GeoEurasia 2021

ГеоЕвразия-2021
Геологоразведка
в современных реалиях

2-4 марта 2021

СТРУКТУРА ШТОКВЕРКОВ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ СИСТЕМ

Читалин Андрей Федорович
ООО «Институт геотехнологий»
a.chitalin@igeotech.ru

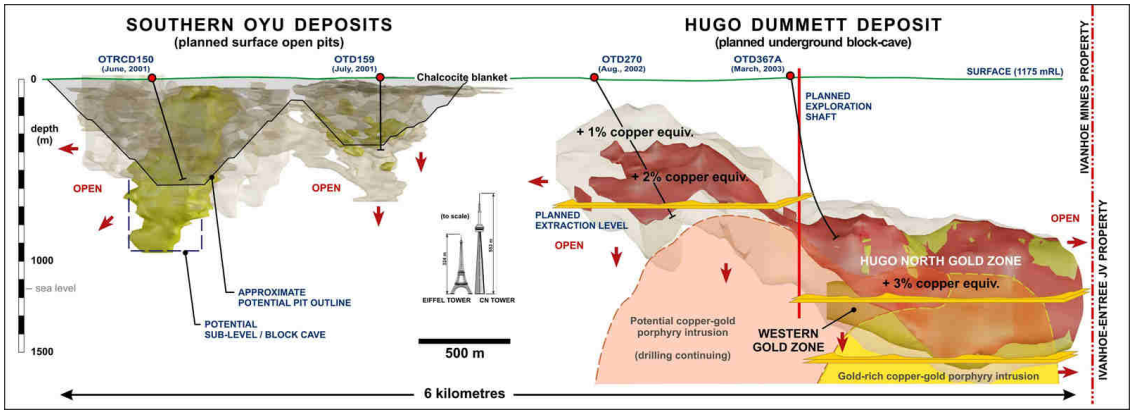
организаторы

спонсоры

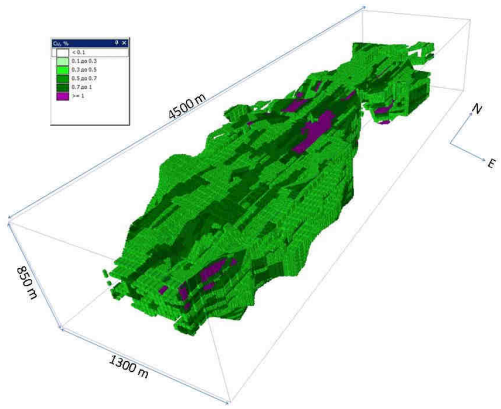
www.gece.moscow

Актуальность изучения штокверков

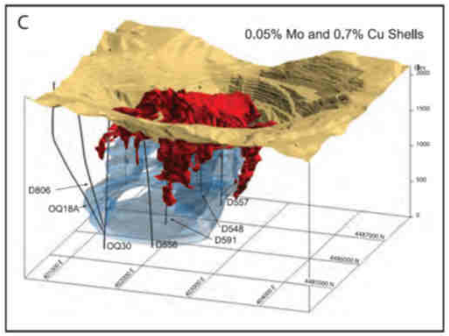
Oyu Tolgoy (Cu-Mo-Au)
Mongolia



Песчанка (Cu-Mo-Au)
Россия, Чукотка



Bingham Canyon (Cu-Mo-Au)
USA



- Крупнотоннажные штокверковые месторождения обеспечивают основную долю запасов меди и золота

- **Штокверк** (нем. Stockwerk, англ. stockwork;) - объемное тело горных пород, пронизанных густой сетью рудоносных гидротермальных прожилков и жил. В рудном штокверке сконцентрирована рудная минерализация прожилково-вкрапленного типа.
- Ориентировка прожилков может быть случайной или структурно упорядоченной.
- Густота и мощность прожилков в штокверке может быть равномерной или неравномерной
- Форма штокверков может быть различной.
- Причиной образования штокверков обычно считают флюидный гидроразрыв на участке декомпрессии в кровле остывающего порфирового штока

- Изучению структуры штокверков редко уделяется внимание.

GeoEurasia 2020

Модели медно-порфировой системы

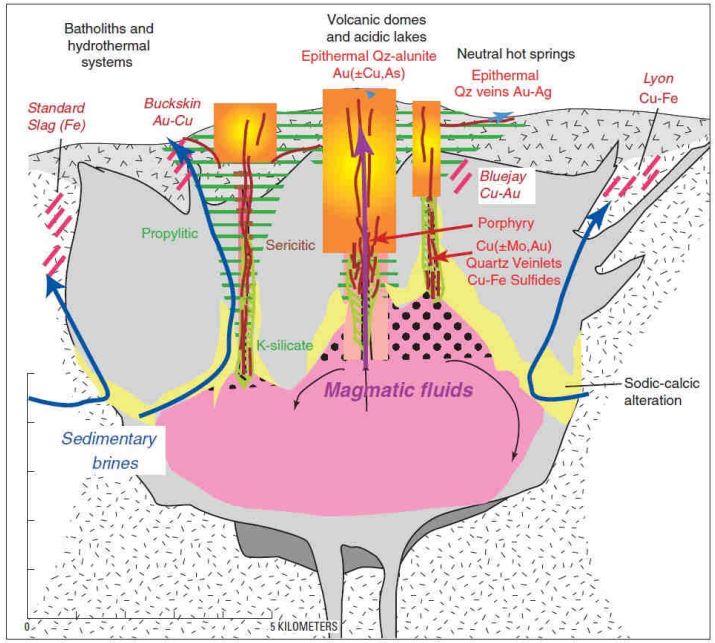
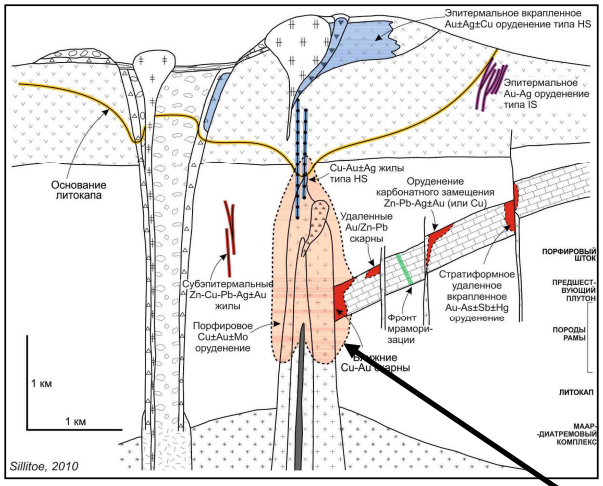
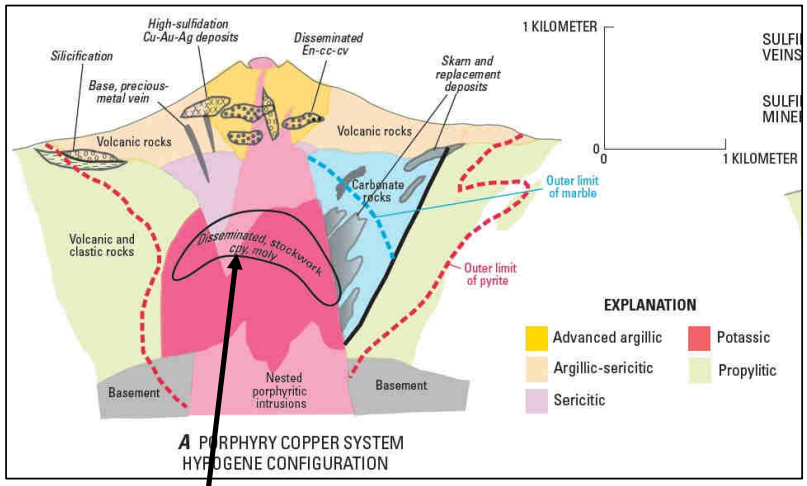


Figure E4. Relationship of hydrothermal systems and porphyry copper and related deposits to crystallizing granitic batholith based on exposed deposits and altered rocks in and near the Yerington district in western Nevada. Based on Dilles and Einaudi (1992), Dilles and Proffett (1995), and Dilles, Proffett, and others (2000).

David A. John et al, 2010





Рудный штокверк

На разных моделях форма рудного штокверка различна

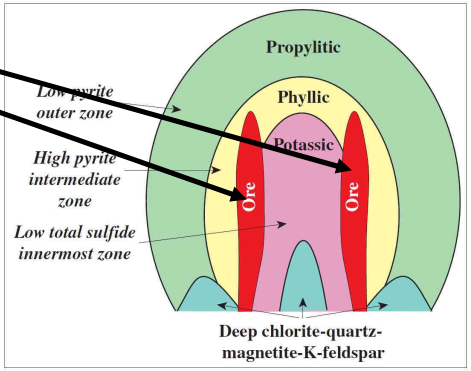
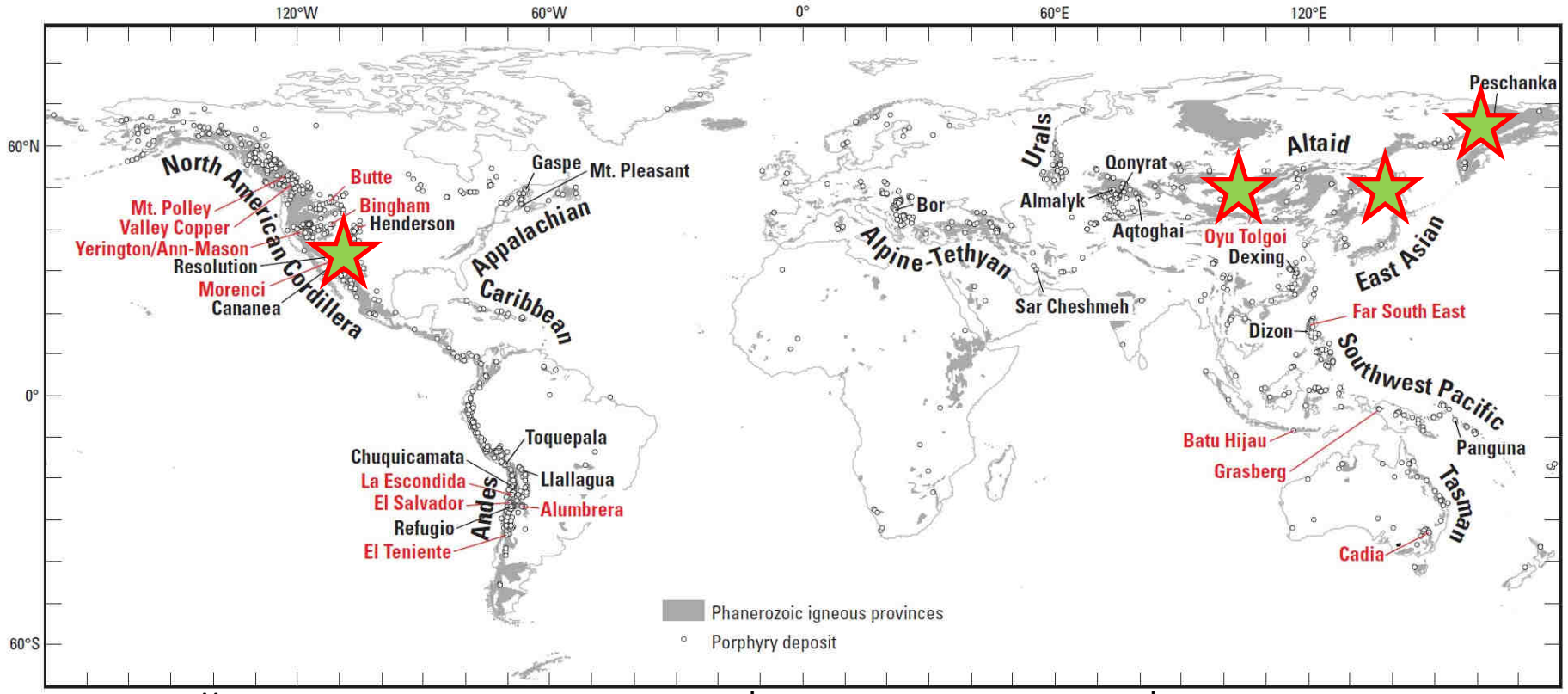


Figure 1. Cross section of a porphyry copper deposit showing idealized alteration zoning (after Lowell and Guilbert, 1970).

