Геолого-геофизическая конференция и выставка

GeoEurasia 2020

Структура и условия образования рудных штокверков крупных месторождений меди, золота и олова Колымско-Чукотского региона

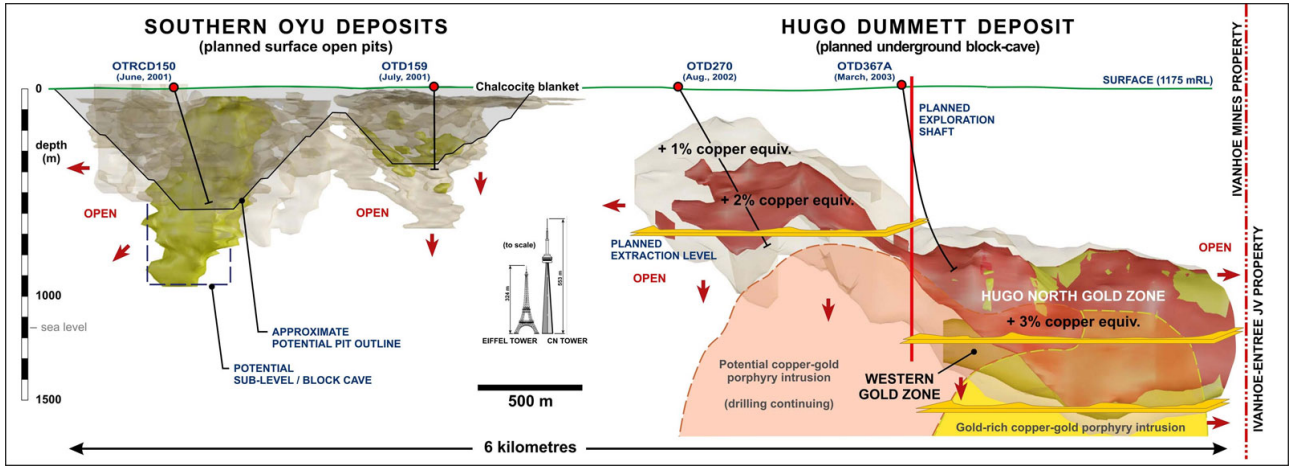
Читалин Андрей Федорович,

Гришин Евгений Михайлович, Усенко Виктор Владимирович, Фомичев Евгений Вячеславович, Чикатуева Виктория Юрьевна, Сивков Дмитрий Васильевич

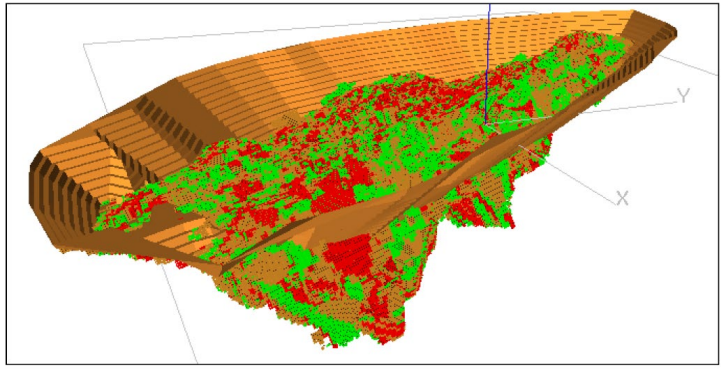
ООО «Институт геотехнологий» (ИГТ)/г. Москва

Актуальность изучения штокверков

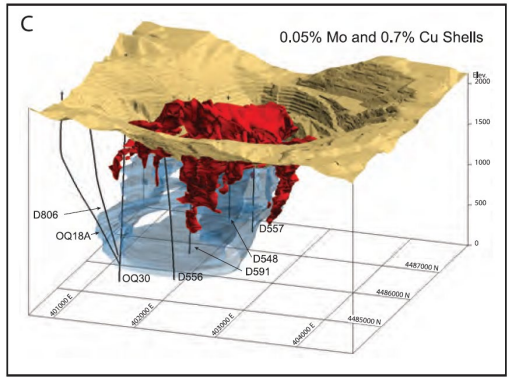
Oyu Tolgoy (Cu-Mo-Au)
Mongolia



Наталка (Au)
Россия



Bingham Canyon (Cu-Mo-Au)
USA



- **Крупнотоннажные штокверковые месторождения обеспечивают основную долю запасов металлов во всех горнорудных областях мира.**

