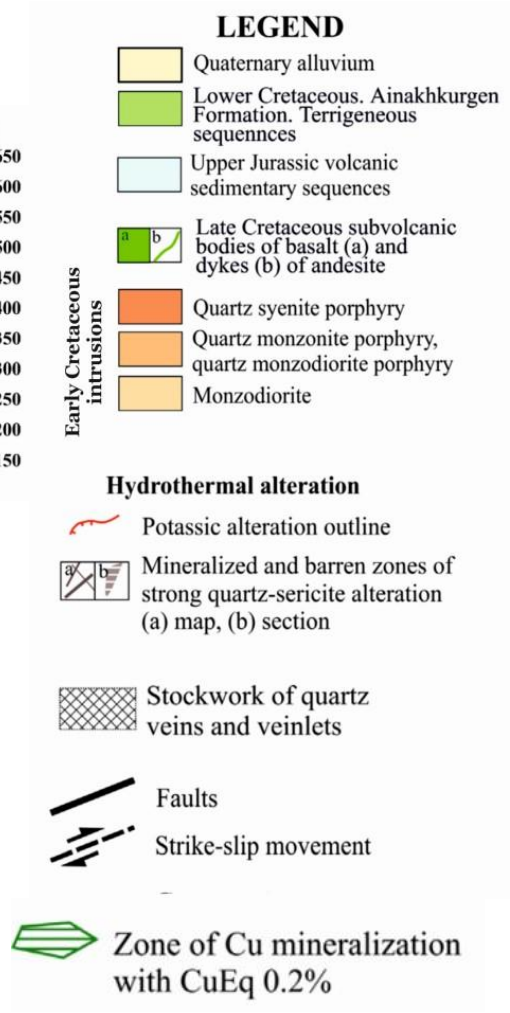
МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПЕСЧАНКА. СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ. ПРОГНОЗ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Месторождение Песчанка – полихронный штокверк



Геологический разрез Главного штокверка



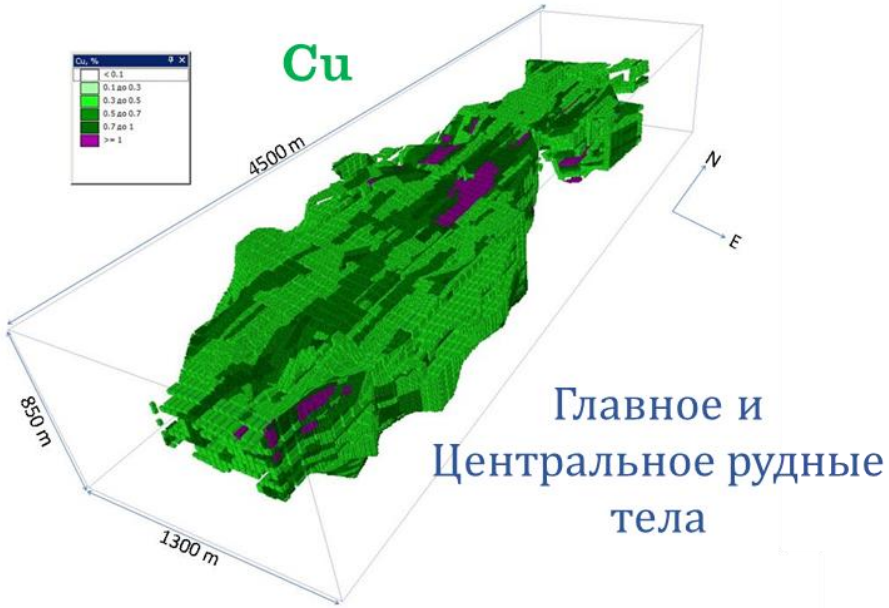


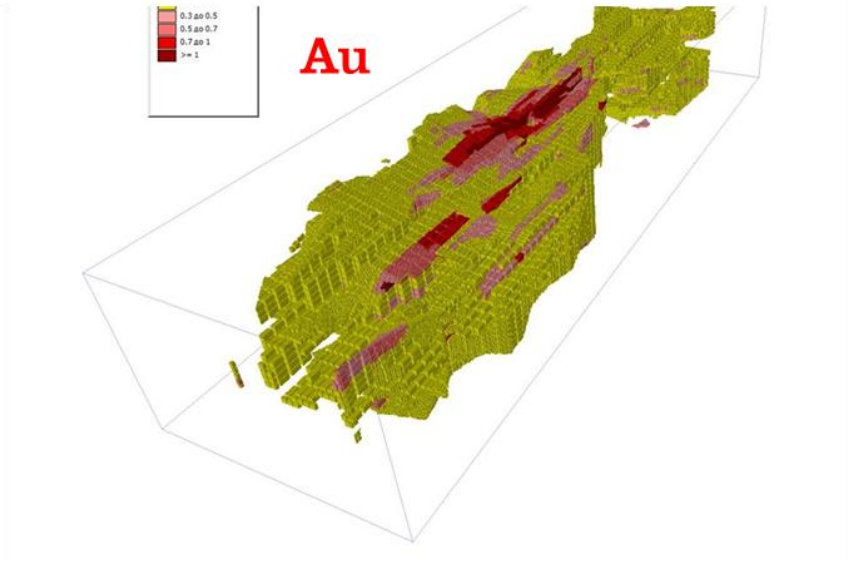
- Сульфидная минерализация наложена на зоны кварц-серицитового метасоматоза и на кварцевый штокверк – она более поздняя
- Кварцевый штокверк в верхней своей части минерализован сульфидами (в контуре рудного тела), в нижней части – пустой
- Кварц-серицитовые зоны в ядре месторождения содержат сульфиды меди (борнит, халькопирит), а на флангах они-пиритовые или не содержат рудных минералов

(Chitalin et al., 2012, 2021)

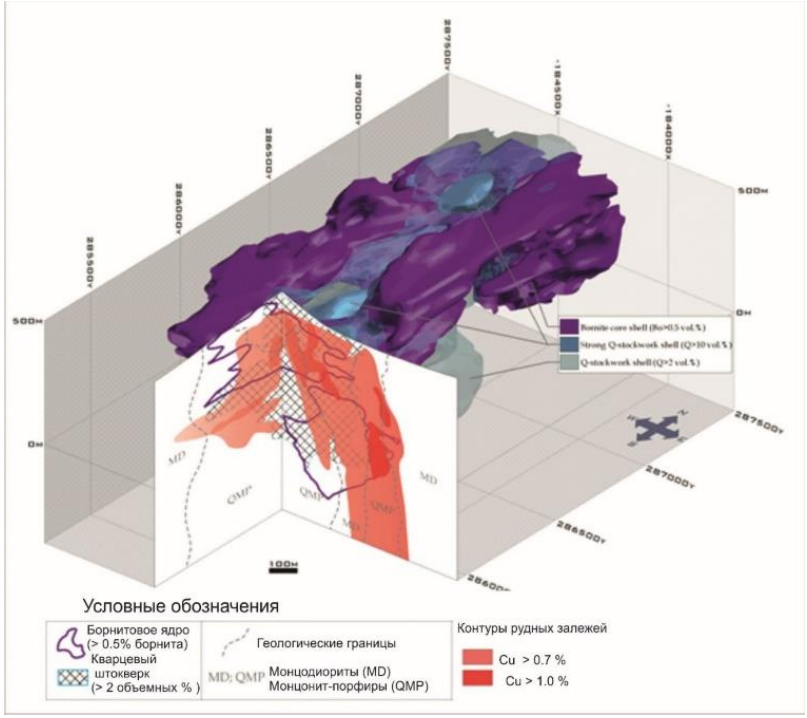
Месторождение Песчанка – 3-D модели (2010 г.)

3-D Блочные модели запасов меди и золота

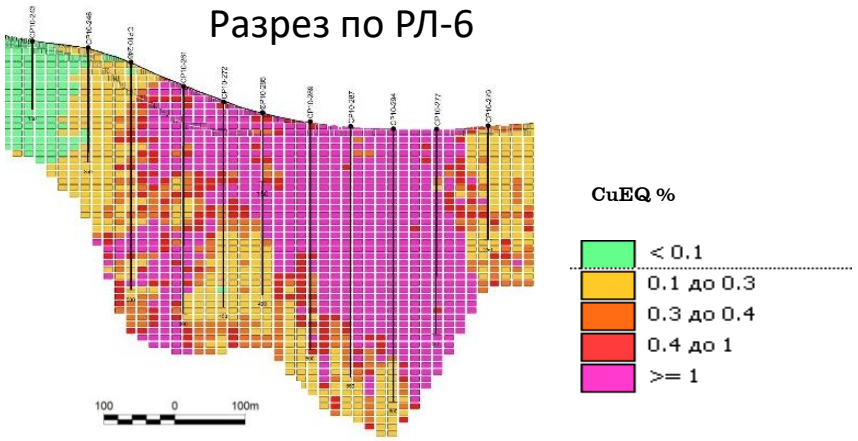




3-D модель кварц-борнитового штокверка



Разрез по РЛ-6



- Кулисные меридиональные линейные участки богатой Cu-Au минерализации – локальные структуры растяжения в зоне сдвига

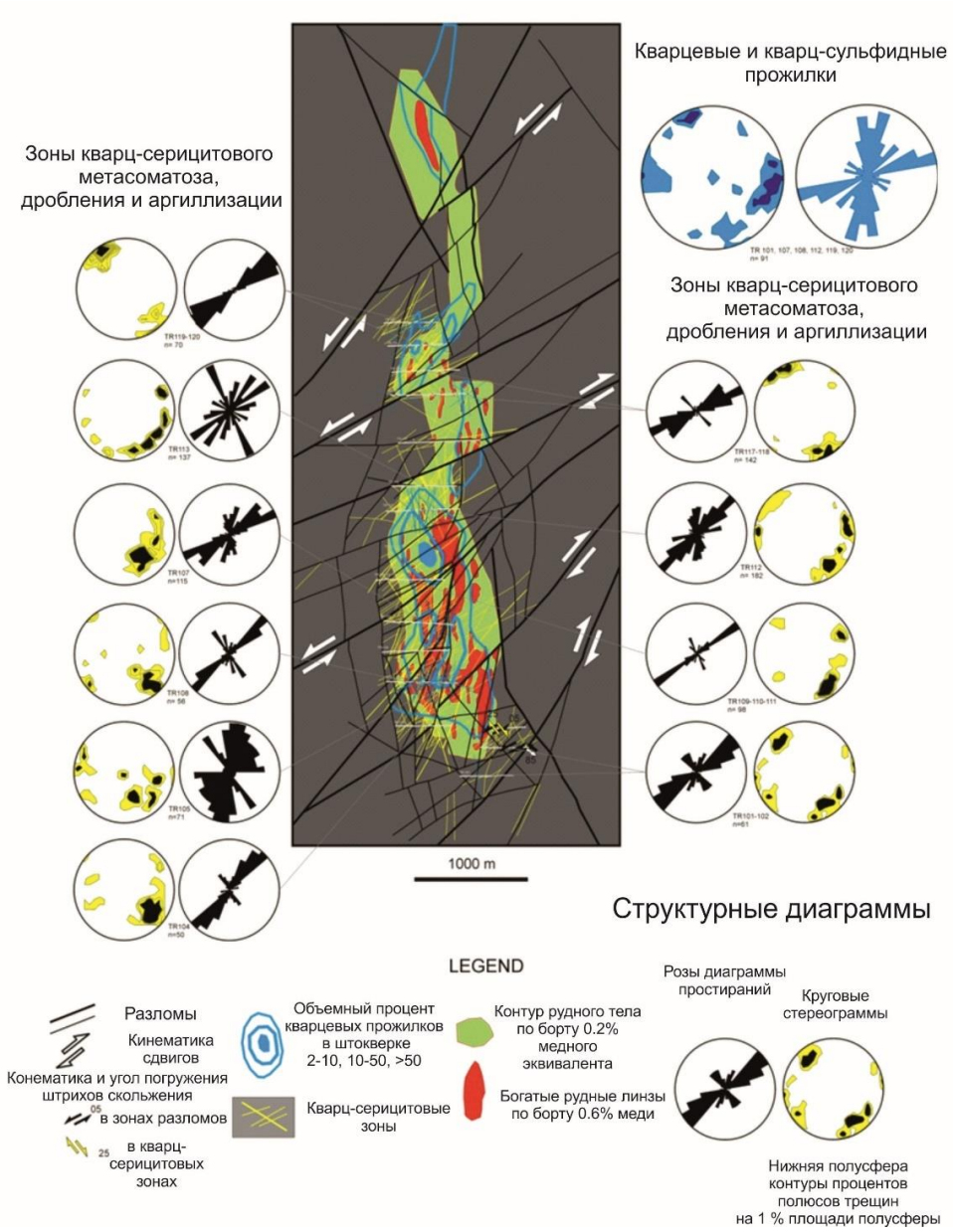
- Богатая борнитовая минерализация тяготеет к краевой части кварцевого штокверка (2-5% кварца)

- Ядерная часть кварцевого штокверка (5-20 % кварца) слабо минерализована

(Chitalin et al., 2012)

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПЕСЧАНКА – СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ (2012)

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МЕСТОРОЖДЕНИЯ И СТЕРЕОГРАММЫ РУДНЫХ ПРОЖИЛКОВ



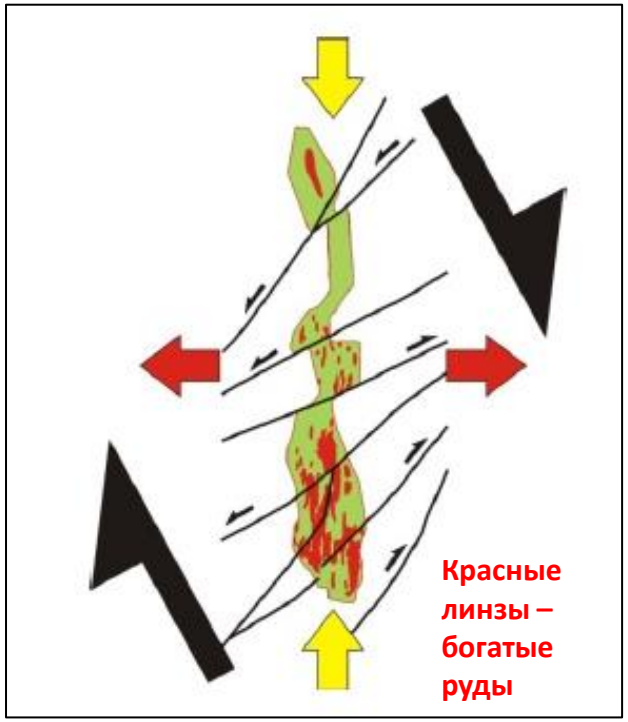
СТРУКТУРА РУДНОГО ШТОКВЕРКА

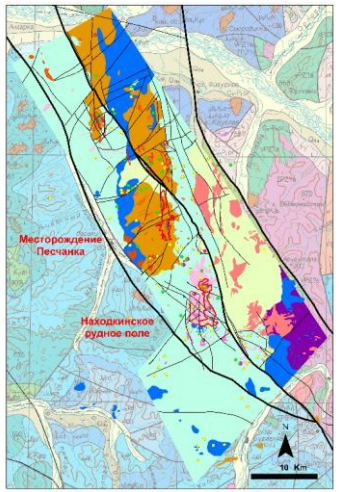
СТАДИИ РАЗВИТИЯ ШТОКВЕРКА

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

Рудные штокверки – кулисные линейные структуры локального растяжения в зоне правого сдвига