Модели статичны – не учитывают структурную составляющую, влияние внешних стрессов

GeoEurasia 2021

Рассматриваемые штокверки



Карта распространения медно-порфировых месторождения фанерозоя

(Scientific Investigations Report 2010–5070–B)

Рассматривается структура штокверков медно-порфировых систем различного возраста, которые изучал автор:

- Баимская рудная зона (Чукотка)
- Малмыж (Хабаровский Край)
- Эрденет (Монголия)
- Моренси (США)

Применение структурного анализа позволило выявить черты сходства и различия в структуре штокверков, выявить этапы их эволюции и определить структурно-кинематические условия формирования

GeoEurasia 2021

Методы и цели изучения штокверков

• Геолого-структурное картирование штокверков на количественной основе
(в коренных обнажениях, горных выработках, в керне скважин):

- выделение морфо-кинематических типов структур, генераций, структурных парагенезов
- выделение минералогических типов и генераций
- изучение минералогической и геохимической зональности
- выделение разновозрастных структурно-минералогических парагенезов

• Структурная интерпретация геохимических и геофизических аномалий

• Комплексный структурный анализ всех данных

• Создание структурно-кинематической модели

• Прогноз структурных ловушек и участков богатой рудной минерализации

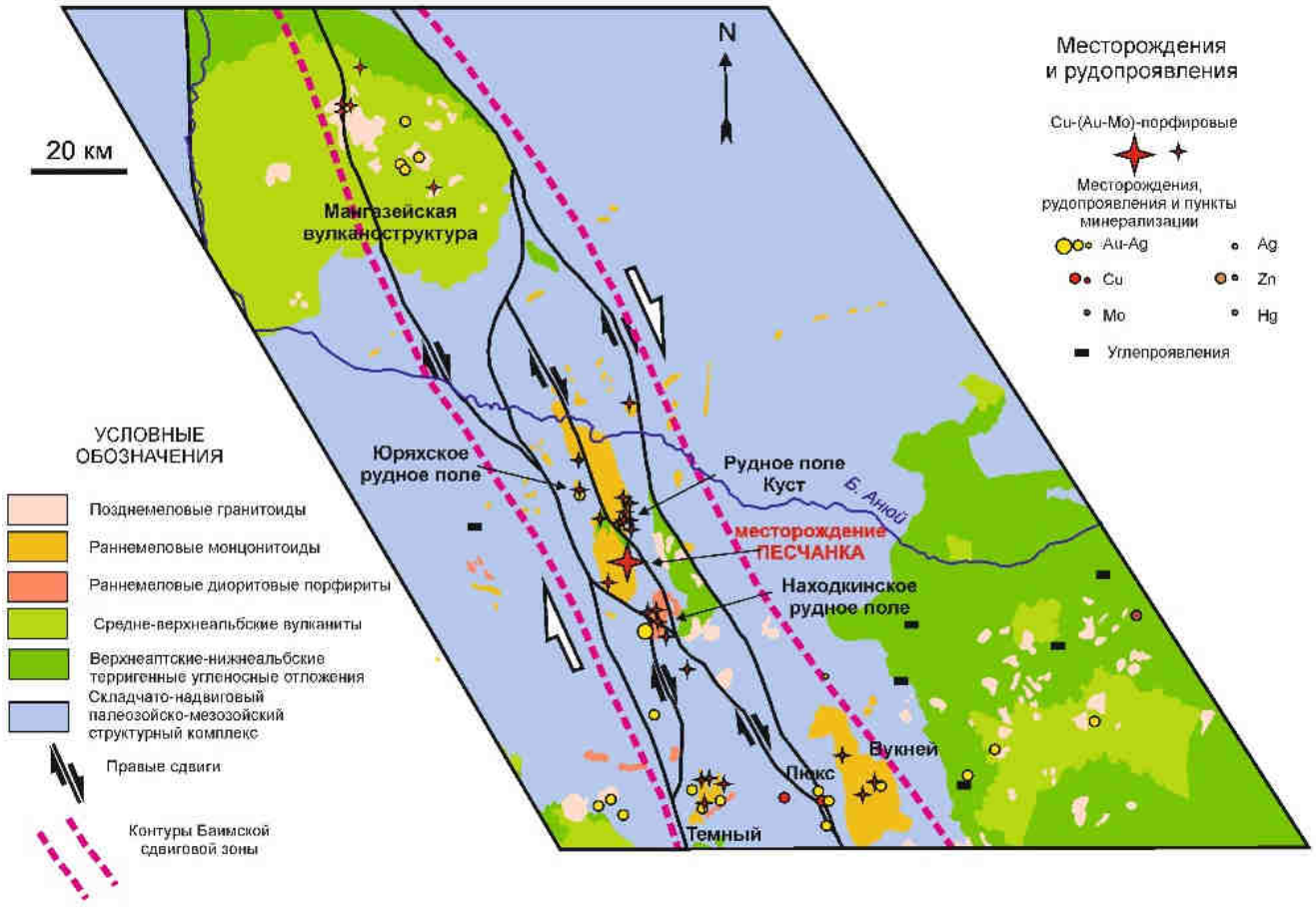
(Читалин и др., 2018)

• Геодинамические обстановки формирования медно-порфировых месторождений

GeoEurasia 2021

Баимская сдвиговая рудная зона

Баимская система рудных штокверков, Западная Чукотка



Баимская рудная зона включает месторождения и рудопроявления золото-молибден-медно-порфировых и эпитермальных золотосеребряных руд раннемелового возраста

(Читалин и др., 2013, 2016).

- Cu-Au-Mo -порфировое месторождение **Песчанка** (запасы меди 9.5 млн.т, золота 495 т) входит в двадцатку крупнейших медно-порфировых месторождений мира.

- Cu-Au-Mo -порфировое месторождение **Находка** (запасы и ресурсы меди 3.1 млн.т, золота 278 т)

- Эпитермальное Au-Ag жильно-штокверковое месторождение **Весеннее** с ресурсами золота более 350 т

Баимская рудная зона – зона глубинного правого сдвига

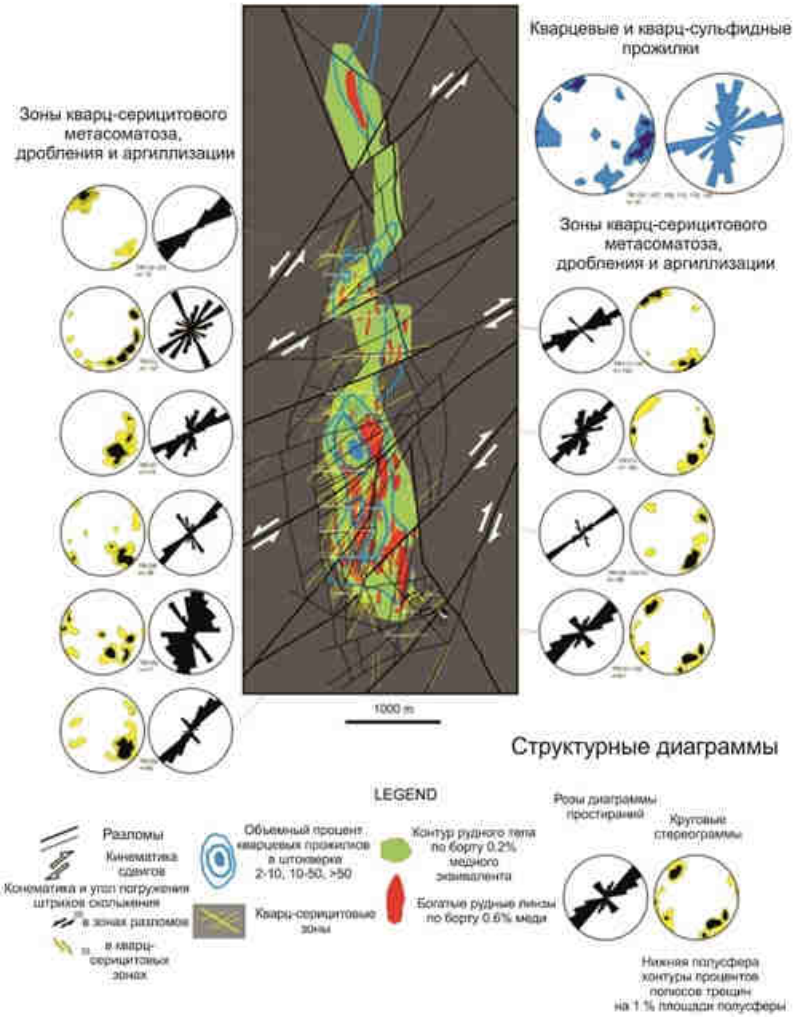
На дорудном этапе это был левый сдвиг (по геолого-структурным данным и по результатам аналогового тектонофизического моделирования)

GeoEurasia 2021

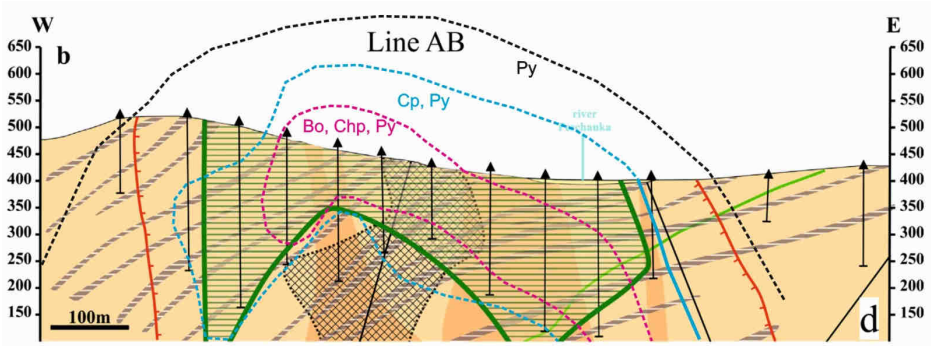
Месторождение Песчанка - структура

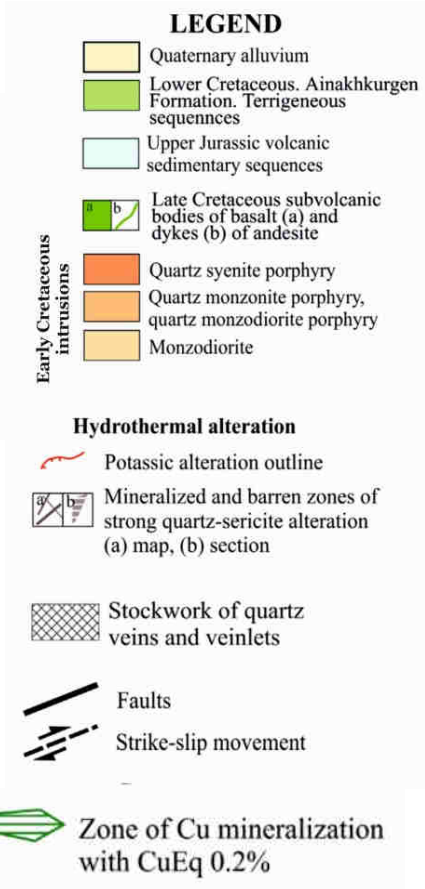
Месторождение Песчанка – полихронный штокверк

Структурная схема месторождения Песчанка



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

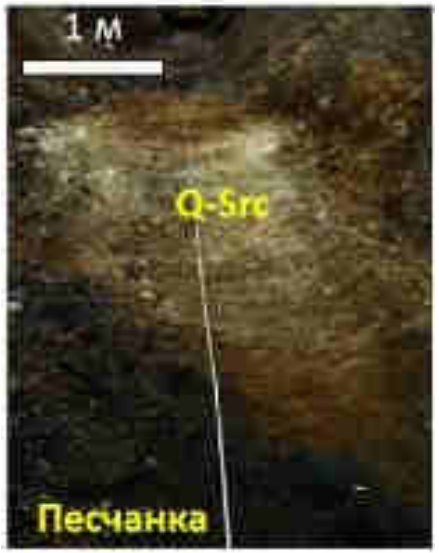
(Chitalin et al., 2012, 2021)

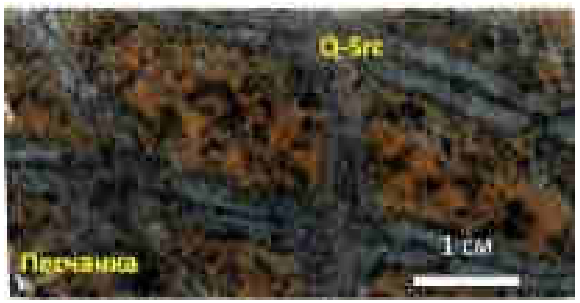
GeoEurasia 2021

Месторождение Песчанка. Строение рудного штокверка

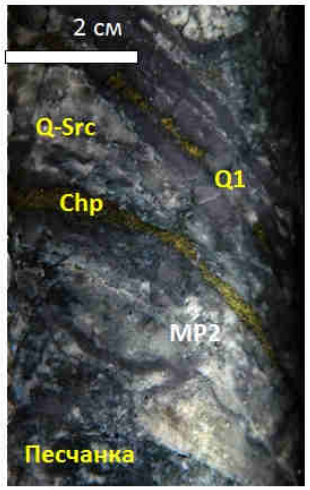
Прожилки и жилы в штокверке

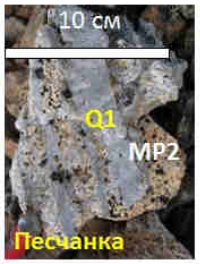
Метасоматические кварц-серицитовые прожилки и линзы