- **Штокверк** (нем. Stockwerk, англ. stockwork;) - **объемное тело горных пород, пронизанных густой сетью рудоносных гидротермальных прожилков и жил.**

- **Форма штокверков, густота и ориентировка прожилков может быть различной.**

- **Причиной образования штокверков обычно считают флюидный гидроразрыв (?) на участке декомпрессии в кровле остывающего порфирового штока**

GeoEurasia 2020

Цель и методы исследования

- Цель исследования – **создание структурно-кинематической модели штокверков и определение условий их локализации.**

Практическое значение

- **Выявление структурных ловушек с целью прогноза месторождений и рудных тел;**
- **Определение объемной геометрии богатых руд для уточнения параметров разведочной сети**
- **Уточнение поисковых моделей**

- Методы исследования

- Полевой структурный анализ обнажений и керна и в**ыделение структурно-минеральных парагенезов**
- Минералогический анализ
- Рентгеновская микротомография
- Структурный анализ карт - геологических, геохимических и геофизических

- Данные

- **Собственные данные полевых исследований**
- Опубликованные данные и материалы **из отчетов по разведке, различные карты**

GeoEurasia 2020

Региональная позиция изученных штокверковых месторождений

Сдвиговые зоны

Месторождения

- Au
- Au-Ag
- CuMoAu
- Sn

• Структурное положение крупнотоннажных штокверковых месторождений Колымско-Чукотского региона контролируется глубинными сдвигами, которые пересекают различные геологические терейны

• Изученные **типы штокверковых месторождений:**

“orogenic type” **золото-кварцевые (Дегдекан, Дражный)**

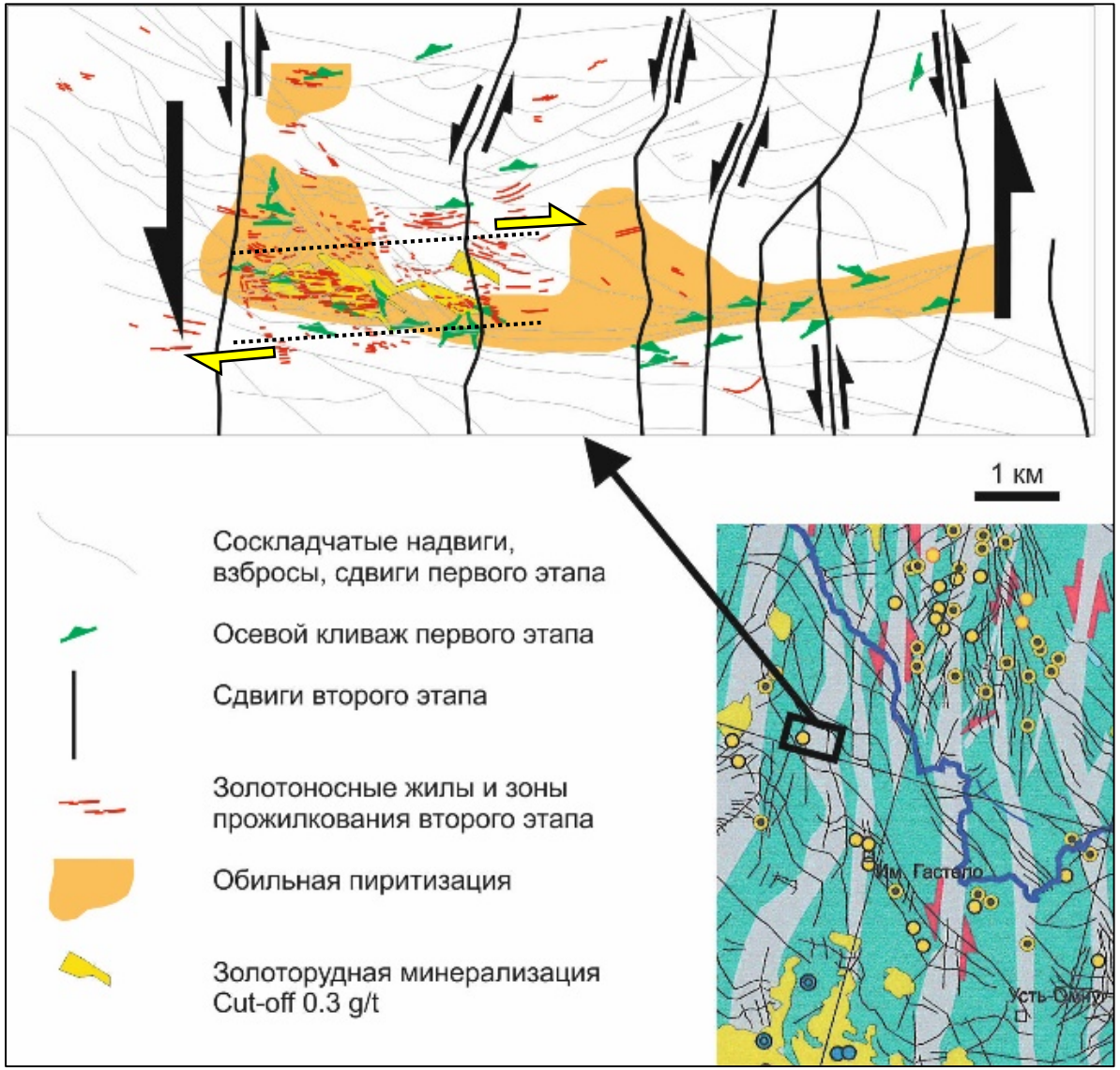
“porphyry type”**: медно-порфировые (Песчанка, Находкинское рудное поле), олово-порфировые (Пыркакайские штокверки)**