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО ШТОКВЕРКА ПЕСЧАНКИ – СТРУКТУРА РАСТЯЖЕНИЯ В ЗОНЕ ПРАВОГО СДВИГА

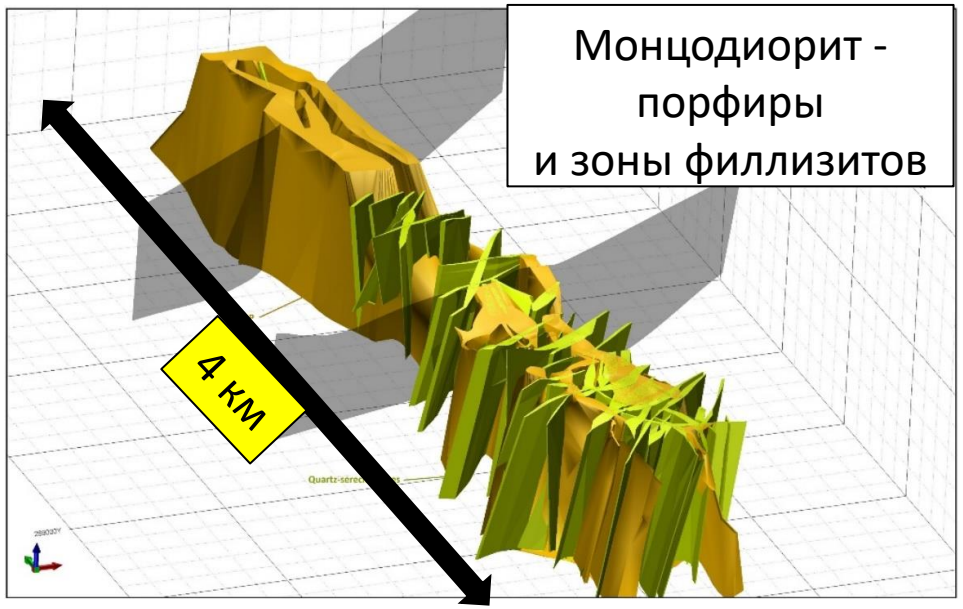


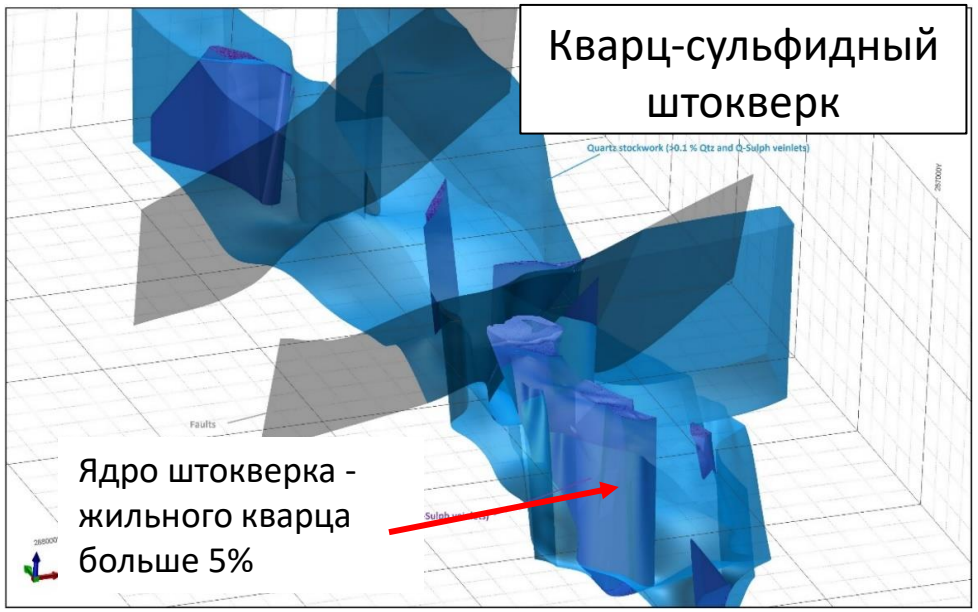


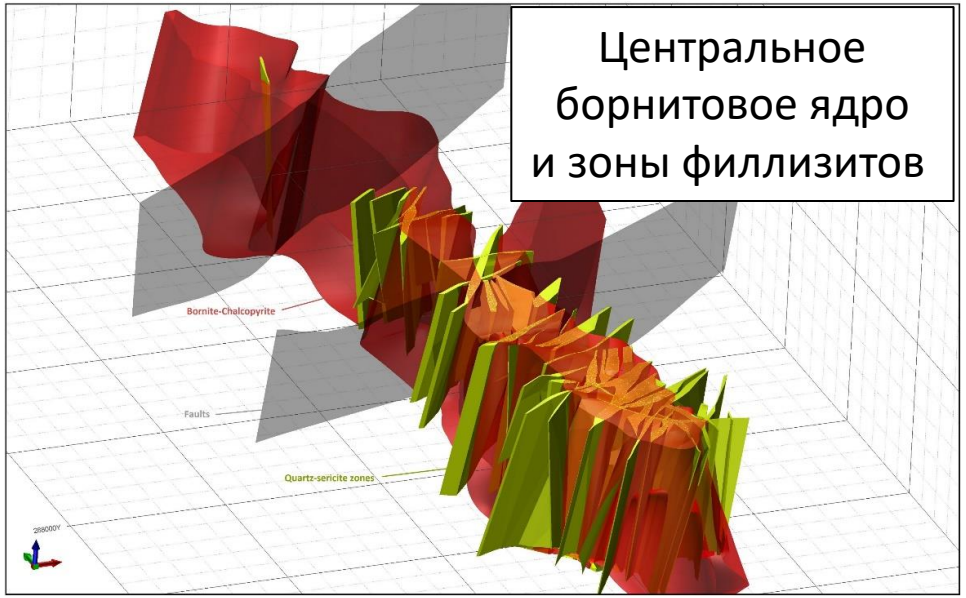
(Chitalin et al, 2012)

Месторождение Песчанка – 3-D геологическая модель (2015 г.)

Минерализованные структуры - соотношение с порфировой интрузией







- Рудный штокверк центрирован относительно штока монцодиорит-порфиров
- Диагональные и поперечные зоны филлизитов – рудные в центре, на флангах слабо рудоносные, пиритовые или безсульфидные
- Кварц-сульфидный штокверк пересекает филлизиты
- Ядерная часть штокверка сложена богатыми борнитовыми рудами

Месторождение Песчанка – основные стадии развития штокверка

Стадия 1

Линейные зоны Ksp-Bt и Q-Src метасоматитов – минерализованные сдвиги

Стадия 2

Кварцевые прожилки в меридиональной зоне растяжения и правого сдвига

Стадия 3

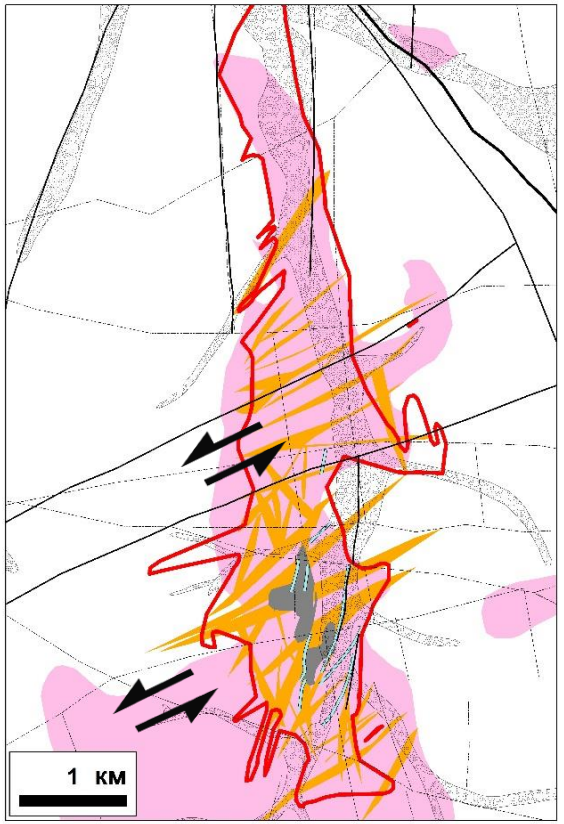
Аномалии ВП - прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация – локальные структуры растяжения и сдвига

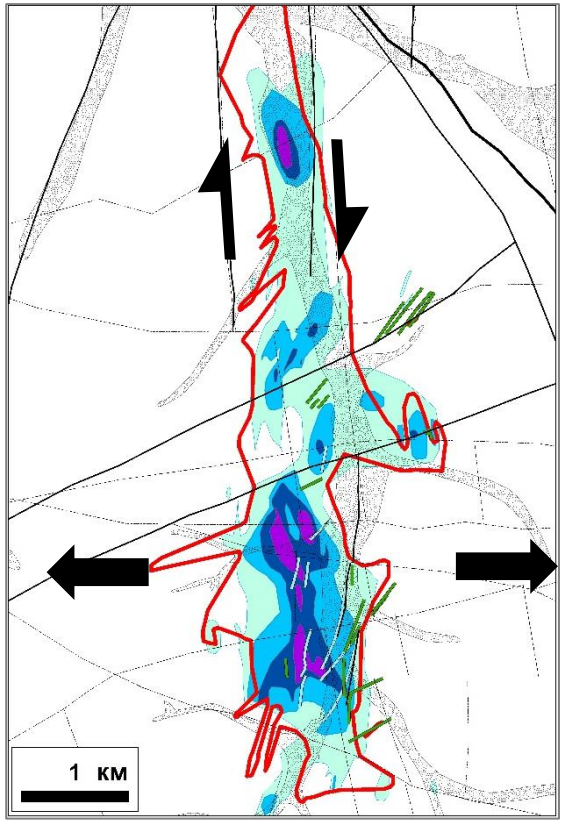
Стадия 4

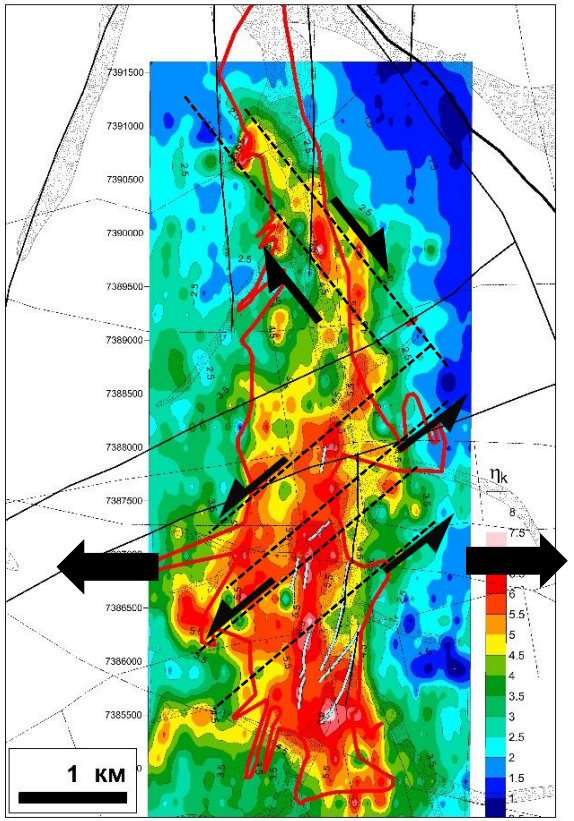
Золотоносные сульфидные жилы растяжения

Стадия 5 и 6

Пострудные сдвиги и дайки андезитов



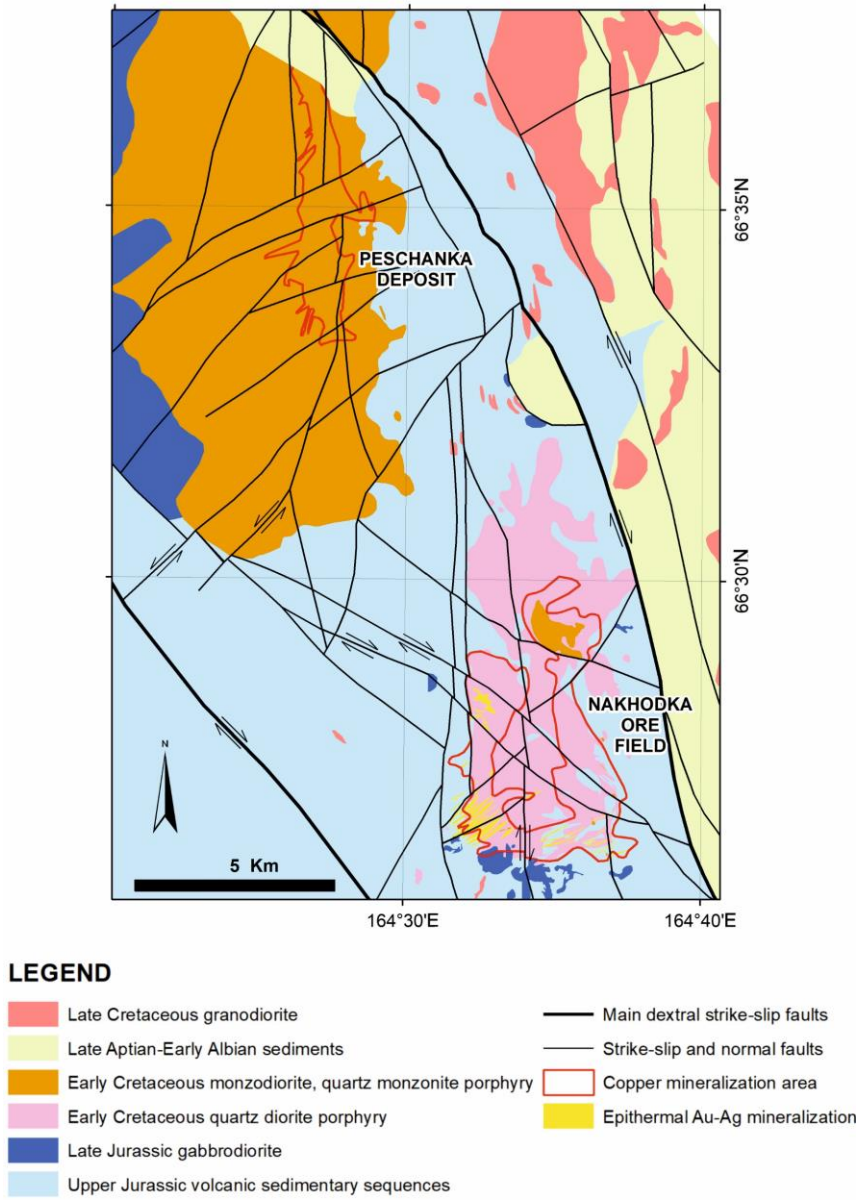




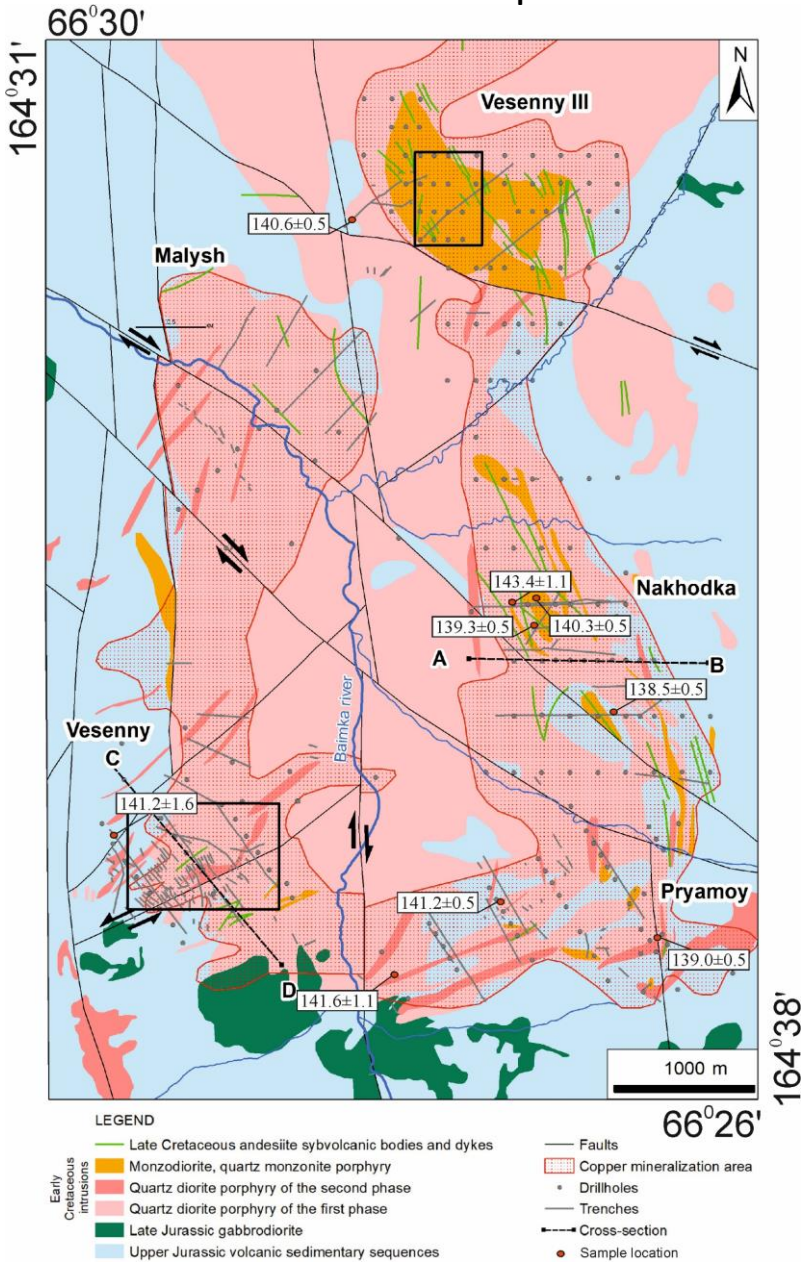
Месторождение Песчанка – линейный полихронный штокверк горизонтального растяжения и сдвига