Кварцевые, кварц-сульфидные и сульфидные прожилки





Пострудный гипс-ангидритовый прожилок

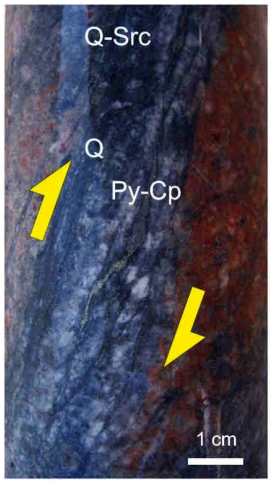
Поздние золотоносные сульфидные жилы пересекают кварцевый штокверк

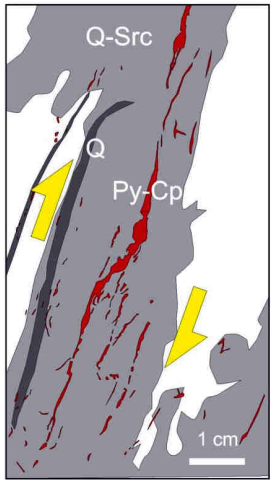
GeoEurasia 2021

Месторождение Песчанка. Строение рудного штокверка

Соотношения прожилков и кинематика

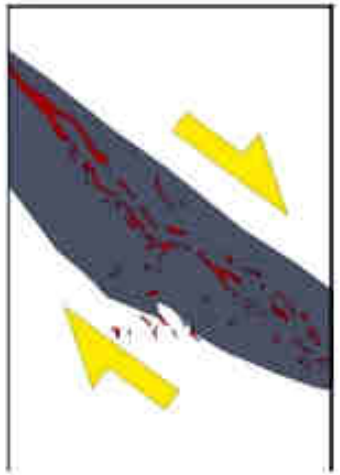
Кварцевые и сульфидные прожилки в линзе метасоматитов





взброс

Борнитовые прожилки в кварцевом прожилке



сброс

прожилки серого кварца пересекаются и брекчируются прожилками белого кварца

отрыв

Сульфидный прожилок по трещине отрыва

Правый сбросо-сдвиг

Правосдвиговое зеркало скольжения по Q-Ser-Chl-Gal прожилку

Блок-модель: кинематика и соотношения прожилков в штокверке:

Желтые – кварц-серицитовые

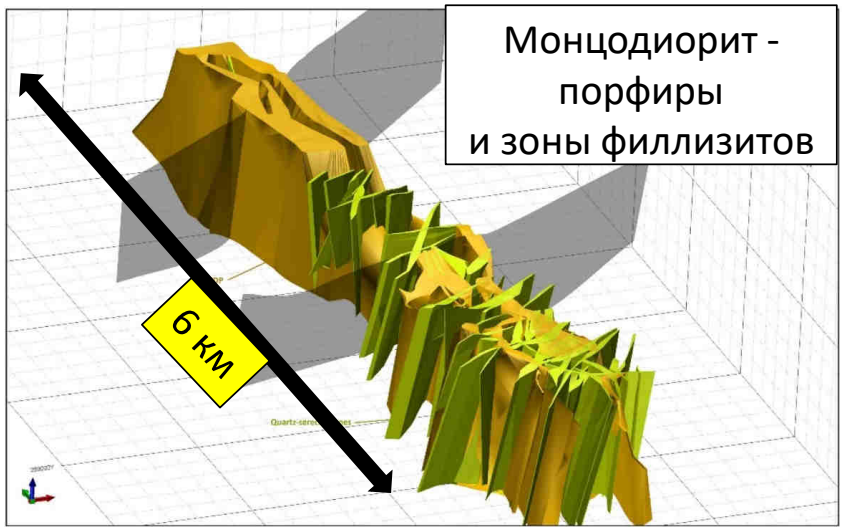
Голубые - кварцевые

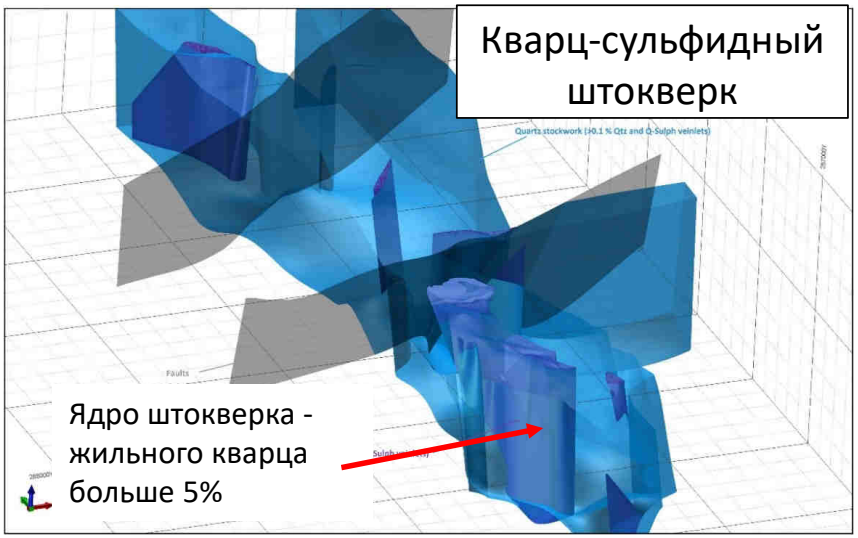
Красные - сульфидные

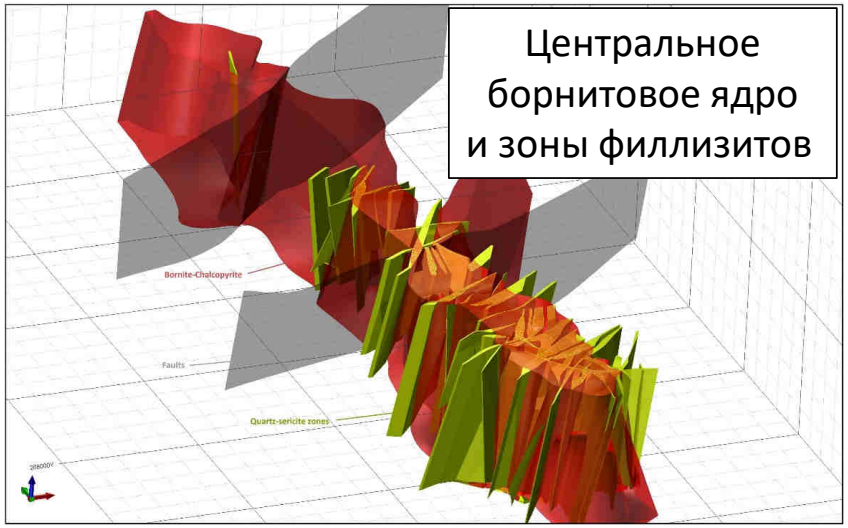
GeoEurasia 2021

Месторождение Песчанка – 3-D геологическая модель (2015)

Минерализованные структуры - соотношение с порфировой интрузией



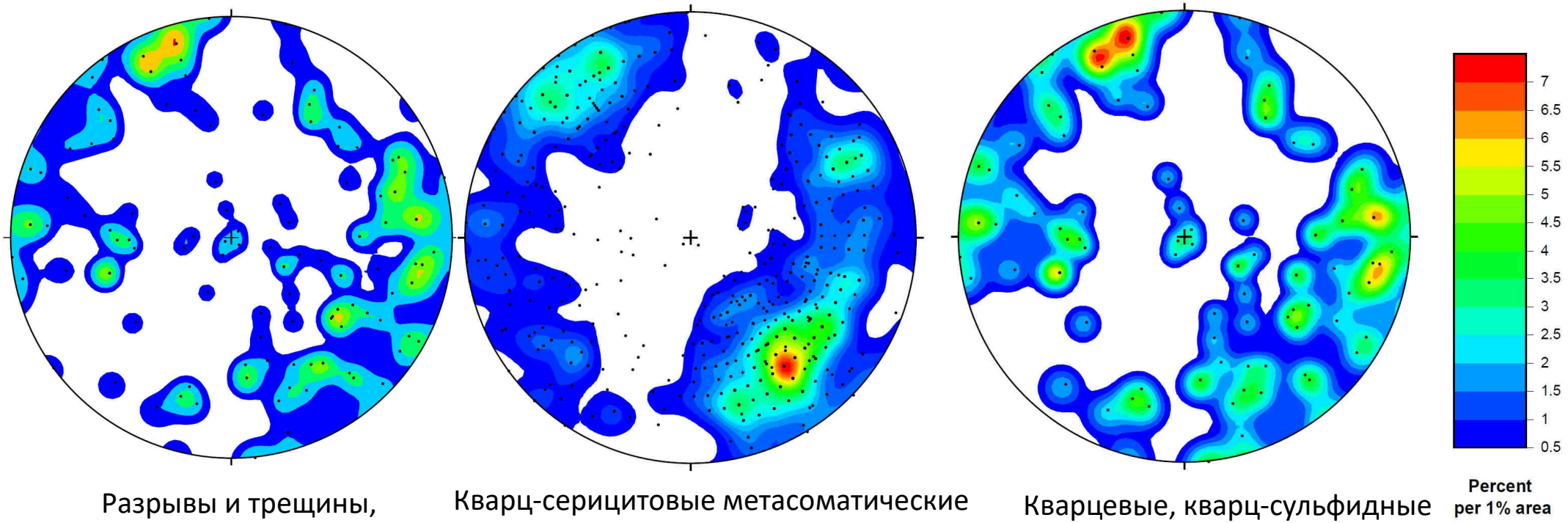




- Рудный штокверк центрирован относительно штока монцодиорит-порфиров
- Диагональные и поперечные зоны филлизитов – рудные в центре, на флангах слабо рудоносные, пиритовые или безсульфидные
- Кварц-сульфидный штокверк пересекает филлизиты
- Ядерная часть штокверка сложена богатыми борнитовыми рудами

GeoEurasia 2021

Месторождение Песчанка – структурные стереограммы



Разрывы и трещины,
125 замеров

Кварц-серицитовые метасоматические прожилки и линзы,
982 замера

Кварцевые, кварц-сульфидные прожилки,
102 замера

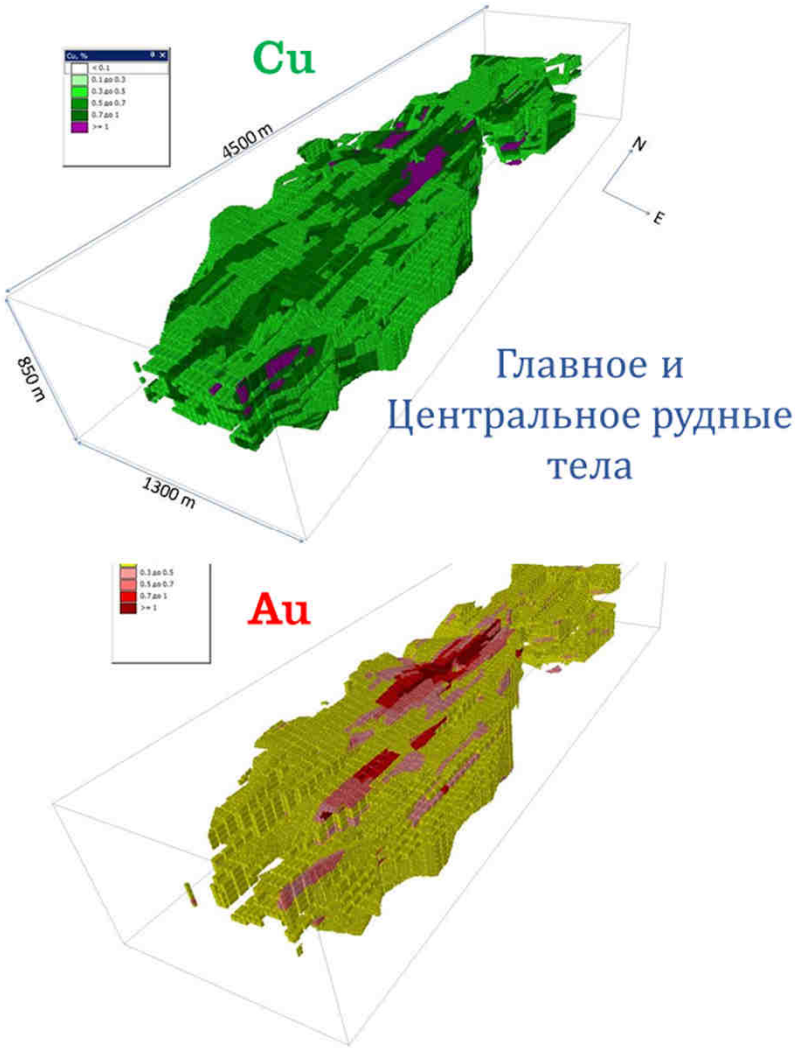
На всех стереограммах выделяются три главных максимума, соответствующих крутопадающим структурам С-Ю простирания, СВ –простирания, СЗ-простирания. Менее выражены пологие и наклонные структуры