“epithermal type” **золото-серебряные (Весенний)**

GeoEurasia 2020

Месторождение Дегдекан (Au 260 т), Магаданская область

Структурная схема месторождения Дегдекан



- Жильно-штокверковое золото-кварцевое месторождение Дегдекан приурочено к ядру Тенькинской антиклинали, сложенной пермскими терригенными отложениями

- Рудное поле контролируется зоной меридионального левого сдвига и находится в смыкающем широтном крыле крупной сигмоиды, которая образовались в результате сдвига. Сигмоида изгибает в плане дорудные складки и разрывы

- Кулисные золотоносные штокверки являются локальными структурами растяжения в сопряженной широтной зоне правого сдвига

Справа внизу - фрагмент тектонической схемы, на которой черными линиями показаны пересекающиеся оси складок (наложенная складчатость) и серым цветом – флексурные левосдвиговые зоны. Красными полустрелками показана кинематика сдвиговых зон

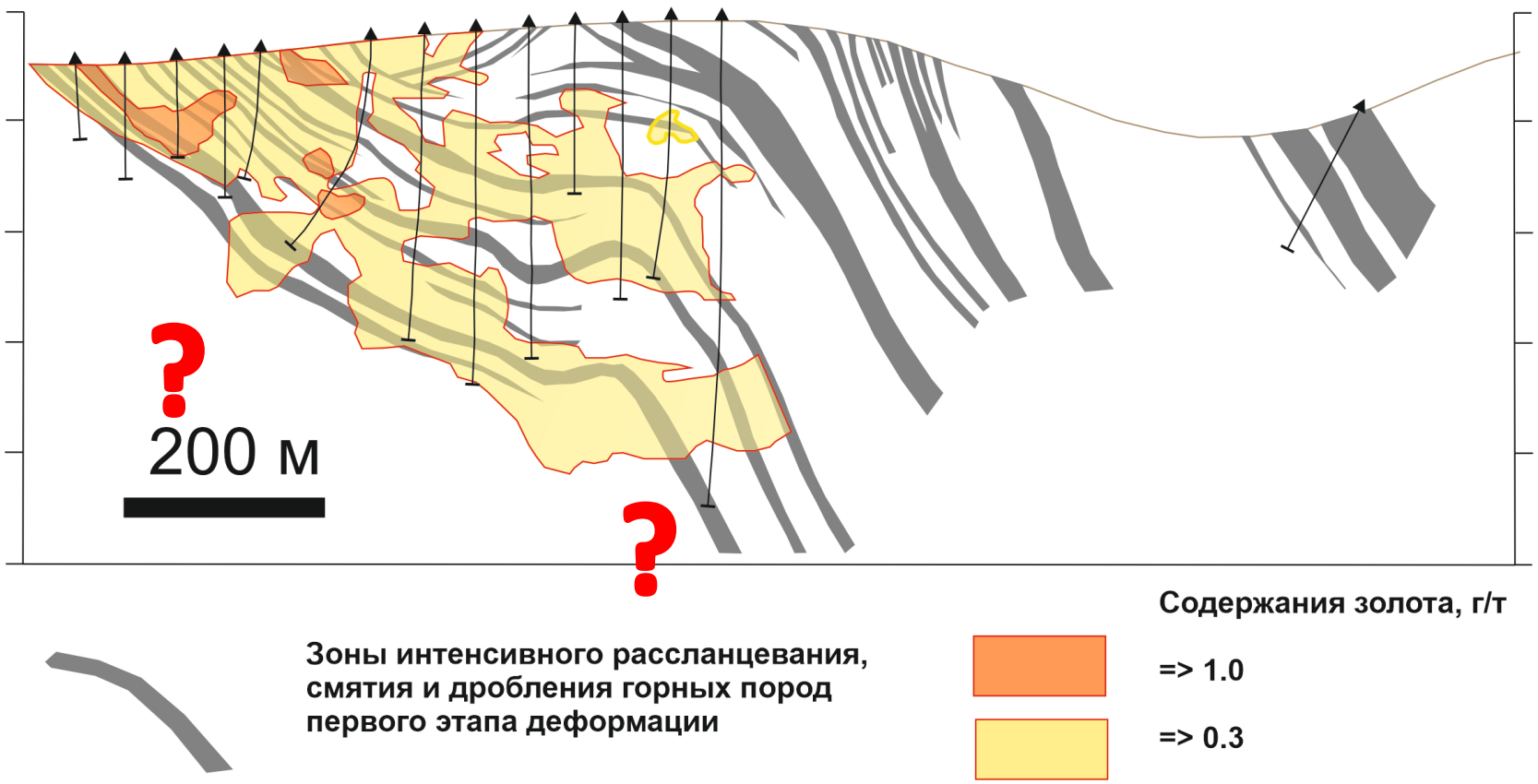
(Читалин, 2001, 2016)