Находкинское рудное поле (НРП) геология

Геологическая карта центральной части Баимской рудной зоны



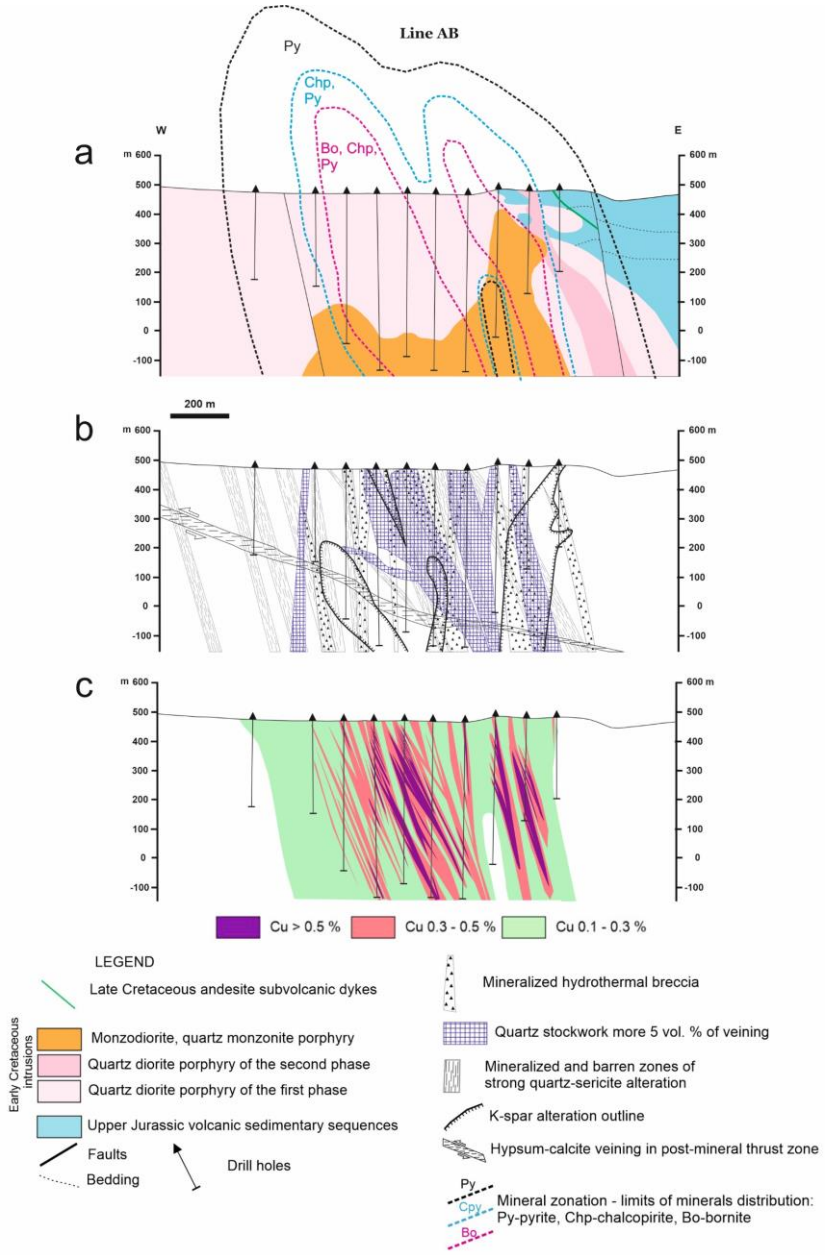
Геологическая карта НРП

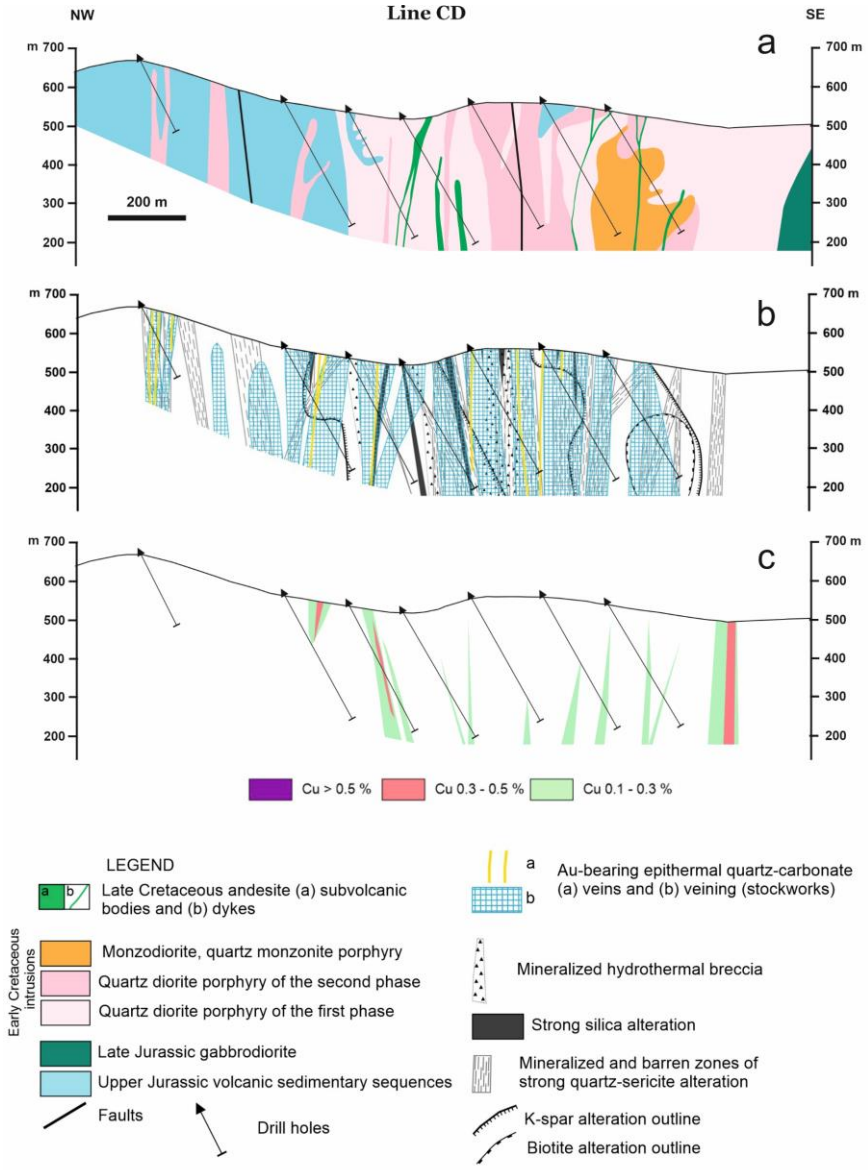


(Chitalin et al., 2022)

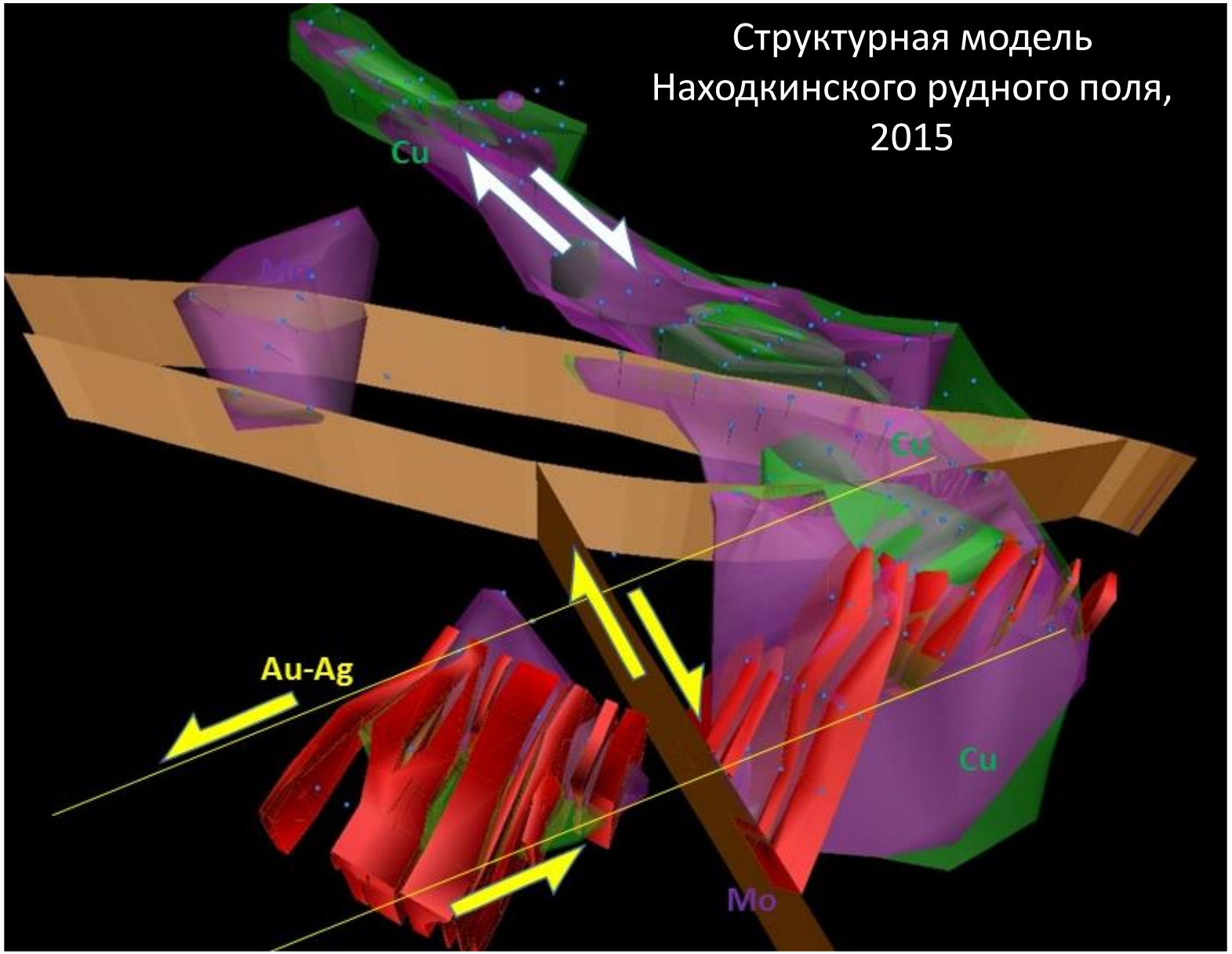
Находкинское рудное поле (НРП) геология

Геологические разрезы





Находкинское рудное поле. 3-D модель штокверков



- Ранняя Mo минерализация занимает в основном внутреннюю часть шокверка

- Более поздняя Cu минерализация тяготеет к краевой части штокверка

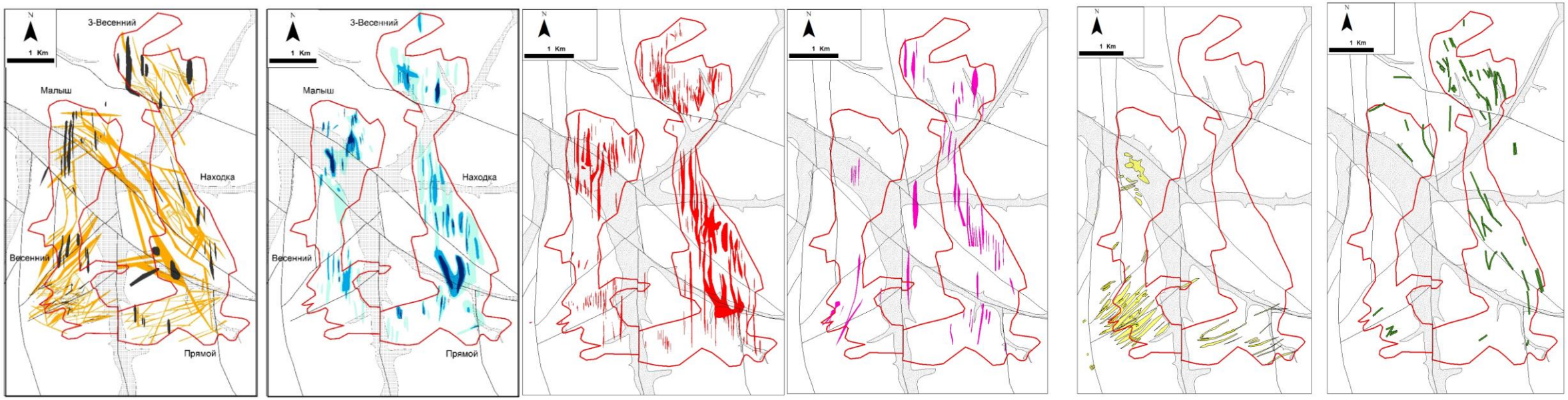
- Эпитермальная Au-Ag жильно-прожилковая минерализация наложена на молибден-медно-порфировый штокверк

- Кулисное расположение рудоносных структур обусловлено их формированием в сдвиговых зонах

(Читалин и др, 2016)

Находкинское рудное поле. Этапы развития структуры и минерализации

Порфировый				Эпитермальный	Пострудный
Стадия 1. Штокверк линейных метасоматитов	**Стадия 2.** Кварцевый штокверк	**Стадия 3** Сульфидный штокверк	**Стадия 4** Позднерудные гидротермальные брекчии	Золотоносные кварц-карбонатные жилы и линейные штокверки	Дайки андезитов, пострудные разрывы