Интерпретация: синрудный сдвиговый структурный парагенез двух сколов (сдвигов) и отрыва. Активизация и минерализация дорудных трещин и разрывов

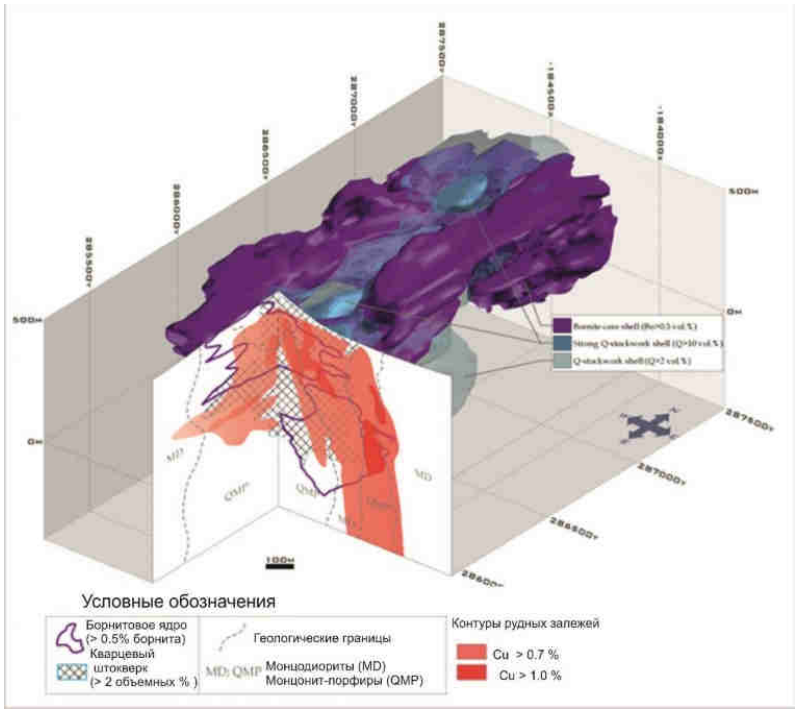
GeoEurasia 2021

Месторождение Песчанка – 3-D модели

3-D Блочные модели меди и золота (2010)



3-D модель кварц-борнитового штокверка



(Chitalin et al., 2012)

- 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

GeoEurasia 2021

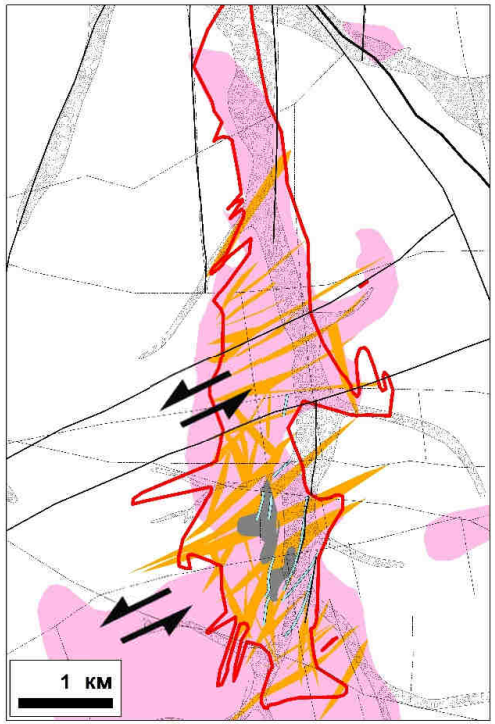
Месторождение Песчанка – основные стадии развития штокверка

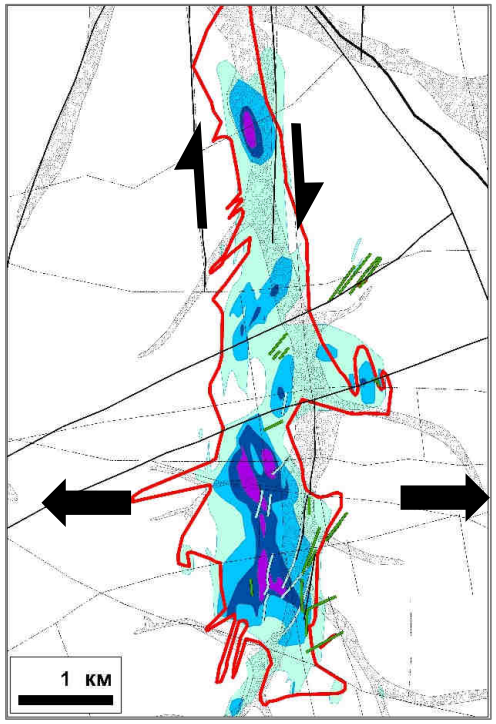
Стадия 1
Линейные зоны Ksp-Bt и Q-Src метасоматитов – минерализованные сдвиги

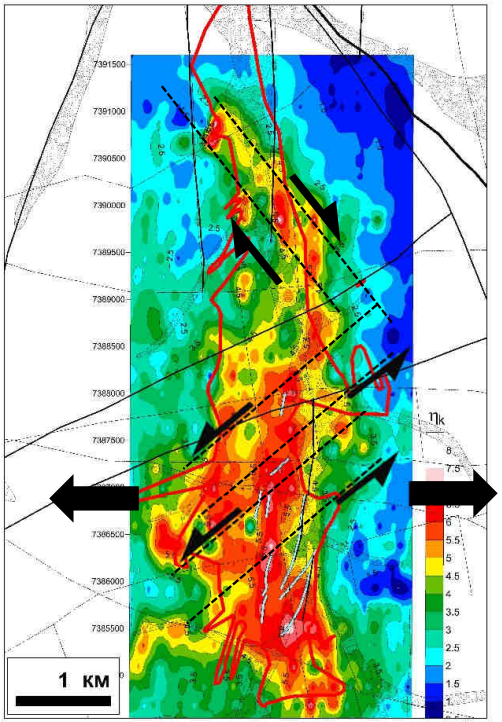
Стадия 2
Кварцевые прожилки в меридиональной зоне растяжения и правого сдвига

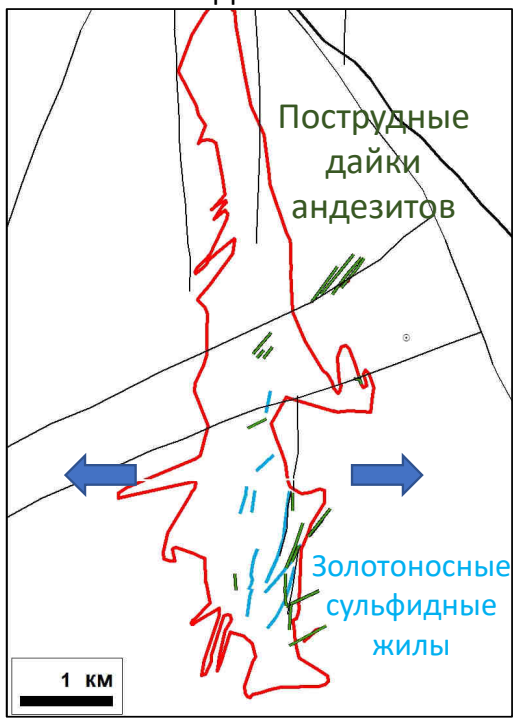
Стадия 3
Аномалии ВП - прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация – локальные структуры растяжения и сдвига

Стадия 4
Золотоносные сульфидные жилы растяжения
Стадия 5 и 6
Пострудные сдвиги и дайки андезитов







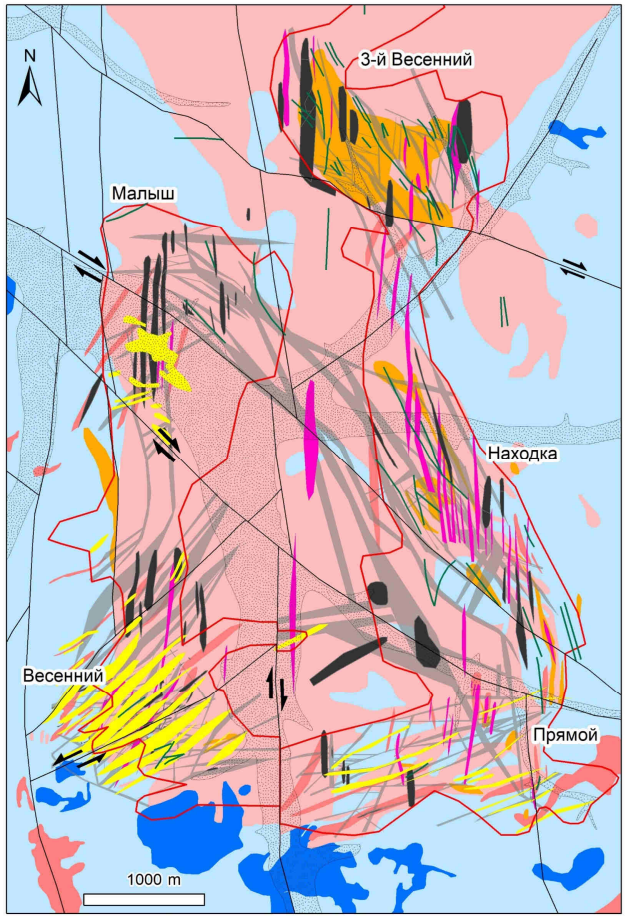


Месторождение Песчанка – линейный полихронный штокверк горизонтального растяжения и сдвига

GeoEurasia 2021

Находкинское рудное поле. Геология

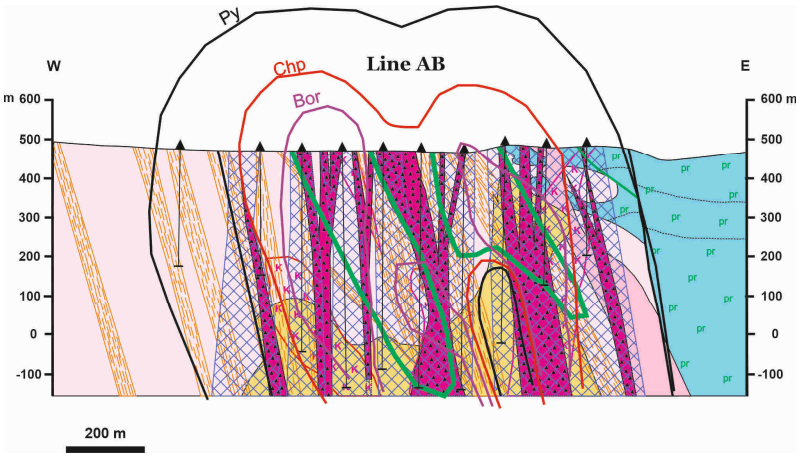
Геологическая карта



Условные обозначения

- Медно-порфировая минерализация приурочена к краевым частям штока диорит-порфиритов раннемелового возраста и ассоциирует с более поздними телами раннемеловых монцонитоидов
- Ep-Chl пропилиты и пиритовый ореол - за контуром медной минерализации
- Ksp-метасоматиты, Q-Src метасоматиты и Q- метасоматиты - в контуре медной минерализации
- Эпитермальная Au-Ag минерализация (наложенная на медно-порфировую) преобладает в западной и южной частях штока, прослежена до глубины 450 м