GeoEurasia 2020

Месторождение Дегдекан, Участок Верный

Геологический разрез участка Верный

(по Маньшину и Горячеву, 2009)



- На участке Верный густой кварц-сульфидный штокверк пересекает деформированные складки и соскладчатые разрывы (зоны смятия, рассланцевания и дробления) в переслаивающихся алевролитах, аргиллитах и песчаниках

- Длина штокверка около 900 м, мощность до 400 м, разведанная глубина 200-300 м

- Возможно, штокверк продолжается и глубже

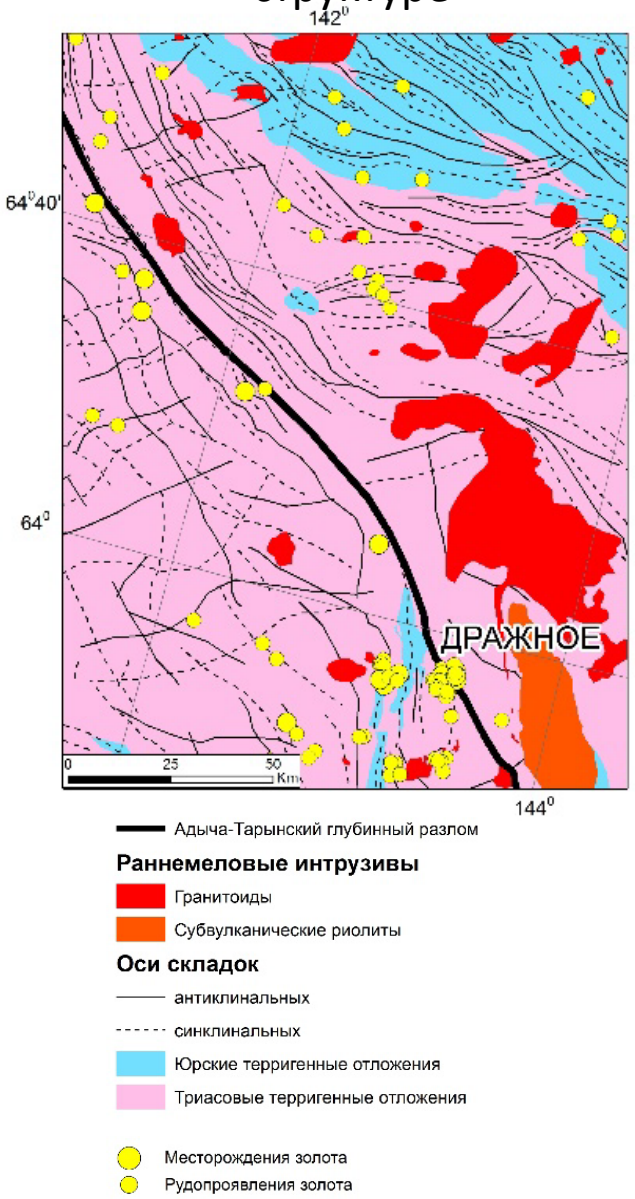
- Продуктивная рудная минерализация представлена пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и самородным золотом двух генераций.