Кварцевые метасоматиты

Зоны кварц-серицитовых метасоматитов

Гидротермальная брекчия

Контур медной минерализации

Кварцевый штокверк

объемный процент кварца

10

5

1

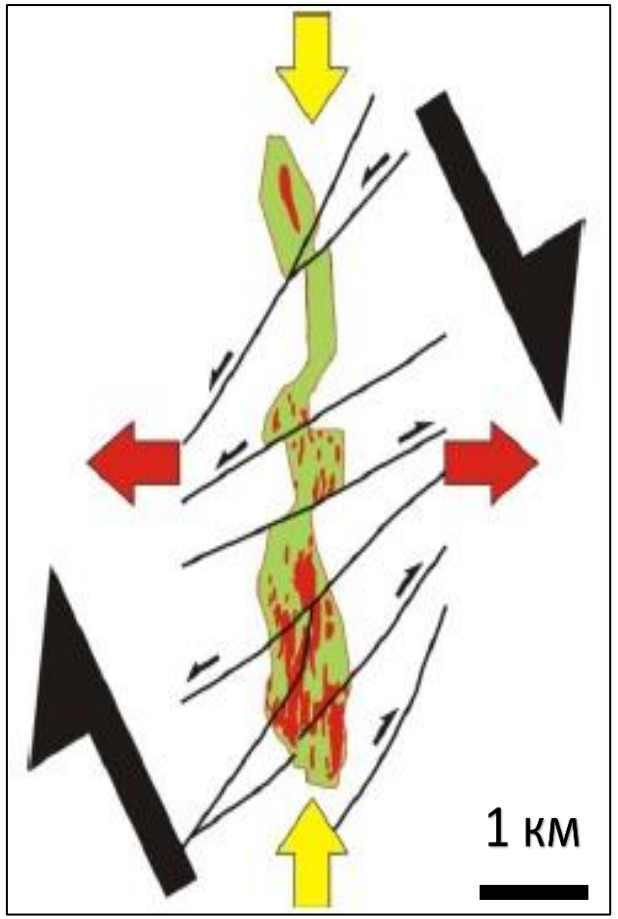
Au-Ag жилы и штокверки

Богатая медная минерализация

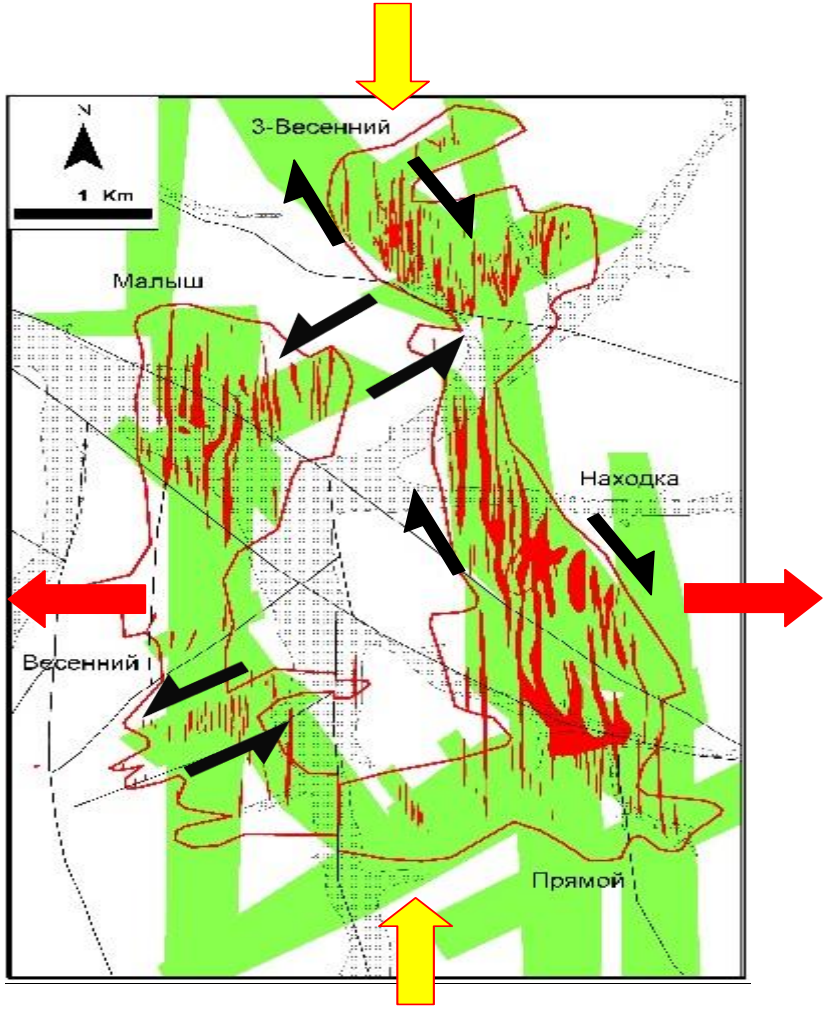
Пострудные дайки андезитов

Стуктурные модели медно-порфировых штокверков Баимской сдвиговой зоны

Месторождение Песчанка (CuMoAu)
Chitalin et al, 2012



Находкинское рудное поле (CuMoAu)
Читалин, 2019



- Медно-порфировые штокверки месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля сформировались в «сдвиговом» поле напряжений – в обстановке горизонтального широтного растяжения и меридионального сжатия

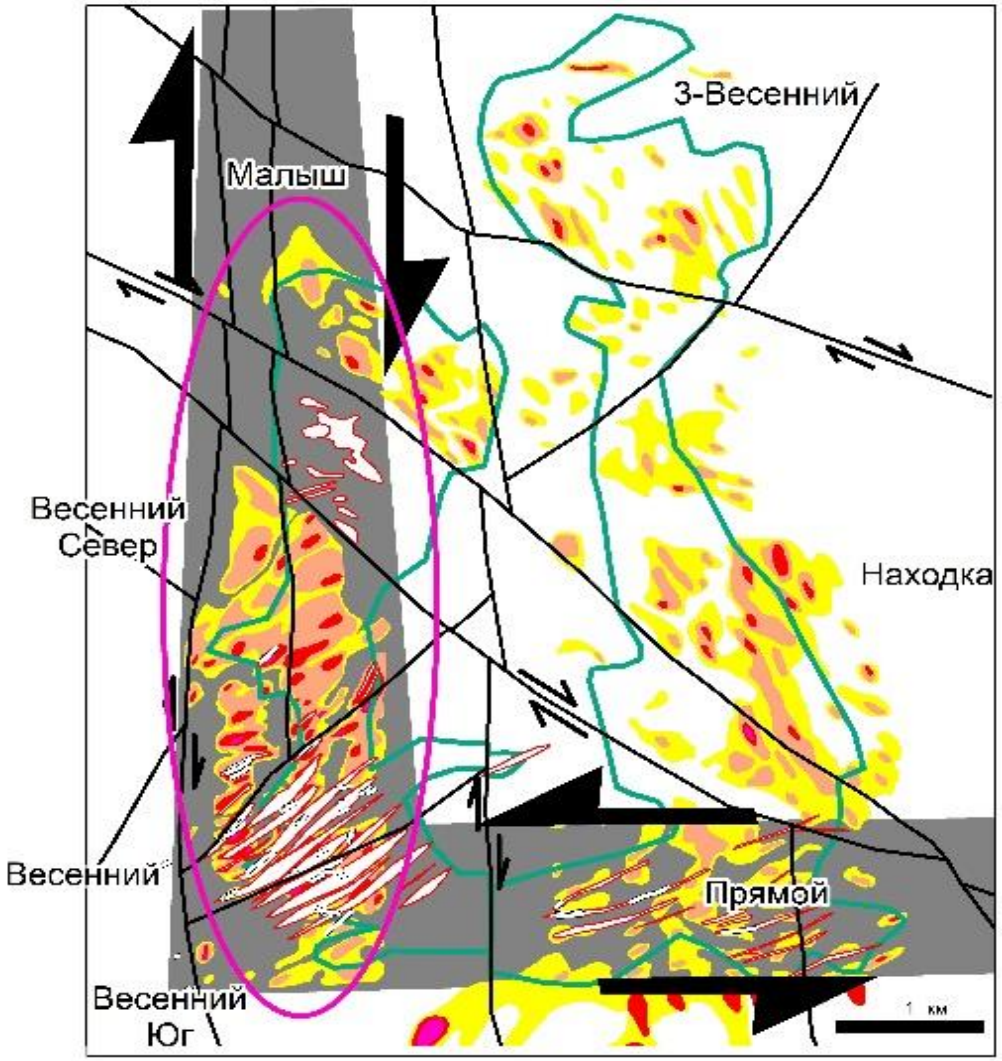
- Штокверки являются локальными структурами растяжения и сдвига в зоне глубинного Баимского правого сдвига

- Линейные штокверки НРП образуют каркас сопряженных сдвиговых зон, в узлах пересечения которых сконцентрирована богатая рудная минерализация

Красные линзы – богатые руды. Контур штокверка (красная линия) проведен по бортовому содержанию CuEq 0.2%

Сдвиговая модель эпитермальных Au-Ag штокверков и жил Находкинского рудного поля

Находкинское рудное поле
Золотоносные линейные штокверки и жилы
Почвенные аномалии золота



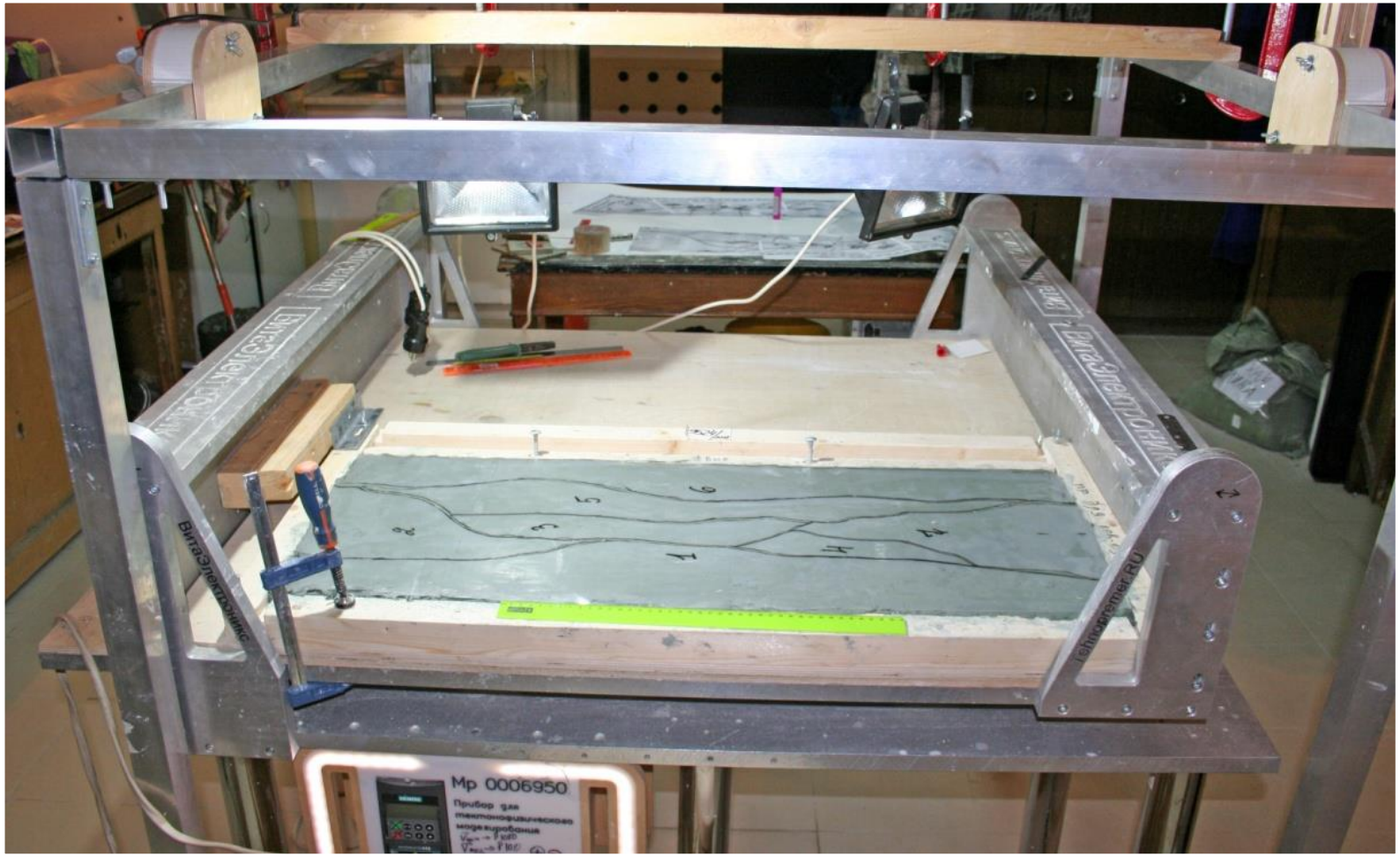
- Эпитермальные золотоносные кварцевые жилы и шокверки Находкинского рудного поля являются структурами растяжения, которые кулисно располагаются в сдвиговых зонах.

- Штокверк крупнотоннажного месторождения Весеннее сформировался в узле пересечения сопряженных сдвиговых зон сдвиговых деформаций – меридиональной зоны правостороннего сдвига и широтной зоны левостороннего сдвига

- Сиреневым эллипсом показан контур прогнозируемого крупнотоннажного (Au > 600 т) золото-серебряного месторождения Весеннее

(Читалин и др, 2019)

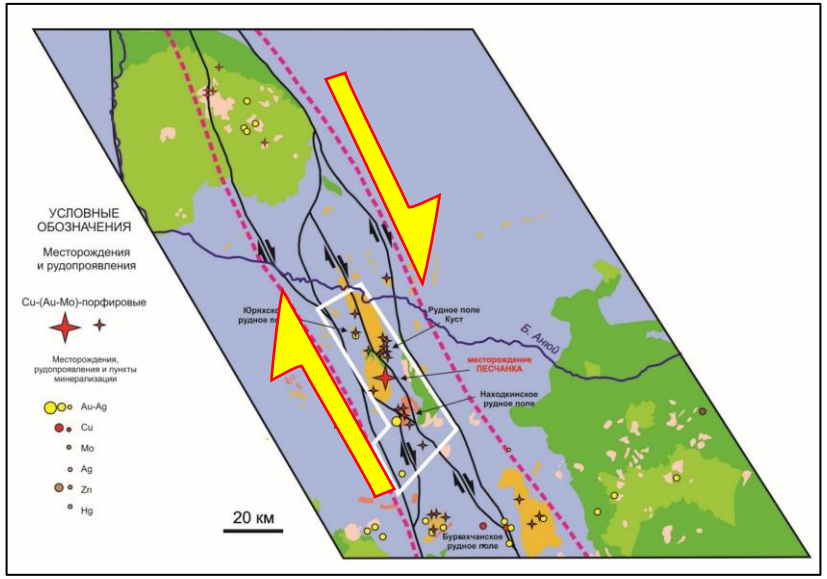
БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА – АНАЛОГОВОЕ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (2018)



Установка для тектонофизического моделирования в лаборатории тектонофизики геологического факультета МГУ

Моделировался
Реверсивный Левый - Правый сдвиг
(по данным полевого структурного анализа)