Находка

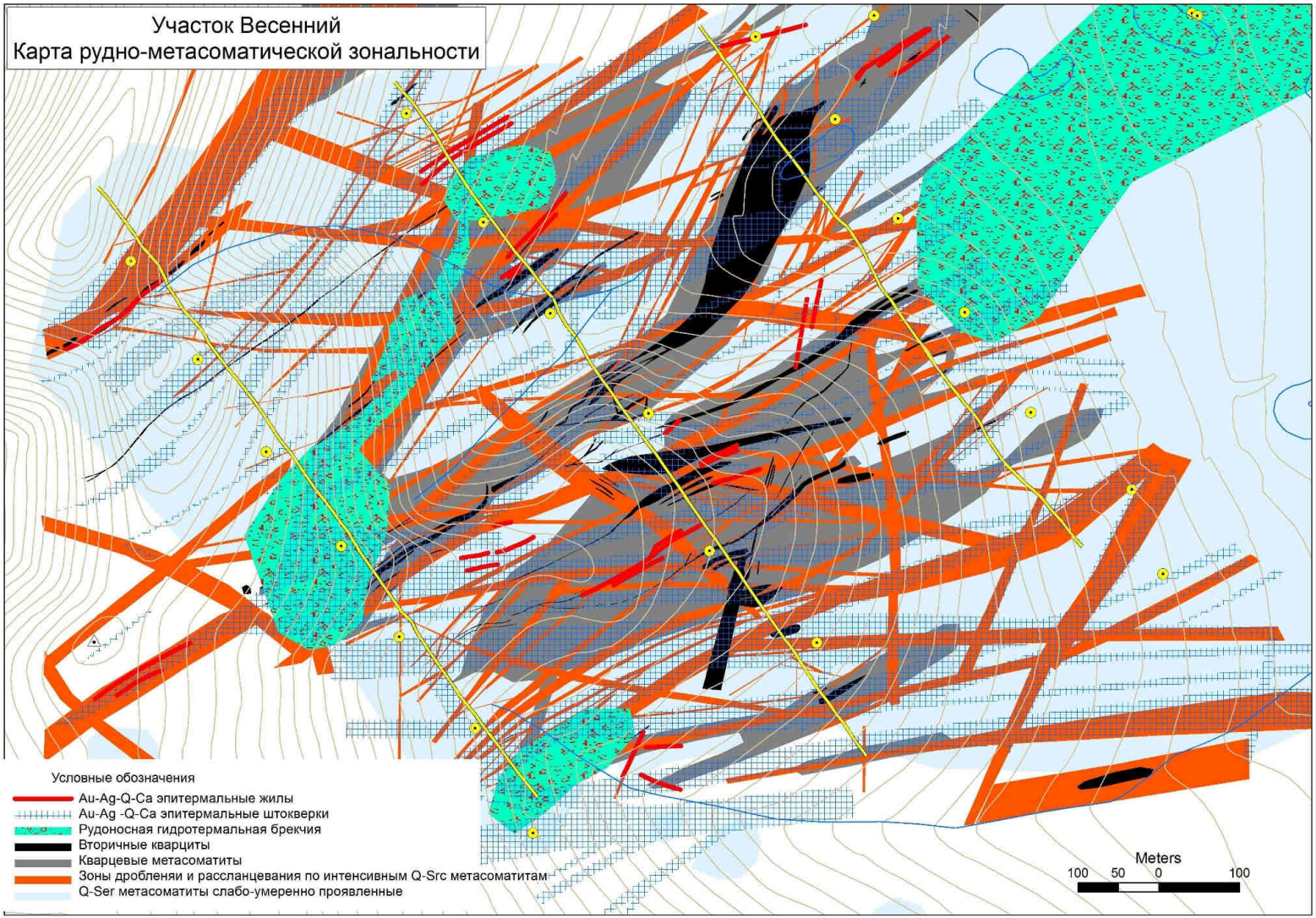


Весенний

Гидротермальная брекчия
Эпитермальная Ag-Au минерализация
(рудные тела жильно-штокверкового типа)

GeoEurasia 2021

Находкинское рудное поле. Au-Ag участок Весенний (прогнозные ресурсы Р1 более 200 т золота)



- Сложная полихронная структура рудного штокверка

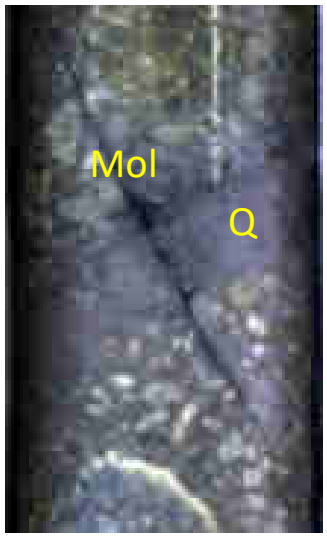
- Линейные тела рудоносных метасоматитов и кварц-сульфидные штокверки порфирового этапа пересекаются позднерудными гидротермальными брекчиями

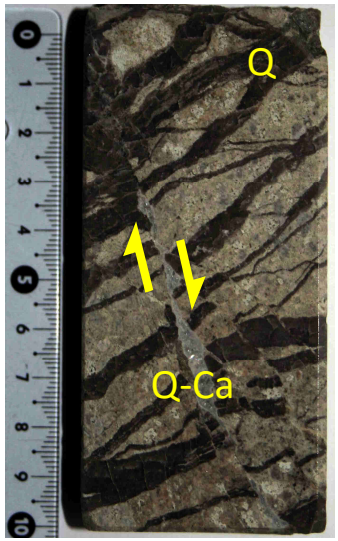
- Эпитермальные кварц-карбонатные золотоносные штокверки и жилы пересекают или наследуют зоны метасоматитов порфирового этапа, пересекают тела гидротермальных брекчий

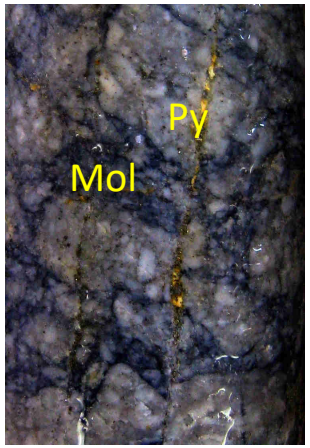
(Читалин и др., 2016)

GeoEurasia 2021

Находкинское рудное поле. Строение штокверков



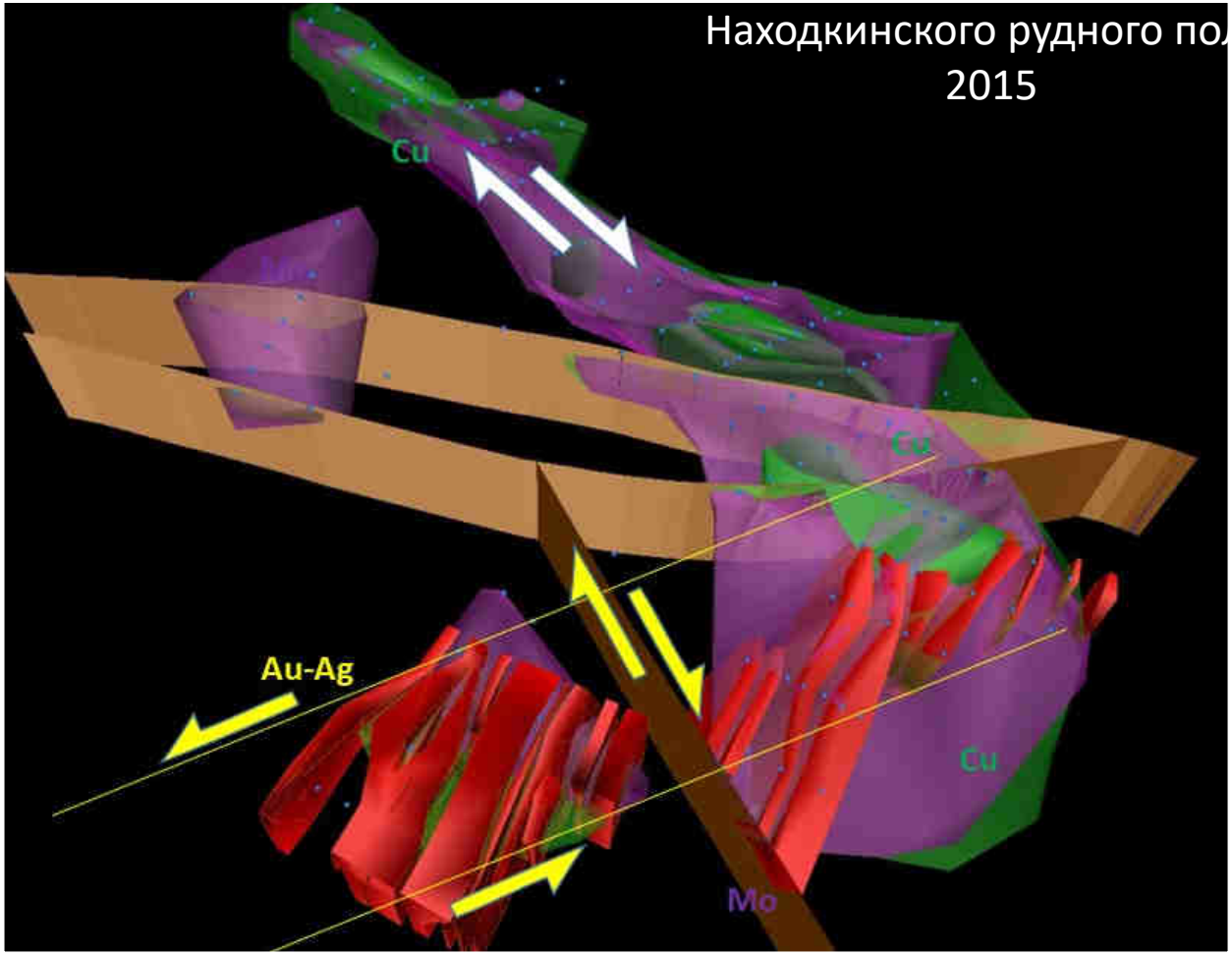




- Медно-порфировая минерализация Находкинского рудного поля аналогична минерализации месторождения Песчанка
- Наложенная эпитермальная Au-Ag минерализация представлена кварц-карбонатно–полиметаллическими жилами и линейными штокверками, которые пересекают медно-молибденовый штокверк на разных глубинах – от поверхности до глубины 450 м
- Вероятно, был период подъема и частичной эрозии медно-порфировой системы до начала формирования малоглубинной эпитермальной минерализации

GeoEurasia 2021

Находкинское рудное поле.
3-D модель молибден-медно-порфировых и золото-серебряных штокверков



- Молибденовый и медный штокверки частично совпадают в пространстве

- Эпитермальная золото-серебряная жильно-прожилковая минерализация наложена на молибден-медно-порфировый штокверк

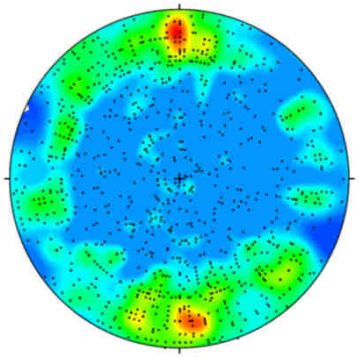
- Кулисное расположение рудоносных структур обусловлено их формированием в сдвиговых зонах

(Читалин и др., 2016)

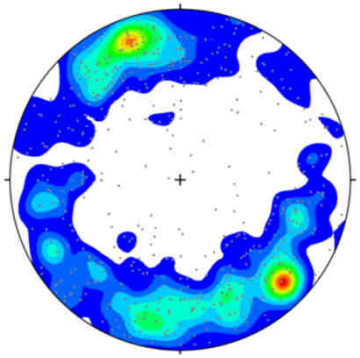
GeoEurasia 2021

Находкинское рудное поле – структурные стереограммы

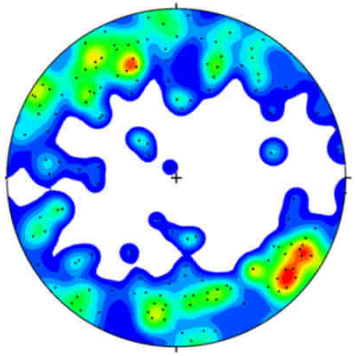
Медные штокверки



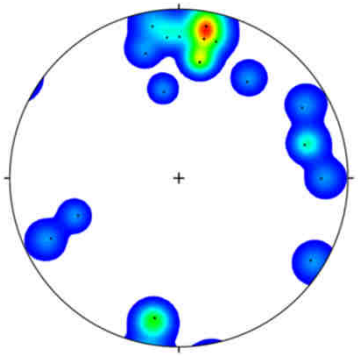
Разрывы и трещины, 1259 замеров



Кварц-серицитовые метасоматические прожилки и линзы, 932 замера



Кварцевые прожилки, 184 замера



Кварц-сульфидные прожилки, 27 замеров

На всех стереограммах выделяются три главных максимума, соответствующих крутопадающим структурам З-В простирания, С-Ю простирания, СВ –простирания, СЗ-простирания. Менее выражены пологие и наклонные структуры