(Читалин, 2001, 2016; Литвиненко, 2009; Маньшин, Горячев, 2009;)

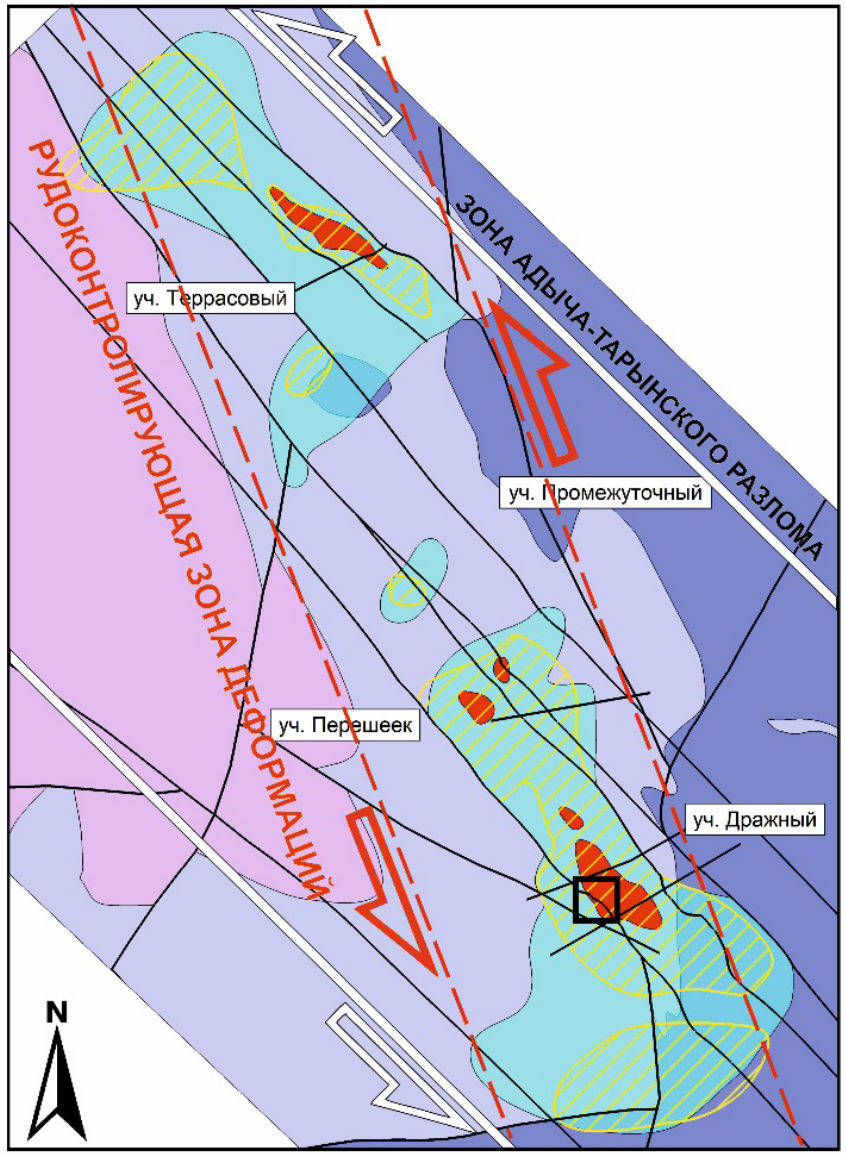
GeoEurasia 2020

Месторождение Дражное (Au > 50 т), Якутия

Положение в региональной структуре



Структурно-геологическая карта



- Месторождение Дражное локализовано в зоне Адыча-Тарынского глубинного разлома и приурочено к северо-восточному крылу и замыканию Тарынской синклинали, сложенной алевропесчаниками верхнего триаса
- Нами выявлена зона наложенного левого сдвига ССЗ простирания, контролирующая 4 штокверковые системы
- Возраст оруденения послескладчатый раннемеловой (?)