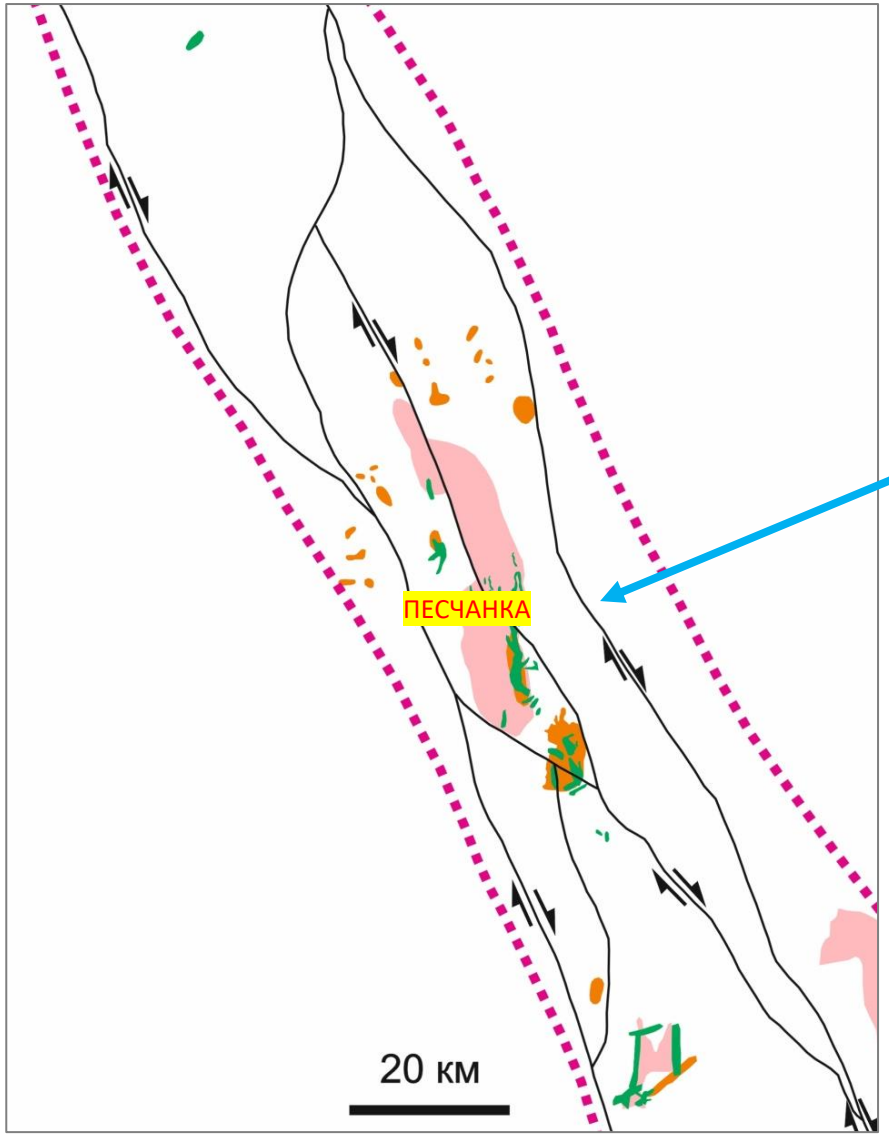
Баимская сдвиговая зона



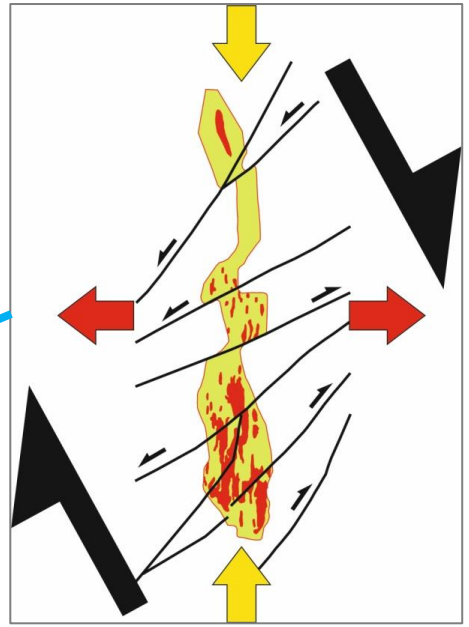
Н.С. Фролова, Т.В. Кара, А.Ф. Читалин. «Физическое аналоговое моделирование рудоносной Баимской сдвиговой зоны Западной Чукотки», 2018

БАИМСКАЯ РУДНАЯ ЗОНА - ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕВЕРСИВНОГО СДВИГА

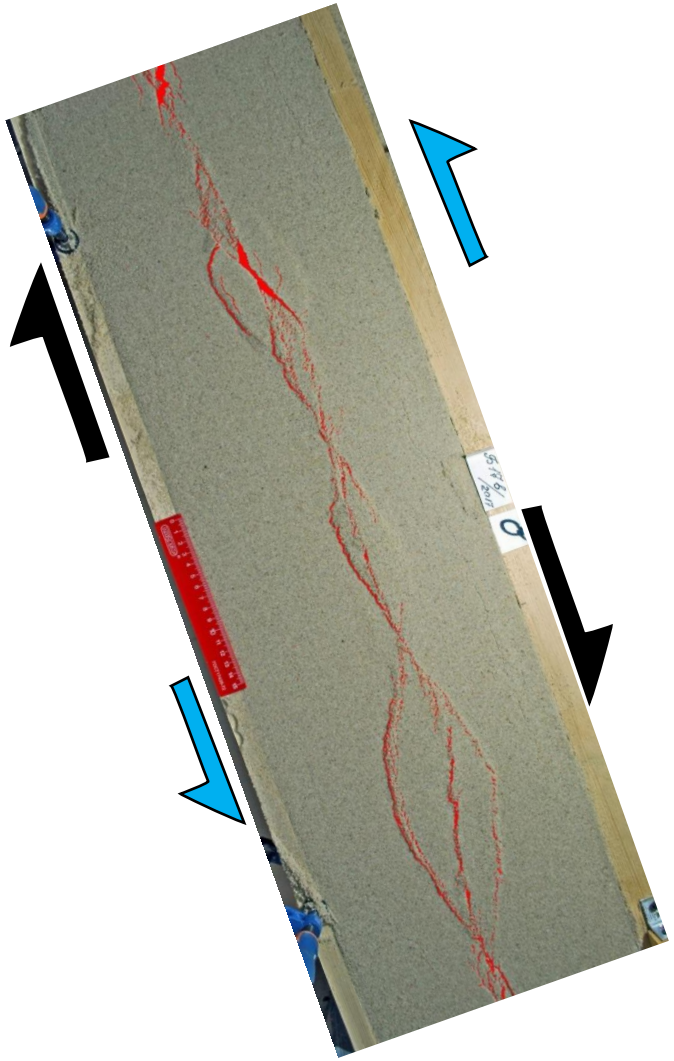
Сдвиги и медно-порфировые штокверки Баимской зоны



Песчанка. Структурная модель рудного штокверка растяжения



Модель реверсивного сдвига. Меридиональные структуры растяжения

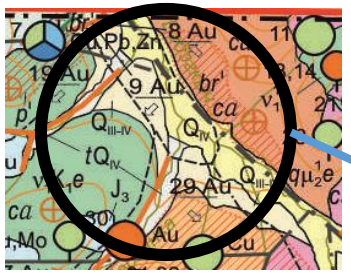


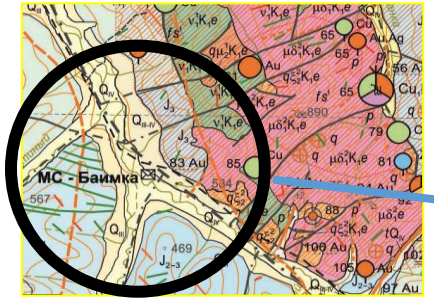
Фаза -1
Левый сдвиг

Фаза - 2
Правый сдвиг

БАИМСКАЯ СДВИГОВАЯ ЗОНА - ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. ПРОГНОЗ РУДНЫХ ШТОКВЕРКОВ

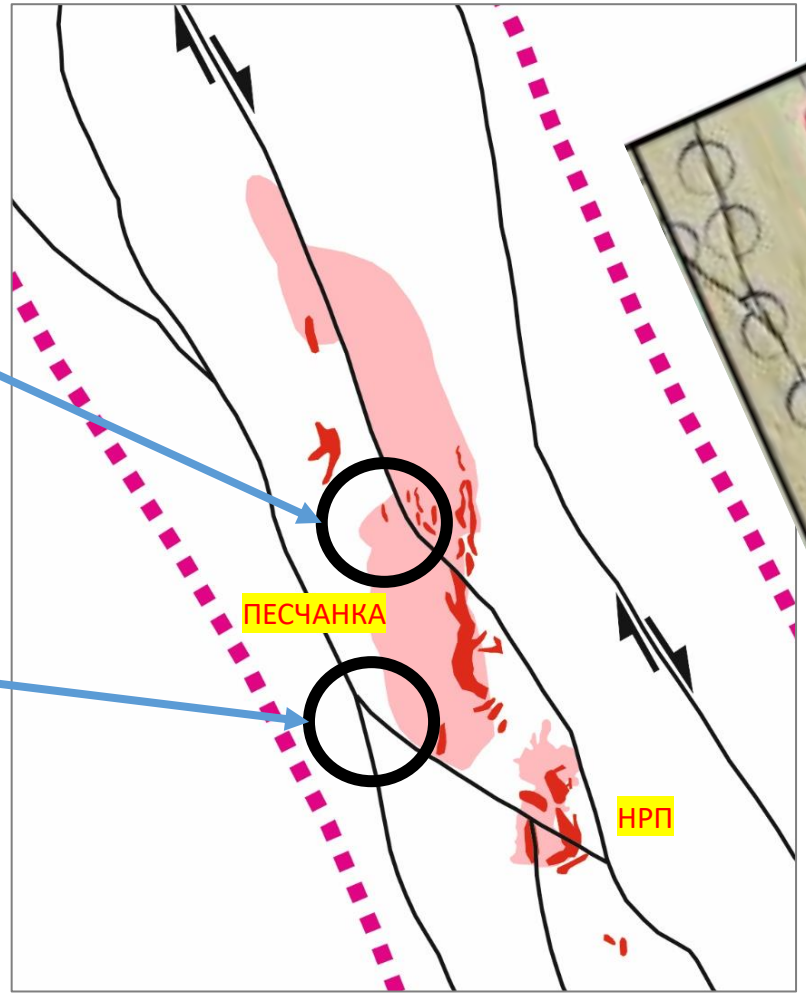
В долине р. Егдыгкыч прогнозируется слепой рудный штокверк





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

Медные штокверки Баимской сдвиговой зоны



Тектонофизическая модель правого сдвига с интрузиями. Красное - структуры растяжения

ФАЗЫ ДЕФОРМАЦИИ:

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

б – завершение 2-фазы деформации правого сдвига

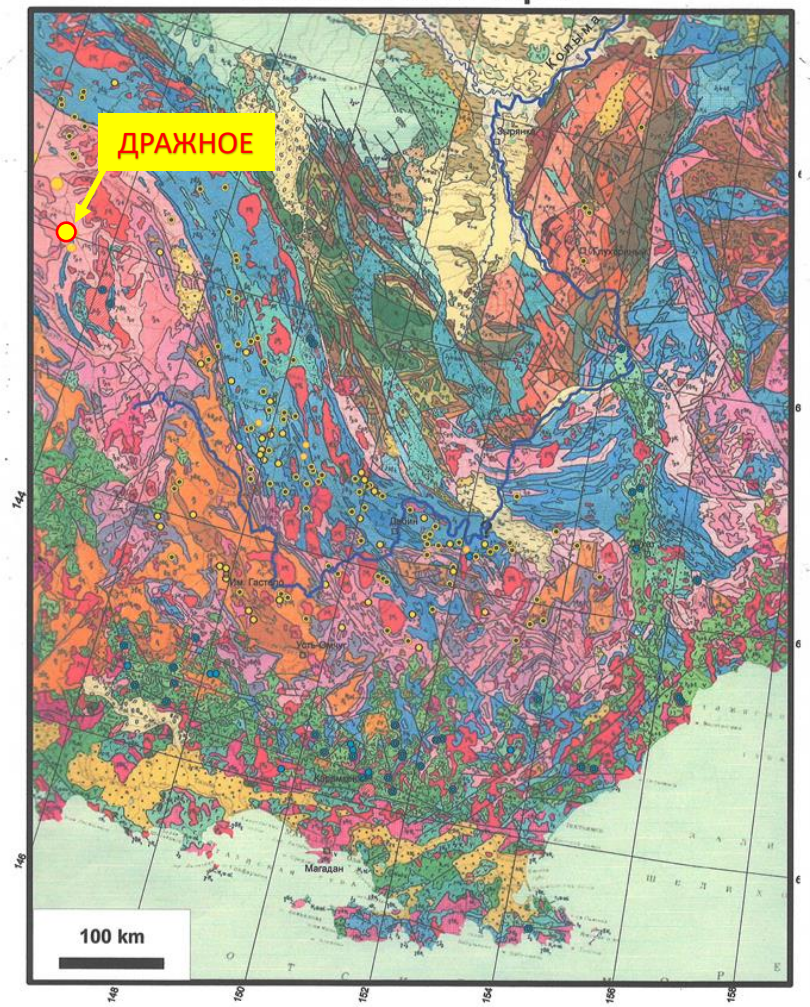
Структуры растяжения на модели соответствуют в натуре потенциальным рудным полям в узлах пересечения сдвигов под аллювиальными отложениями в долине р.Баимка – необходимо проведение поисковых работ

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДРАЖНОЕ

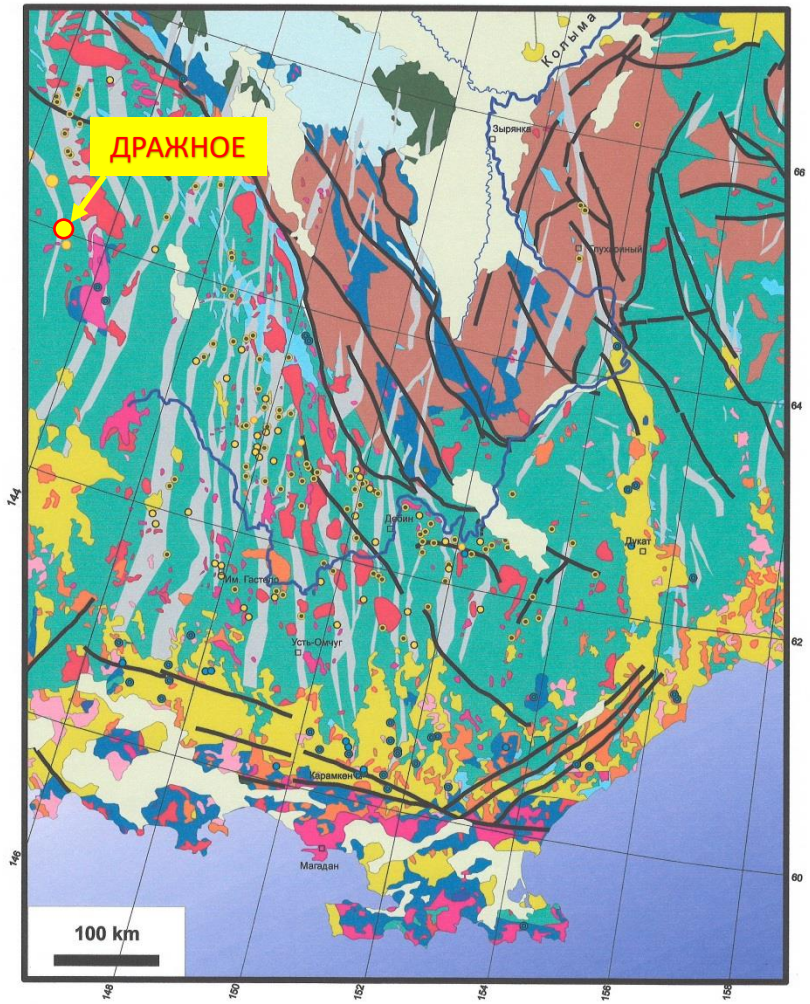
(Ю. Якутия)

ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКИЙ ЗОЛОТОНОСНЫЙ ПОЯС. РЕГИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ
ТРАНССТРУКТУРНЫЕ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СДВИГОВЫЕ ЗОНЫ