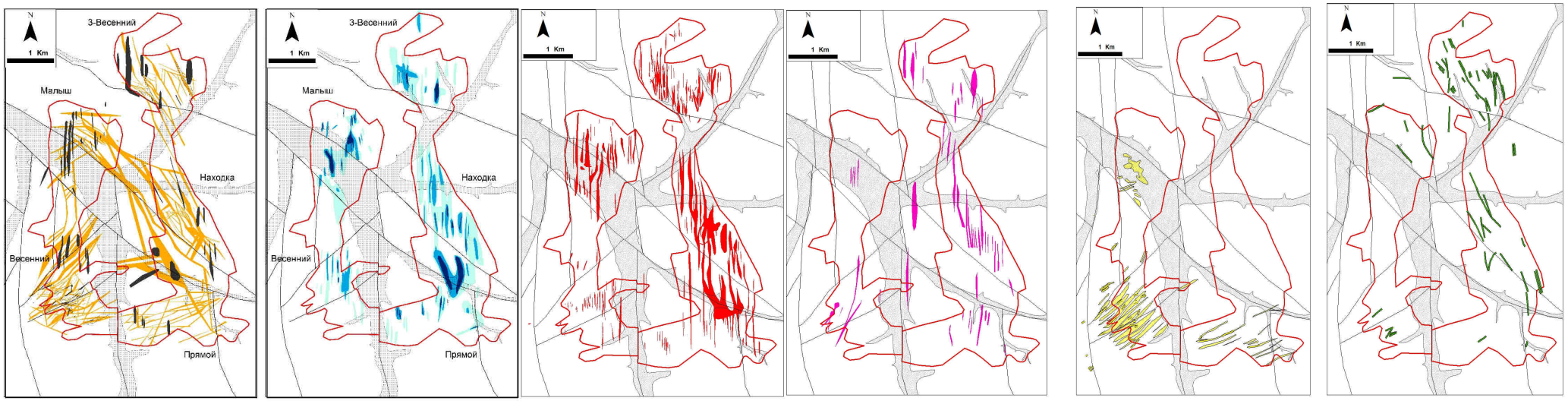
Эпитермальное Au-Ag месторождение Весеннее

Интерпретация: сдвиговые структурные парагенезы двух сколов (сдвигов) и отрыва. Активизация и минерализация дорудных трещин и разрывов

GeoEurasia 2021

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

Кварцевый штокверк

объемный процент кварца

10

5

1

Контур медной минерализации

Богатая медная минерализация

Гидротермальная брекчия

Au-Ag жилы и штокверки

Пострудные дайки андезитов

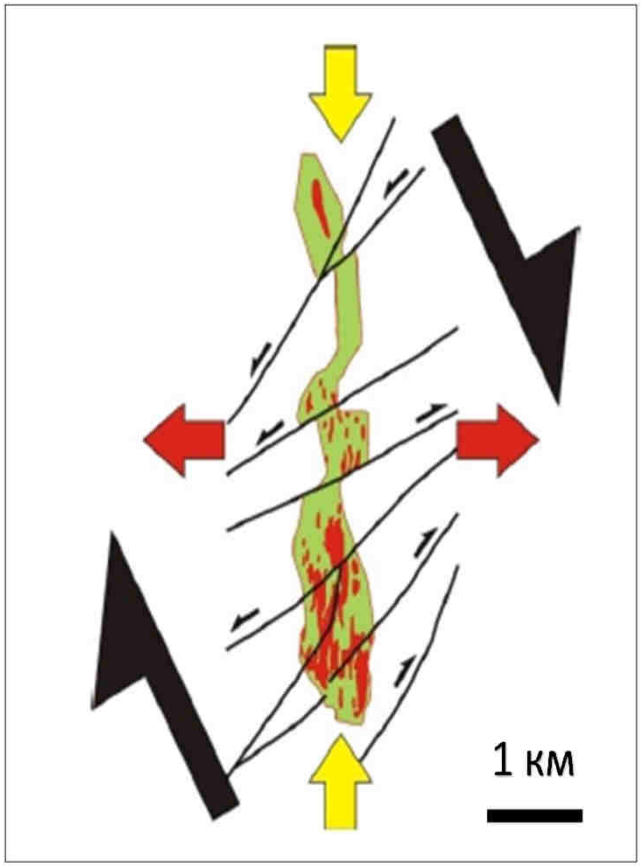
(Читалин и др., 2020)

GeoEurasia 2021

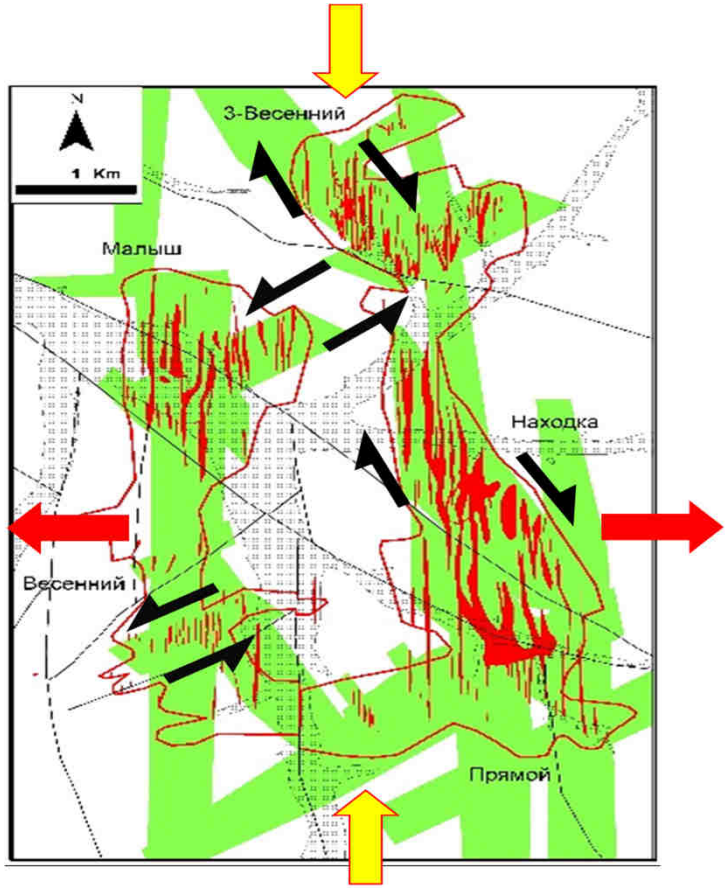
Структурные модели штокверков месторождений Баимской рудной зоны

Медно-порфировая минерализация

Месторождение Песчанка (CuMoAu)



Находкинское рудное поле (CuMoAu)



- Линейные кварц-медносульфидные штокверки месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля сформировались в несколько стадий в зоне Баимского глубинного сдвига как структуры локального горизонтального растяжения и сдвига

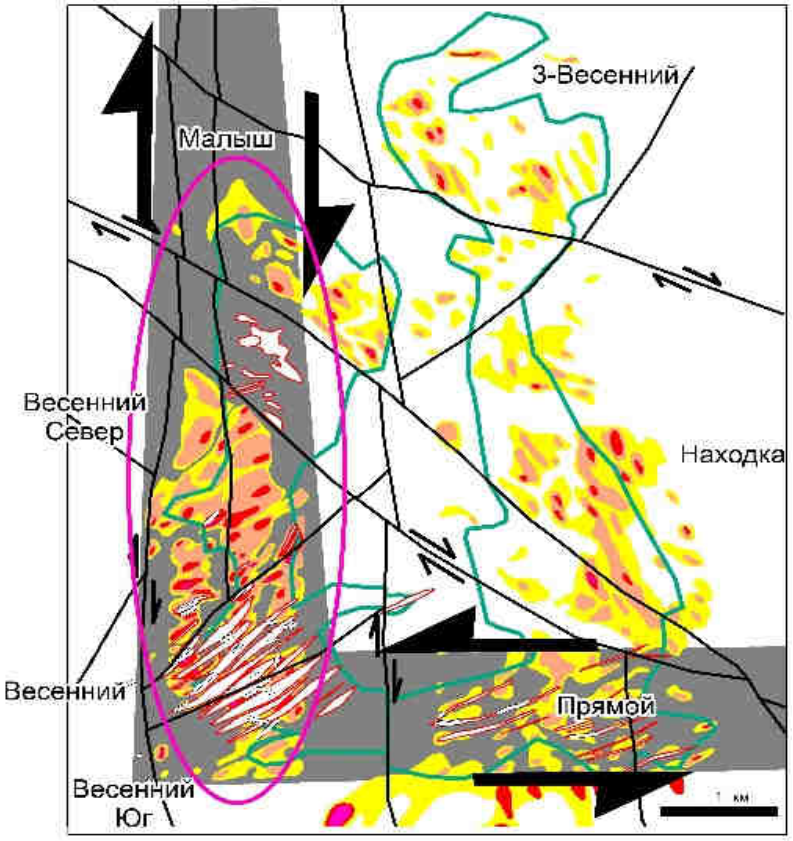
Красные линзы – богатые руды. Контур штокверка (красная линия) проведен по бортовому содержанию CuEq 0.2%

GeoEurasia 2021

Структурные модели штокверков месторождений Баимской рудной зоны

Золото-серебряная минерализация

Находкинское рудное поле



Золотоносные линейные штокверки и жилы.
Почвенные аномалии золота

- Структурная модель - сопряженные сдвиговые зоны, контролирующие золото-серебряную эпитермальную минерализацию.

- «Послепорфировые» эпитермальные золотоносные кварцевые жилы и штокверки Находкинского рудного поля являются структурами растяжения, которые кулисно располагаются в сдвиговых зонах.

- Штокверк крупнотоннажного (ресурсы более 200 т золота) месторождения Весеннее сформировался в узле пересечения сопряженных зон сдвиговых деформаций – меридиональной зоны правостороннего сдвига и широтной зоны левостороннего сдвига

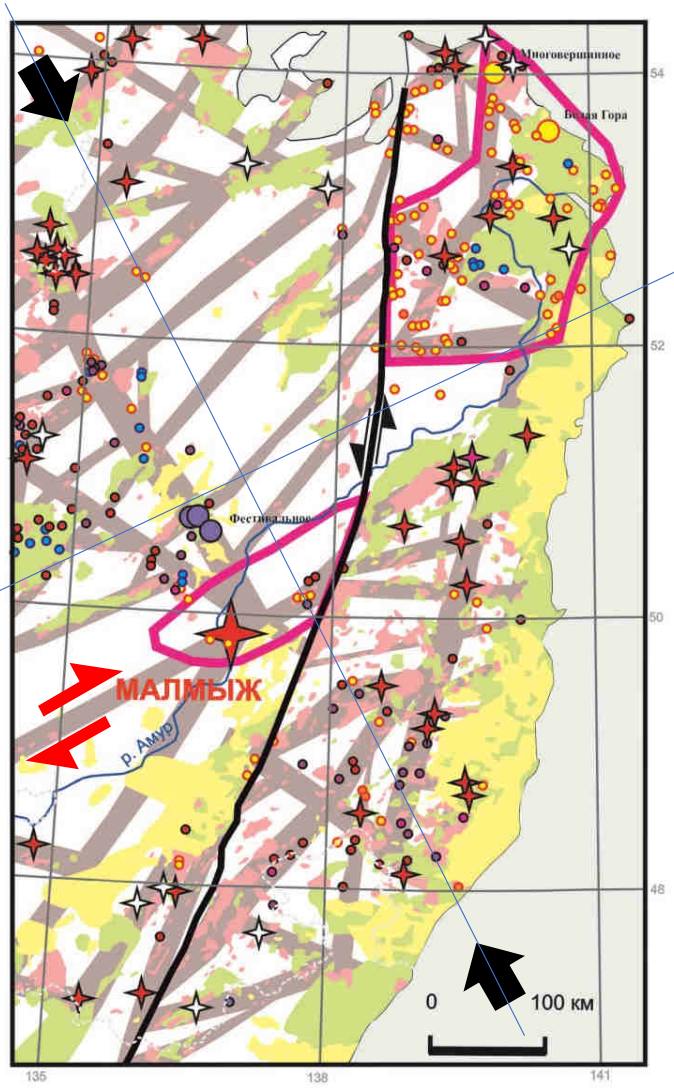
- Сиреневым эллипсом показан контур прогнозируемого крупнотоннажного (Au > 600 т) золото-серебряного месторождения Весеннее

(Читалин и др., 2019)

GeoEurasia 2021

Месторождение Малмыж (5,2 млн т меди и 278 т золота).

Мылмыжская правосдвиговая зона в структуре Центрально Северного Сихоте-Алиньского левого сдвига

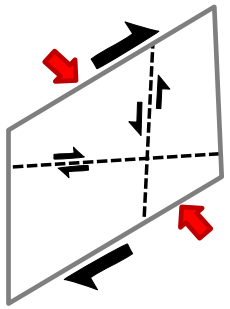


Условные обозначения

- N2-Q1 рифтогенные базальты
- Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс
- Фундамент вулканического пояса
- K2-N1 гранитоиды
- Тектонические зоны проницаемости (по М.И. Девянину, 1991, с изменениями)
- Центральный Сихотэ-Алинский сдвиг
- Малмыжская золото-медно-порфировая система
- Нижне-Амурский Рудный Кластер

Месторождения и рудопроявления

- Золота
- Серебра
- Меди
- Молибдена
- Свинца и цинка
- Олова
- Вольфрама
- Медно-порфировые
- Молибден-порфировые
- Перспективные медно-порфировые участки (по М.И. Девянину, 1991)



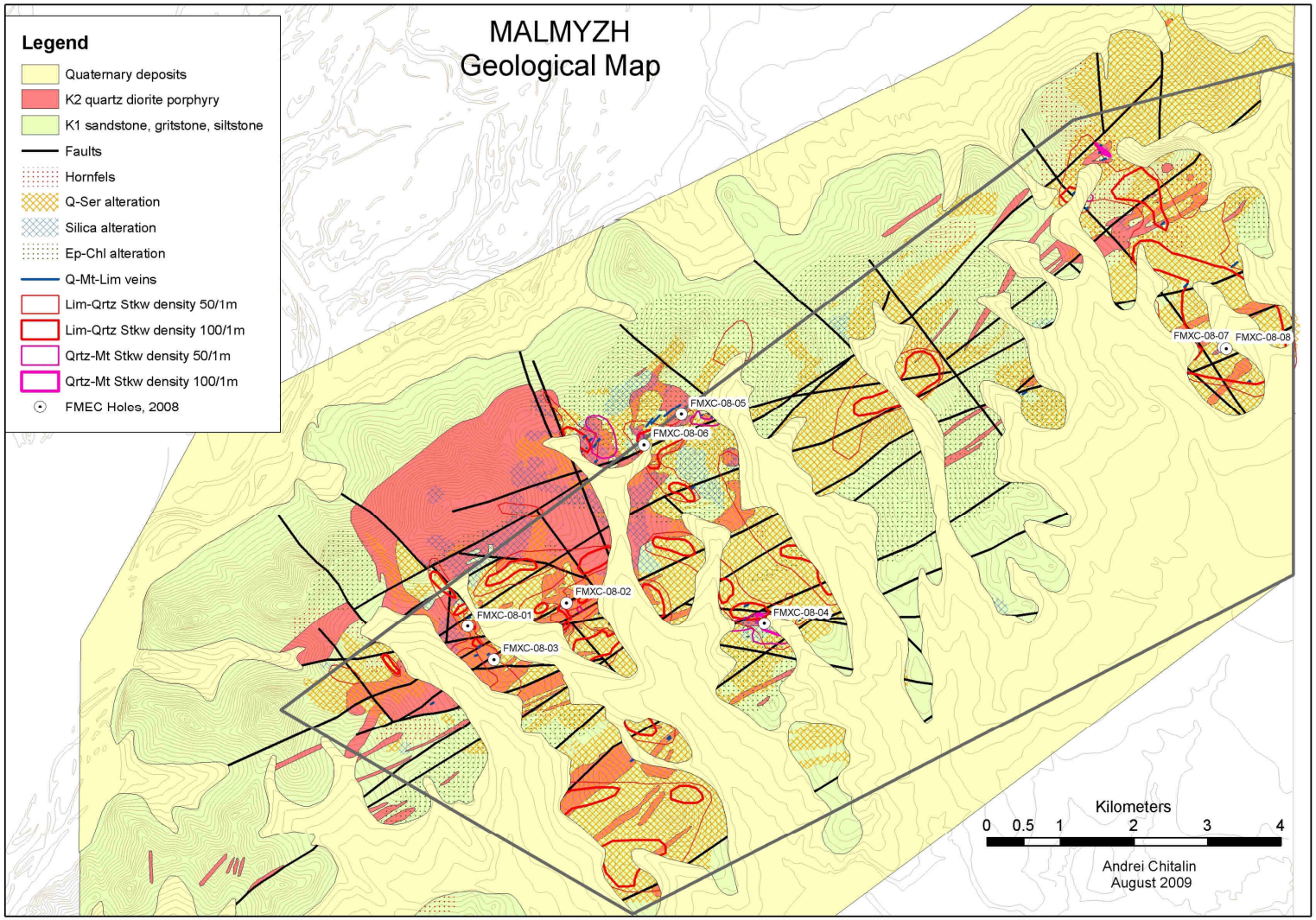
Модель простого сдвига и сжатия (М.В. Гзовский, 1975)

(Читалин, Воскресенский и др., 2013)

GeoEurasia 2021

Месторождение Малмыж. Геология

Месторождение Малмыж. Геологическая карта

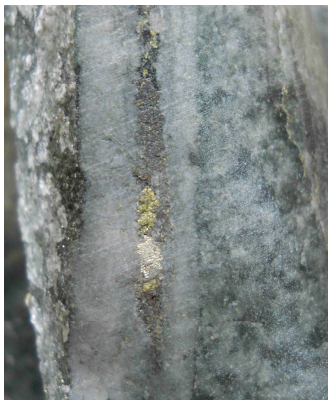


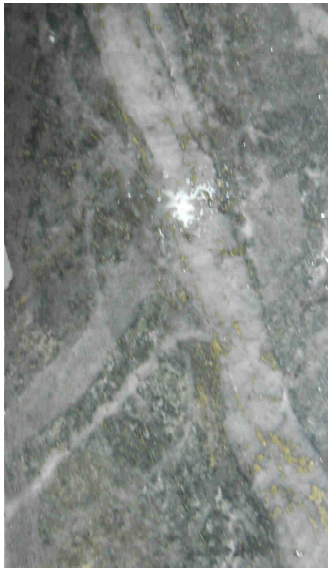
- Рудные штокверки локализованы как в штоках диоритовых порфиритов, так и во вмещающих их терригенных породах
- Штокверки смещены пострудными сдвигами

GeoEurasia 2021

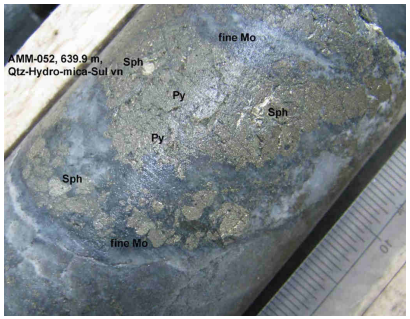
Месторождение Малмыж. Строение штокверков

Кварц-сульфидные прожилки





Сульфидные прожилки



Прожилки в зоне окисления

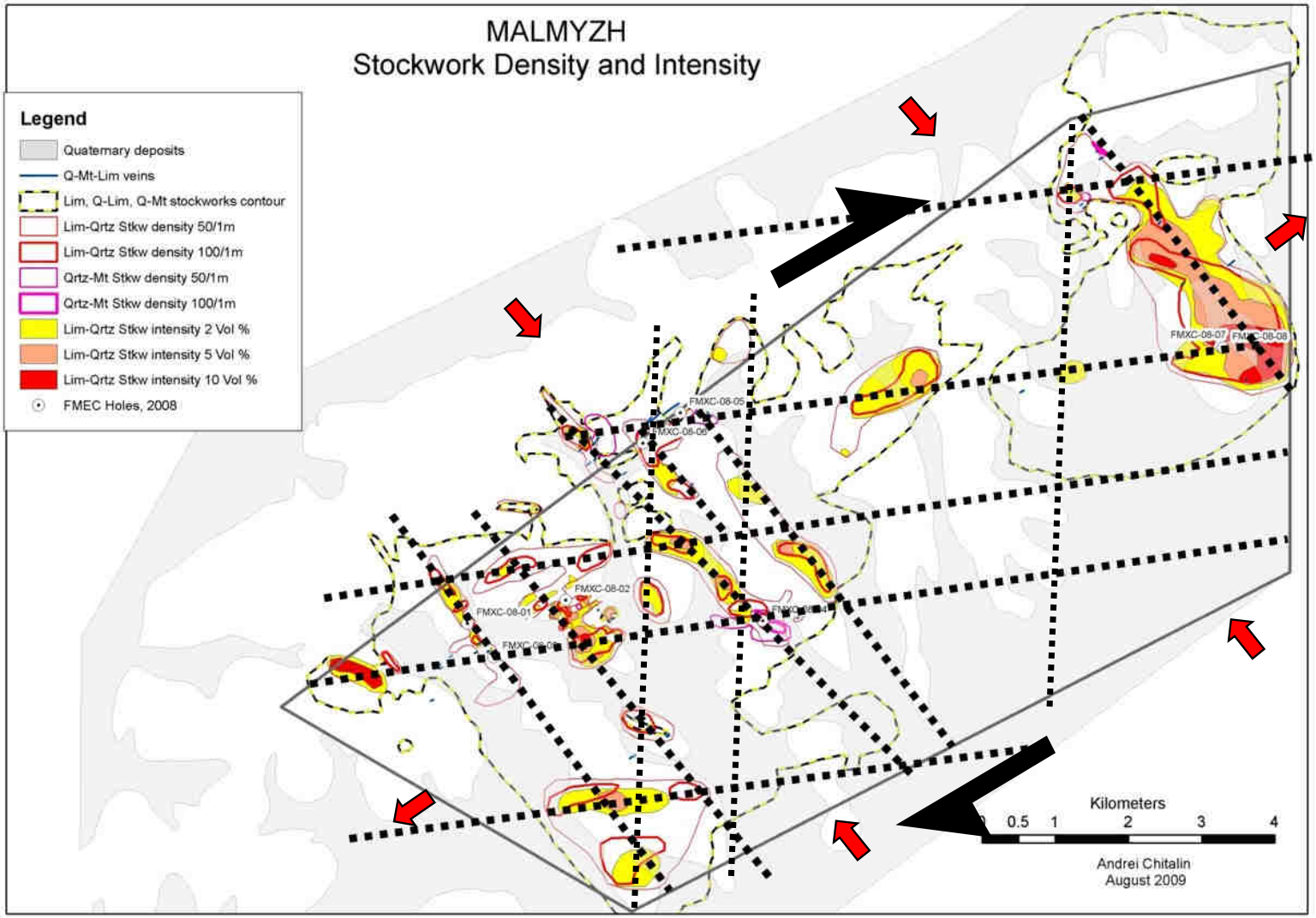
Кварц-серицит-пиритовые прожилки

Фото К. Воскресенского, А. Ефимова

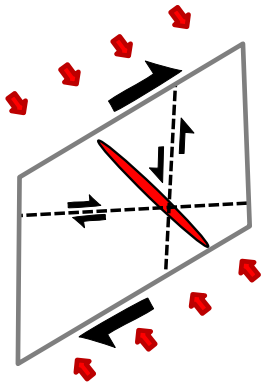
GeoEurasia 2021

Месторождение Малмыж. Структурная модель

Месторождение Малмыж. Штокверки и структурные тренды



Зона правосдвиговой транспрессии (простой сдвиг + дополнительное сжатие)



Тектонофизическая модель простого сдвига и дополнительного сжатия (Гзовский, 1975)

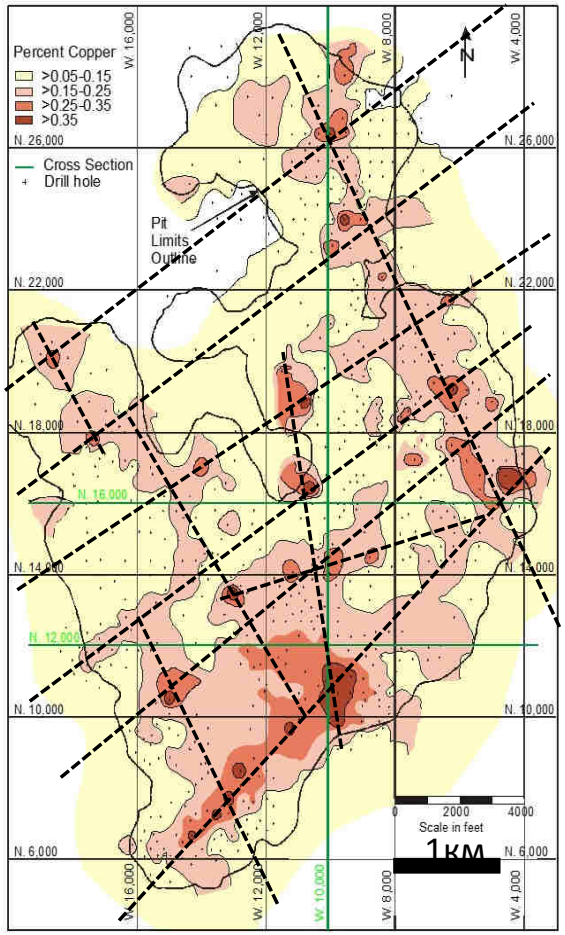
Рудные штокверки контролируются структурными трендами – трещиноватостью скалывания (сдвига) и отрыва