Геологическая карта



Тектоническая схема



Региональные сдвиговые зоны контролируют золоторудную минерализацию

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
к тектонической схеме

- Кайнозойские впадины
- Апт-палеоценовый Охотско-Чукотский вулканический пояс и его апофизы
- Позднеюрско-раннемеловые вулканические пояса (Удско-Мургальский и Уяндино-Ясачненский)
- Раннемеловой структурный комплекс, сложенный терригенными отложениями нижнего мела
- Позднеюрско-неокомовые структурные комплексы, сложенные верхне-батскими, верхнеюрскими и ранненеокомовыми терригенными отложениями
- До-среднебатский структурный комплекс, сложенный среднекаменноугольно- среднеюрскими терригенные отложениями верхоянского комплекса и карбонатно-терригенными отложениями Колымо-Омолонского супертеррейна
- Палеозойские и допалеозойские складчатые комплексы Колымо-Омолонского супертеррейна
- Позднеюрско-меловые гранитоидные и гранитные интрузивы
- Главные разломы
- Золотоносные флексурные сдвиговые зоны

Месторождения и рудопроявления:

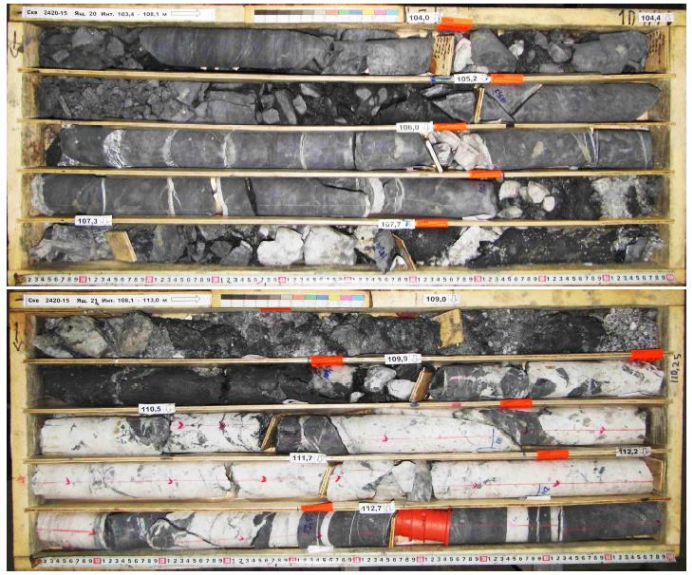
- Золотые
- Золото-сурьмяные
- Золото-серебряные

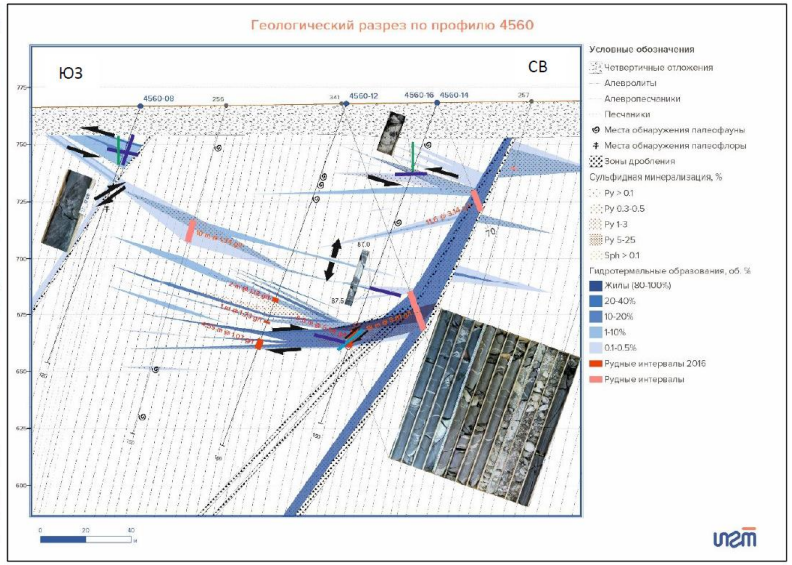
МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДРАЖНОЕ. СТРУКТУРА, МИНЕРАЛОГИЯ

ИГТ - комплексные геолого-структурные и минералого-геохимические исследования в процессе ГРР (2016-2021)

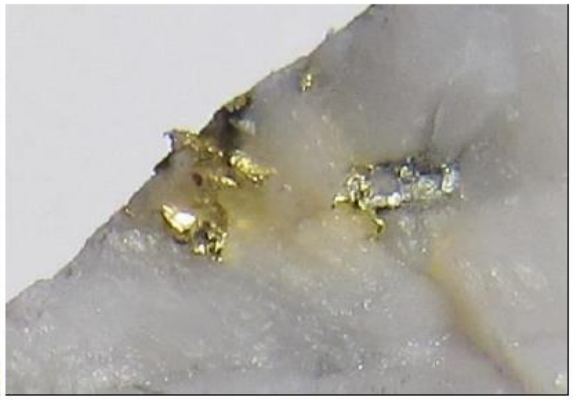
Структура и кинематика прожилков

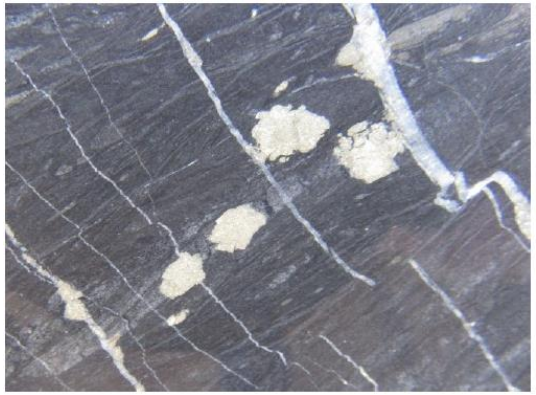
Морфология, структура и кинематика штокверков



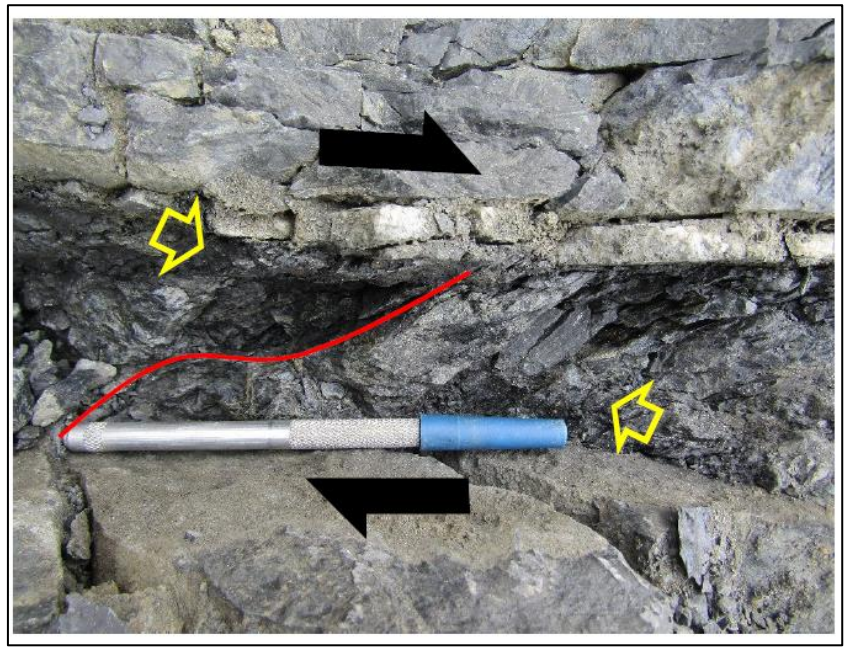


Минералогия, геохимия

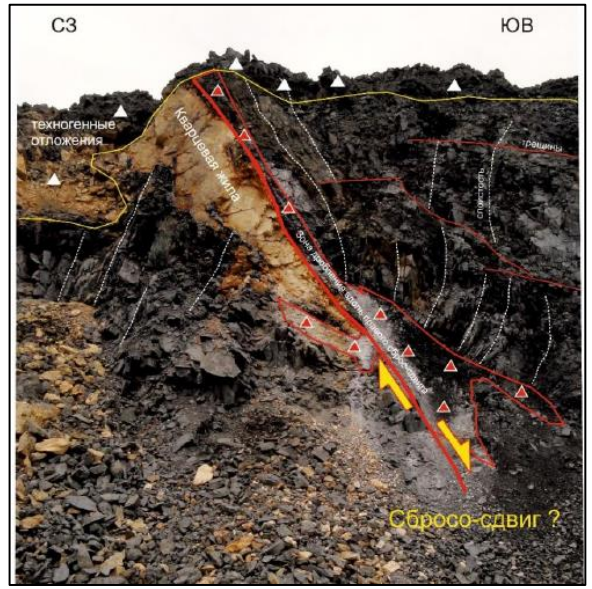


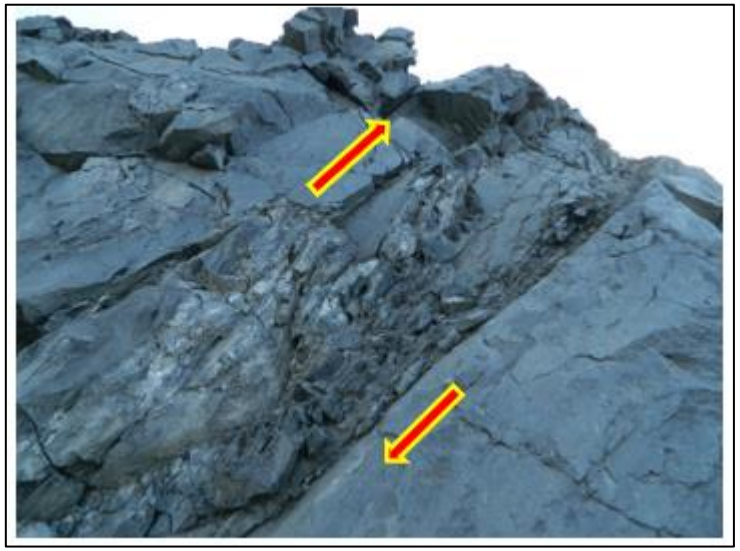


МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДРАЖНОЕ. СТРУКТУРА, МИНЕРАЛОГИЯ



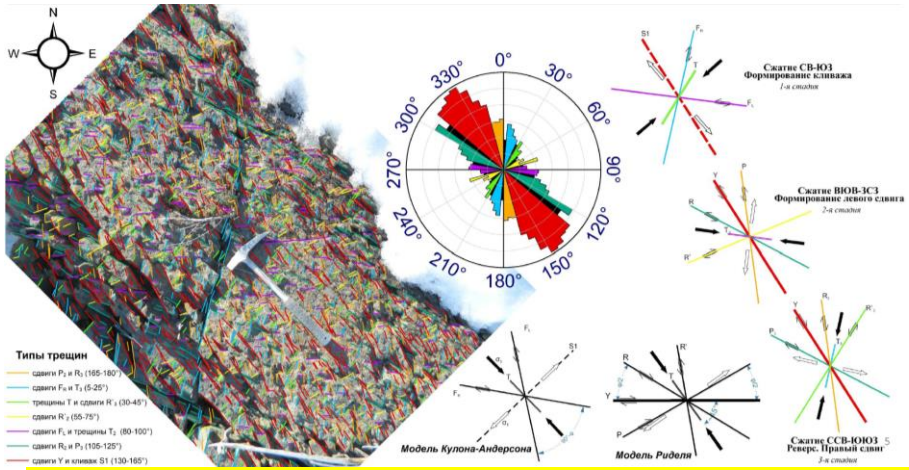
Структурное картирование карьера: складки, разрывы, жилы, штокверки



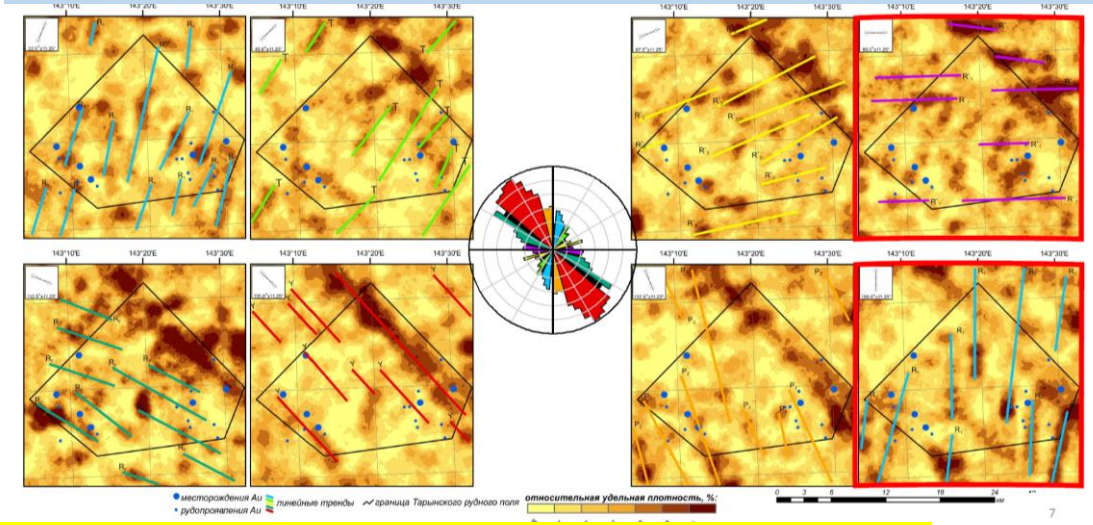


МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДРАЖНОЕ. ЗОЛОТОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ

Изучение дорудной соскладчатой трещиноватости

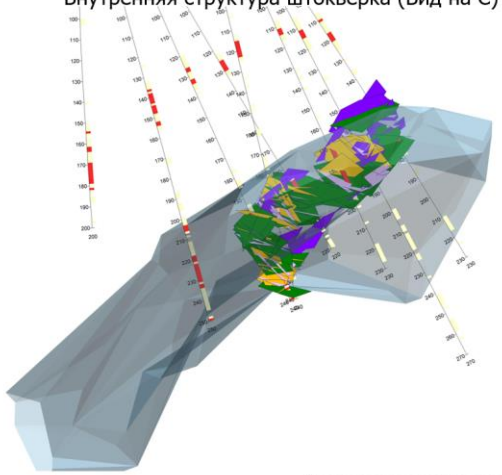


Компьютерный линеаментный анализ LESSA



Изучение внутренней структуры и золотоносности прожилков в штокверках

Внутренняя структура штокверка (Вид на С)



1 парагенез жил и прожилков

Аз 350-0-60 угол 0-40

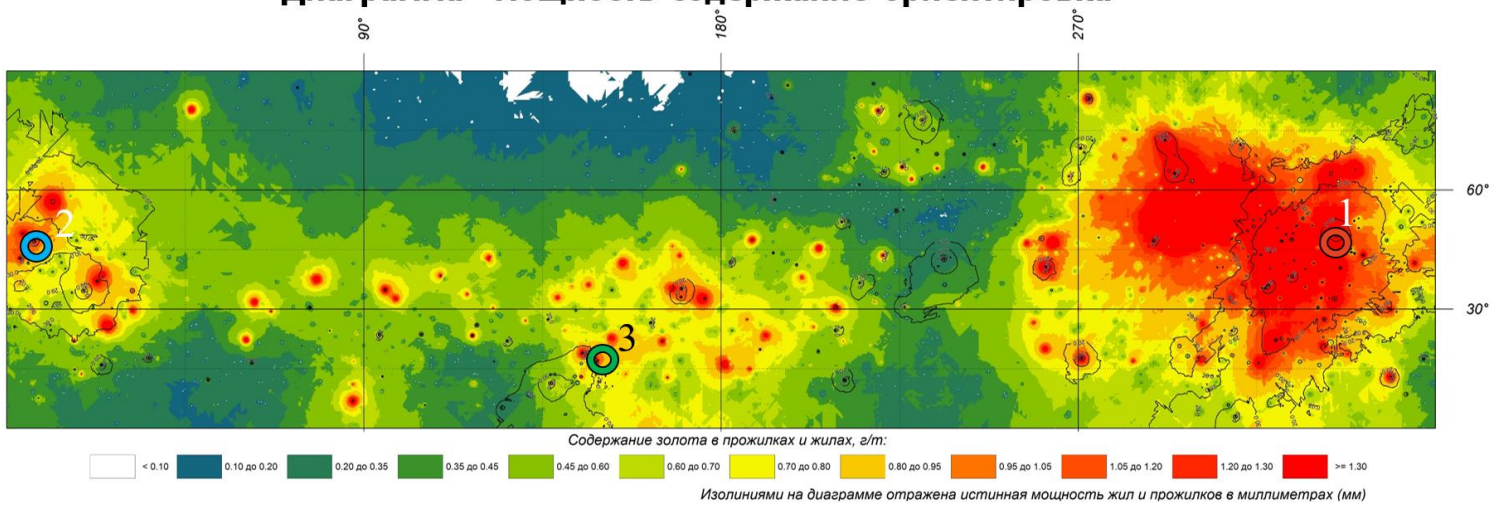
Аз 200-260 угол 40-70

2 парагенез жил и прожилков (рудонасыщенный)

Аз 80-140(150) угол 0-30

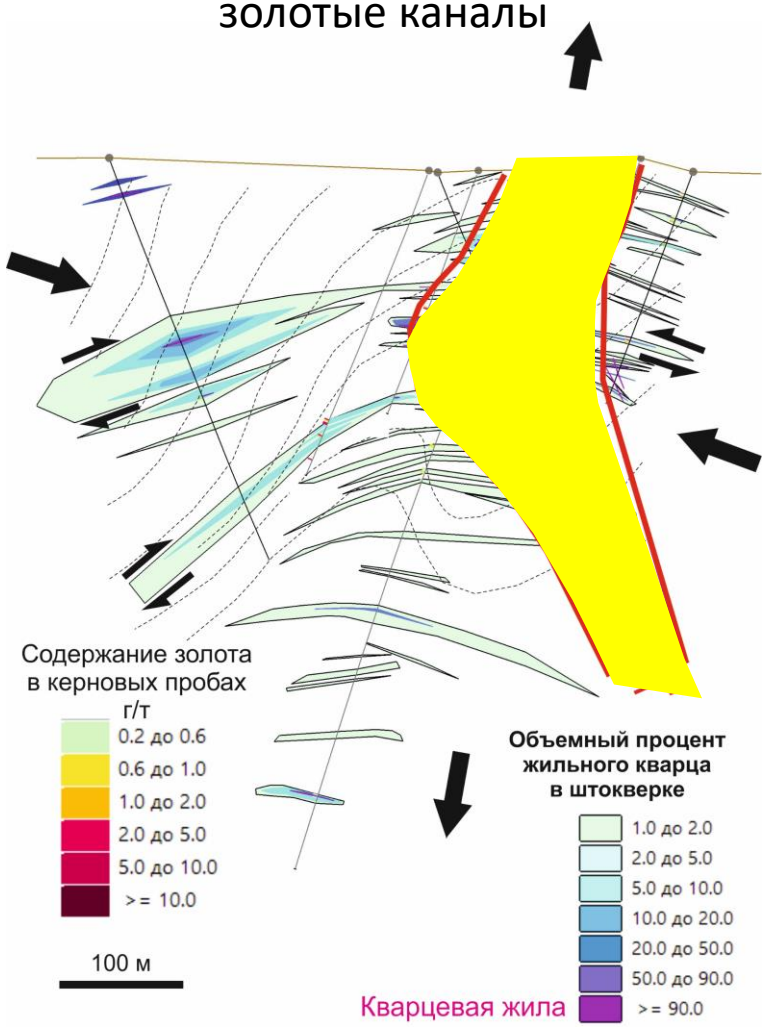
Аз 290-320 угол 30-70

Диаграмма «мощность-содержание-ориентировка»

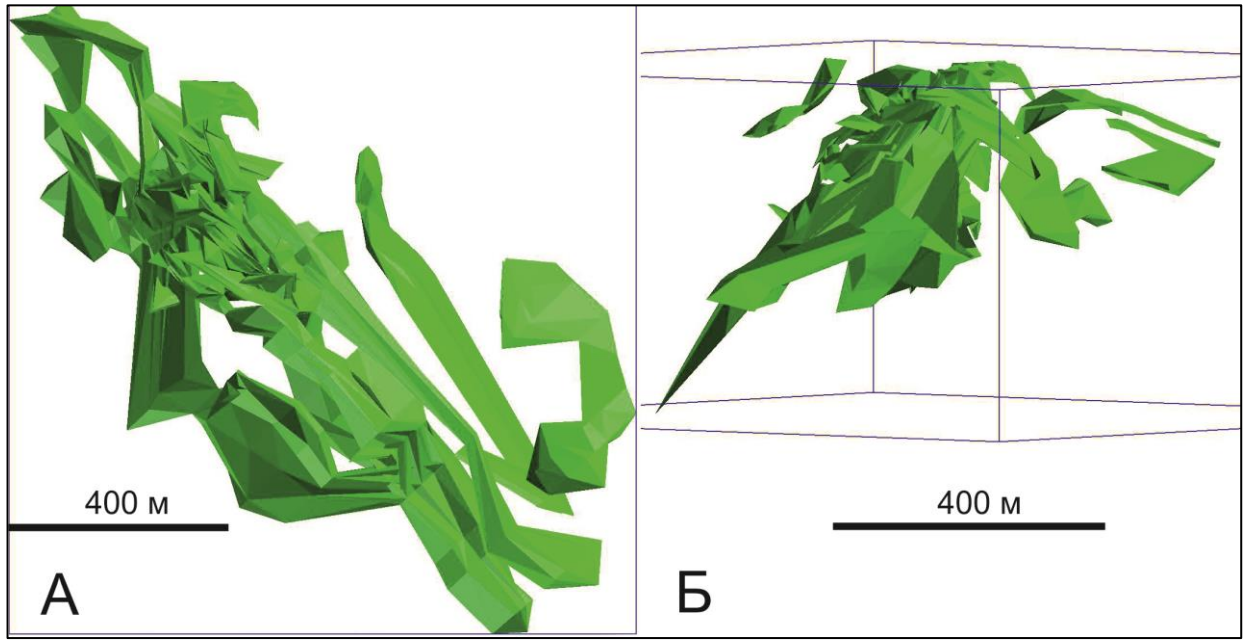


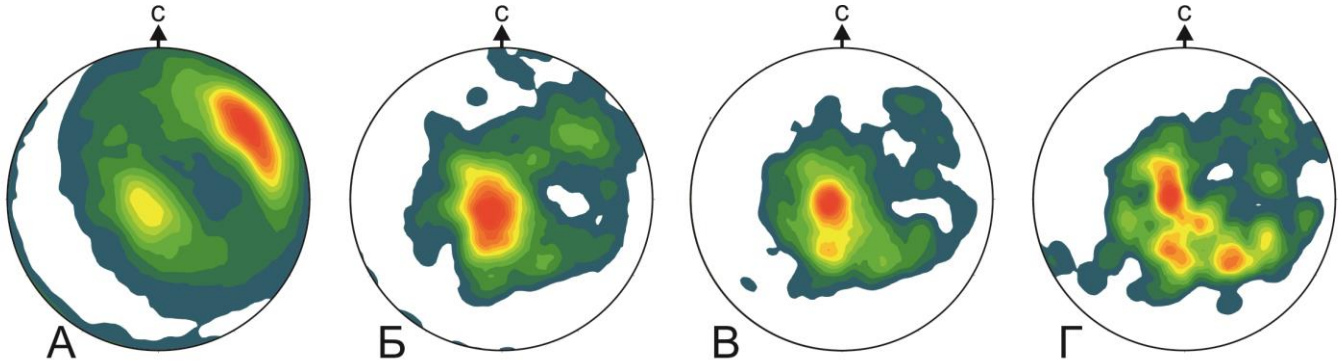
МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДРАЖНОЕ. СТРУКТУРА КВАРЦЕВЫХ ШТОКВЕРКОВ

Штокверковые системы и золотые каналы



3D-модели штокверковых систем

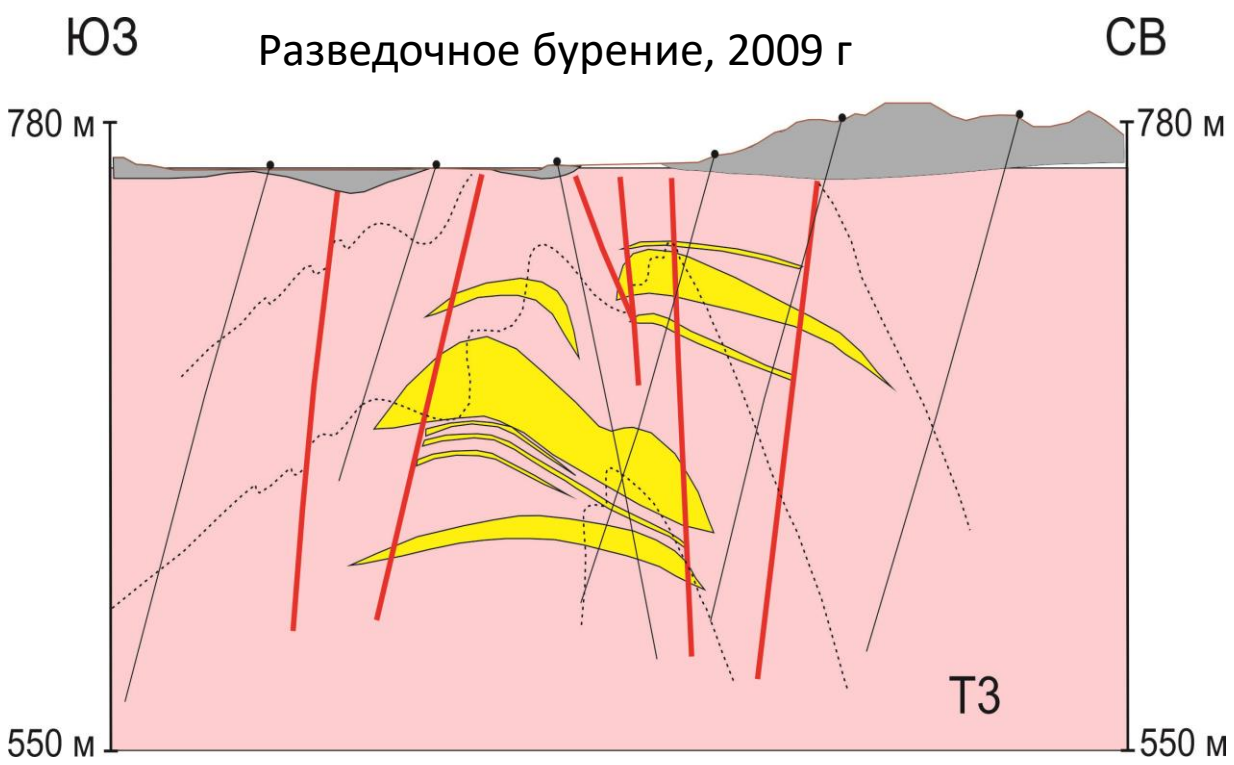


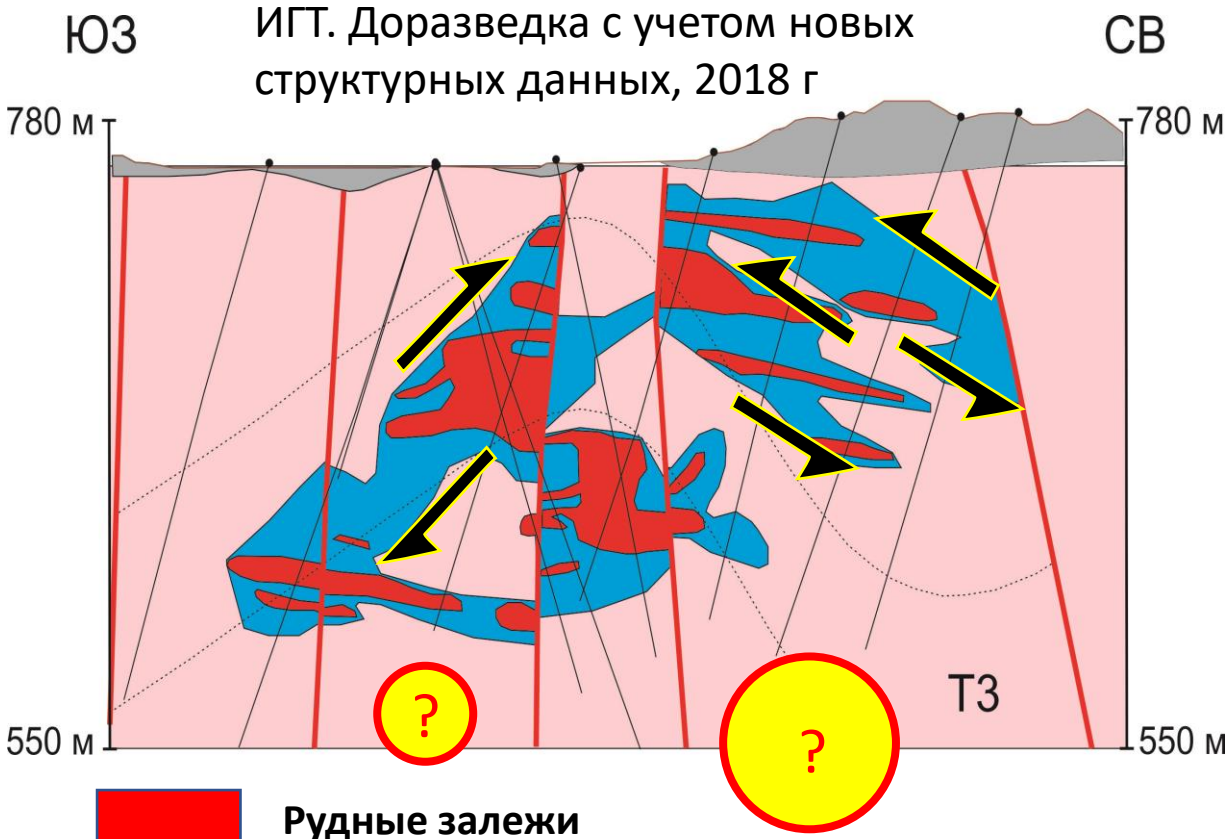


Стереограммы трещин(А) и золотоносных прожилков(Б-Г)

ДРАЖНОЕ. СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИГТ. ПРОГНОЗ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Различия в отрисовке рудных залежей и определении их структурной позиции





Рудные залежи

Простые седловидные рудные залежи в замке антиклинали (тип Бендиго).

Рудные залежи

Кварцевый штокверк (>5 % кварца)

Пологие рудные залежи в структурах растяжения в кварцевых штокверках надвигового типа. Штокверки пересекают синклинали и антиклинали.