GeoEurasia 2021

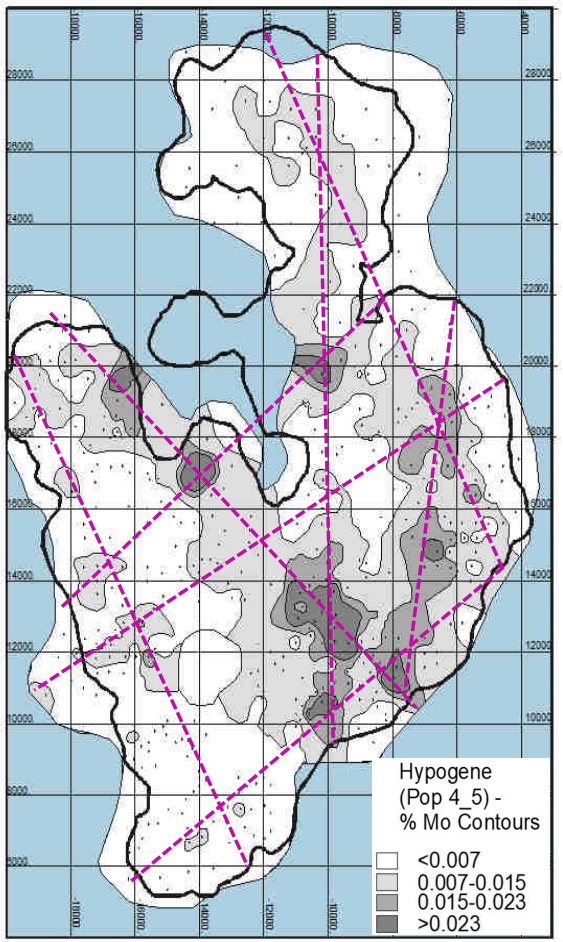
Месторождение Моренси (запасы меди 5.12 млн.т), Аризона, США

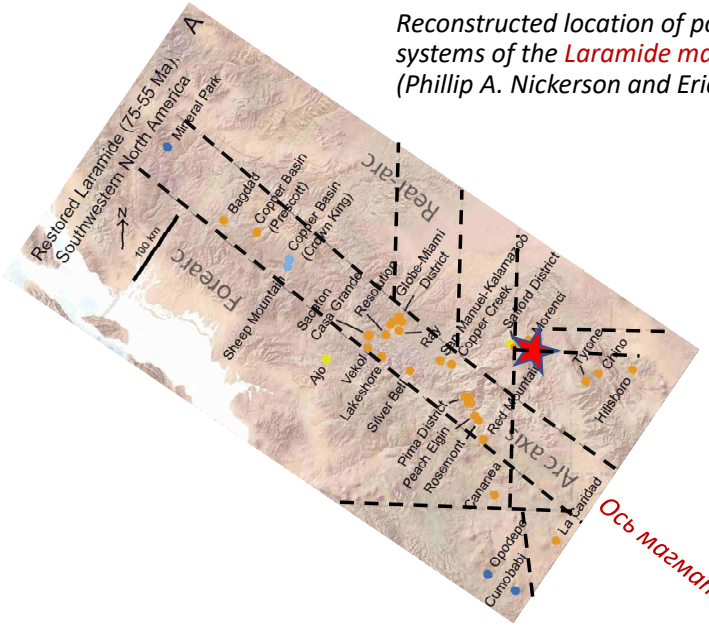
Штокверки и структурные тренды в узле пересечения региональных сдвигов

Cu штокверки



Mo штокверки





Reconstructed location of porphyry systems of the Laramide magmatic arc. (Phillip A. Nickerson and Eric Seedorff, 2016)

Ось магматической дуги

Рудные штокверки контролируются структурными трендами – трещиноватостью скалывания (сдвига) в узле пересечения региональных сдвигов

Использованы карты распределения гипогенной меди и молибдена из диссертации Merritt S.E. (2000)

GeoEurasia 2021

Месторождение Моренси. Строение штокверков

Кварц-серицитовый и кварц-сульфидный прожилки

Кварц-серицит-пиритовые прожилки

Кварцевые прожилки

Прожилки хризоколлы и гематита в зоне окисления

Кварц-молибденитовый прожилок

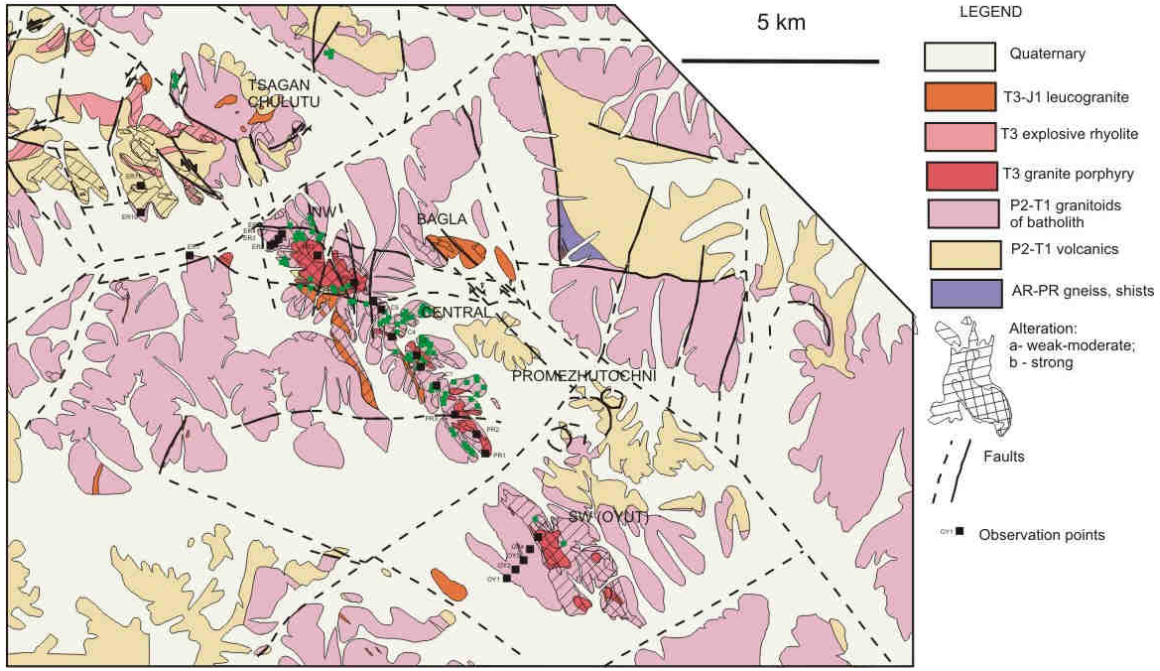
Кварц-халькозиновые прожилки в зоне вторичного обогащения

GeoEurasia 2021

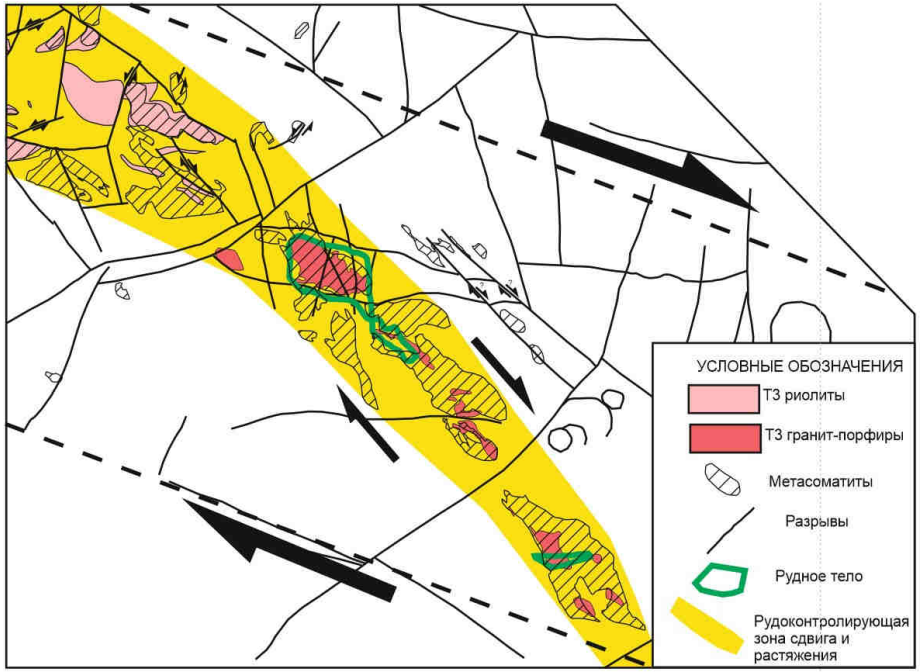
Месторождение Эрденет (запасы меди 4.8 млн. т), Северная Монголия

Месторождение Эрденет

Геологическая схема



Структурная схема

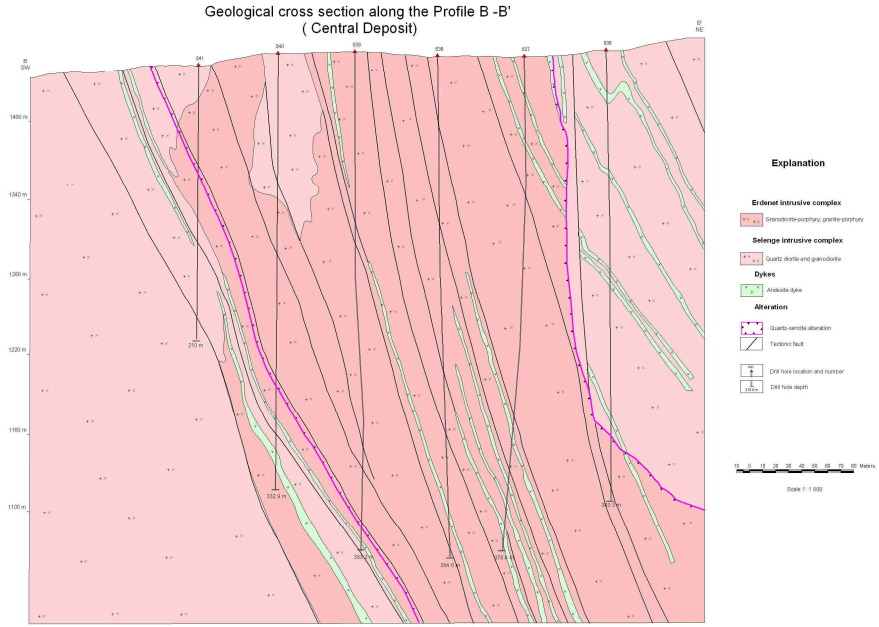


Рудные штокверки, метасоматиты и порфировые штоки контролируются зоной растяжения в структуре регионального правого сдвига

GeoEurasia 2021

Месторождение Эрденет. Центральный штокверк

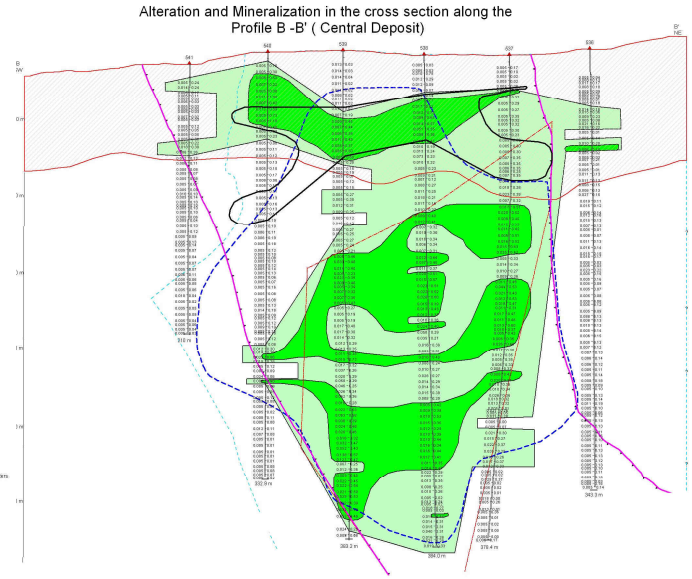
Геологический разрез



Порфировая интрузия, дайки, разломы

Пологие богатые рудные залежи в штокверке контролируются дорудными пологими трещинами контракции

Пологие рудные линзы (по изолинии Cu > 0.4%) в штокверке



Кварцевые прожилки

Кварц-хризоколловая жила в зоне окиления

Пирит-лимонитовый штокверк в зоне окисления

Кварцевые прожилки

GeoEurasia 2021

Заключение

- Рудные штокверки крупных медно-порфировых систем формировались в зонах региональных сдвигов
- Штокверки являются полихронными тектоническими структурами, сформировавшимися в несколько этапов и стадий деформации в пульсационно-прерывистом режиме под влиянием региональных и локальных сил сжатия и растяжения, а также, вероятно, давления гидротерм (гидроразрыв)
- Штокверки образуются в благоприятных структурных ловушках - в кулисных структурах растяжения и в узлах пересечения разломов – это важно учитывать при прогнозировании и поисках
- При разведке штокверков, при выборе параметров разведочной сети, необходимо учитывать возможную вертикальную и горизонтальную зональность в распределении богатых и бедных руд. Для оценки запасов эффективно разнонаправленное наклонное бурение

GeoEurasia 2021

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

INSTITUTE OF GEOTECHNOLOGY

GeoEurasia 2021