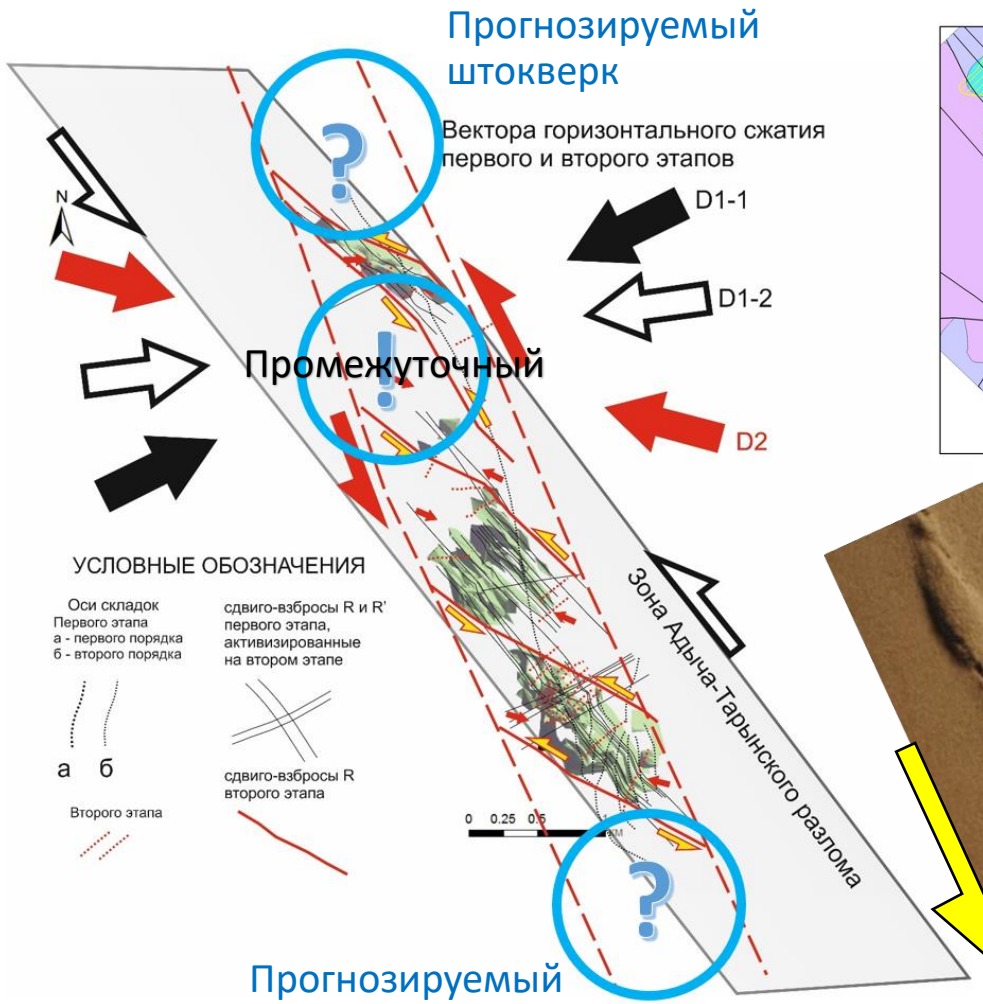
Запасы увеличены более чем на 10%

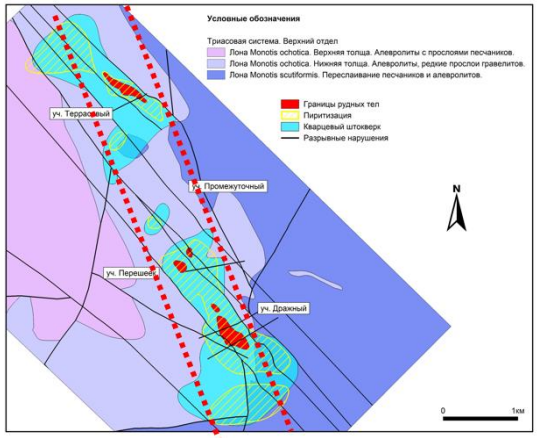
Перспективы прироста запасов: единичные глубокие скважины пересекли нижний этаж оруденения с богатыми рудами

ДРАЖНОЕ. СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ. ПРОГНОЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ ШТОКВЕРКОВ

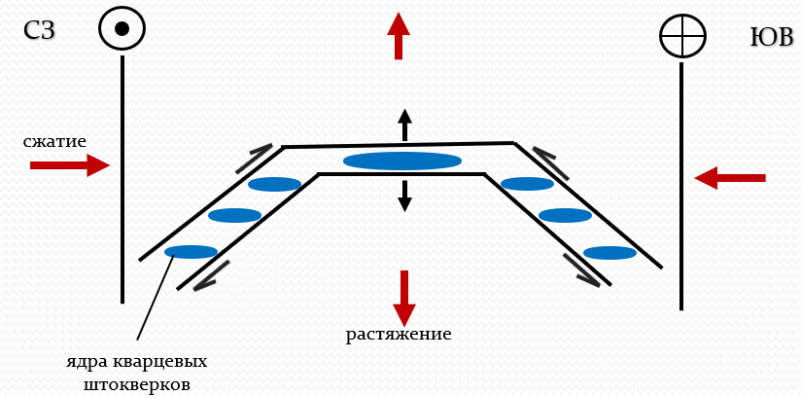
СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИГТ:

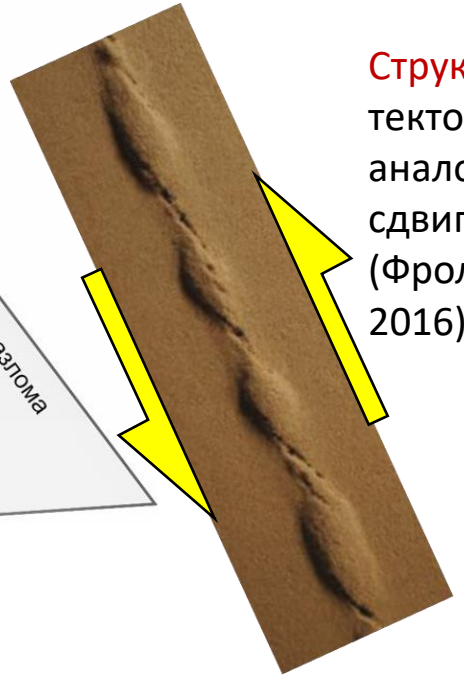
Пологие штокверки вертикального растяжения в надвиговых структурах горизонтального отжимания Push-Up в зоне левого сдвига





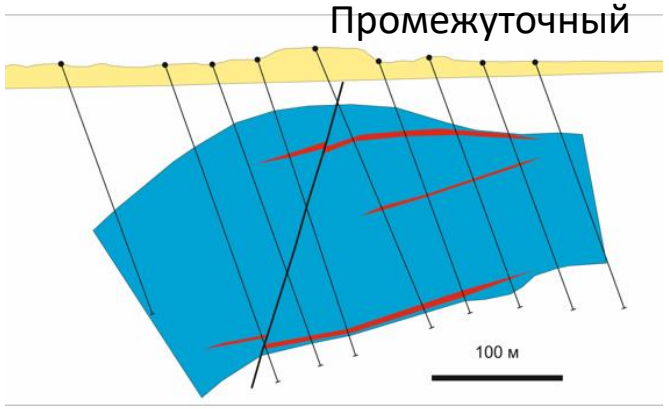
Модель формирования систем пологих штокверков и жил





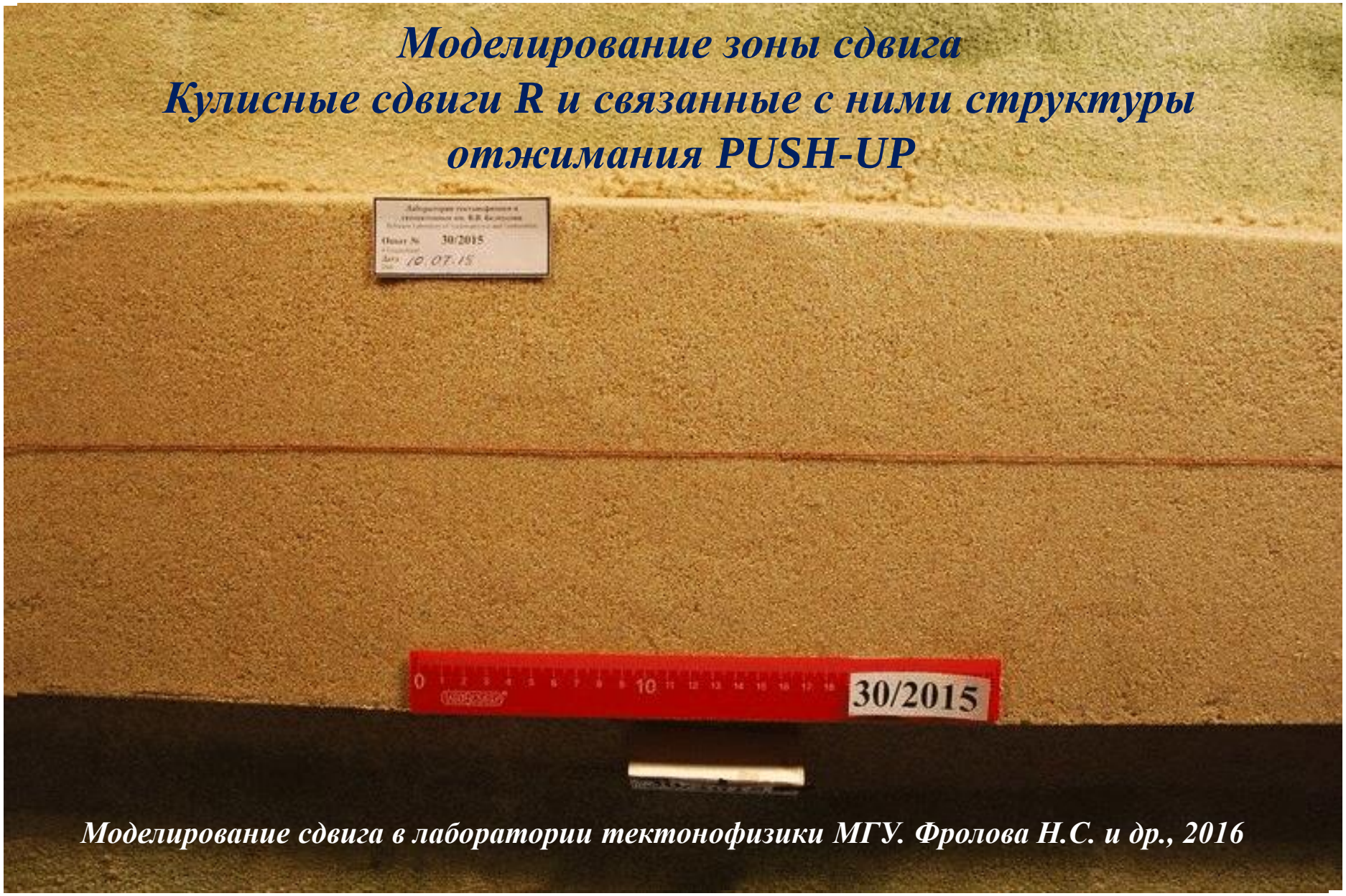
Структуры Push-Up в тектонофизической аналоговой модели сдвига (Фролова и др., 2016)

Прогнозирование золотоносных штокверков на основе структурной модели – новый штокверк был обнаружен на участке Промежуточный



Кварц-сульфидный штокверк и слепые рудные залежи на участке Промежуточный

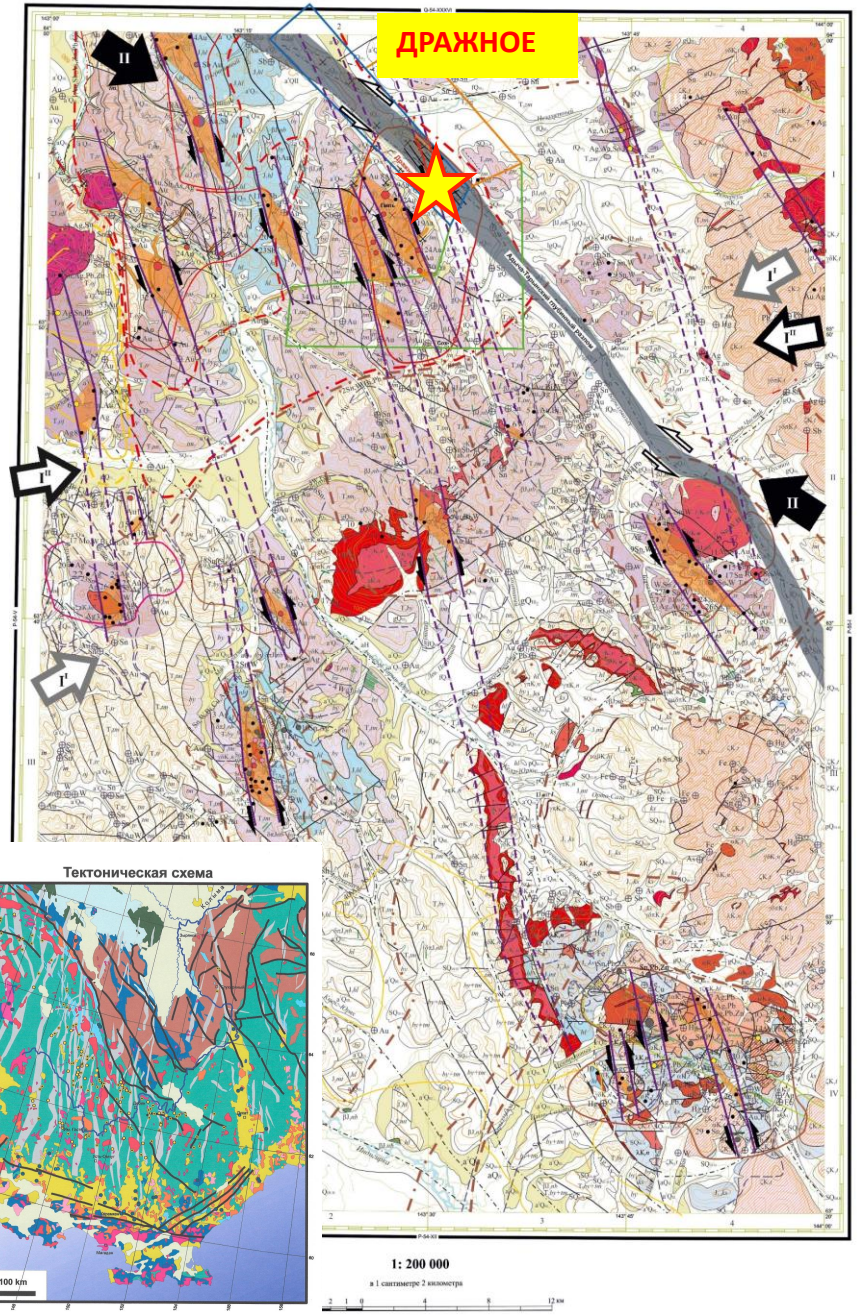
ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУР PUSH-UP В ЗОНЕ СДВИГА



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

ТАРЫНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ. РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СДВИГОВЫЕ ЗОНЫ И СТРУКТУРЫ РАСТЯЖЕНИЯ



ПРОГНОЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДРАЖНОЕ

- Первый этап деформаций - соскладчатая стадия
- Первый этап деформаций - поздне-постскладчатая стадия (Адыча-Тарынский глубинный разлом)
- Второй этап деформаций - левосторонние субмеридиональные разломы взбросо-сдвиговой кинематики
- Субмеридиональные структурные тренды второго этапа деформаций
- Кластеры рудопроявлений

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 в зонах сдвига

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

По результатам геохимических поисков в пределах сдвиговых зон выявлены перспективные аномалии золота

ВЫВОДЫ

Разномасштабные геолого-структурные модели являются основой поисковых моделей для прогноза рудных узлов, рудных полей и рудных залежей, структурных ловушек

Геолого-структурные модели эффективны при геологическом таргетировании (выборе лучших участков для поисков рудных месторождений)