Условные обозначения

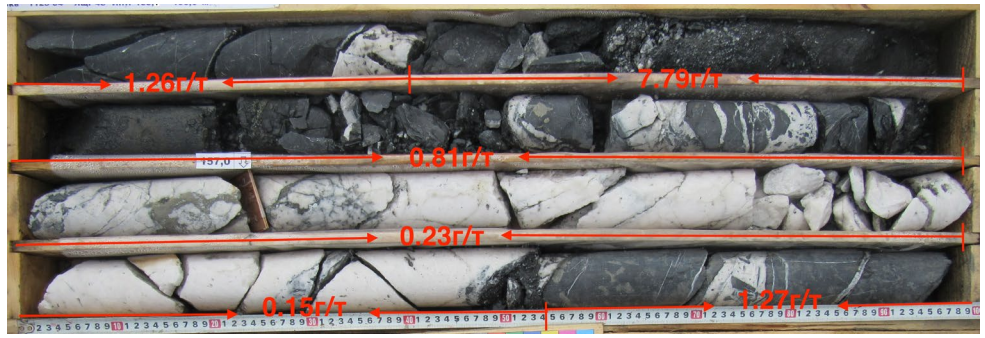
Триасовая система. Верхний отдел
- Лона Monotis ochotica. Верхняя толща. Алевролиты с прослоями песчаников.
- Лона Monotis ochotica. Нижняя толща. Алевролиты, редкие прослои гравелитов.
- Лона Monotis scutiformis. Переслаивание песчаников и алевролитов.
- Границы рудных тел
- Пиритизация
- Кварцевый штокверк
- Разрывные нарушения
- Расположение изучаемого участка штокверка

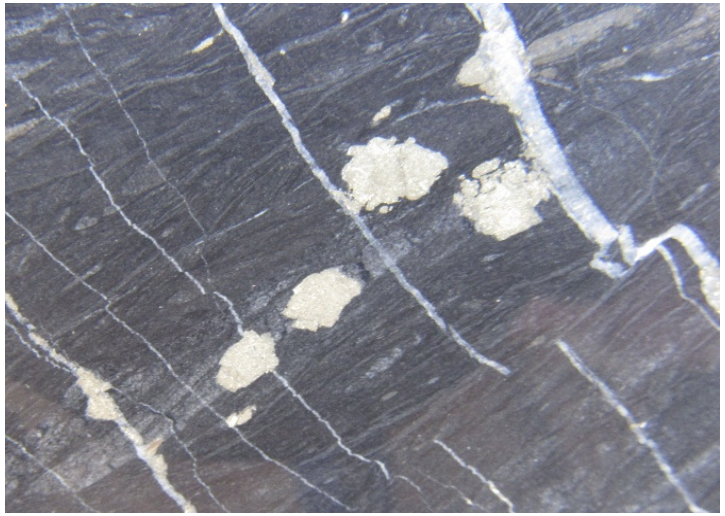
(Читалин и др., 2018)

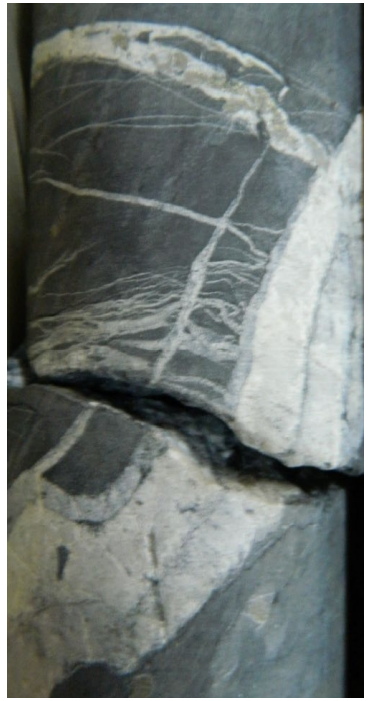
GeoEurasia 2020

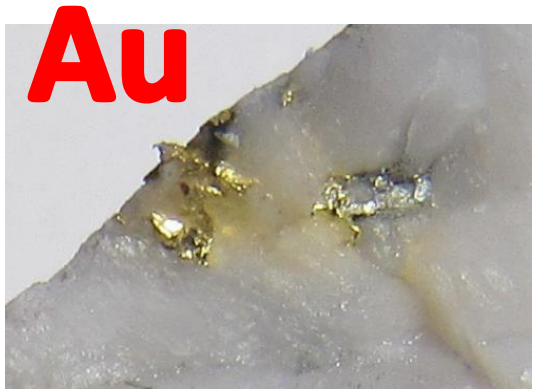
Месторождение Дражное. Участок Дражный. Прожилки и жилы

Фрагменты строения кварц-сульфидных штокверков в керне скважин







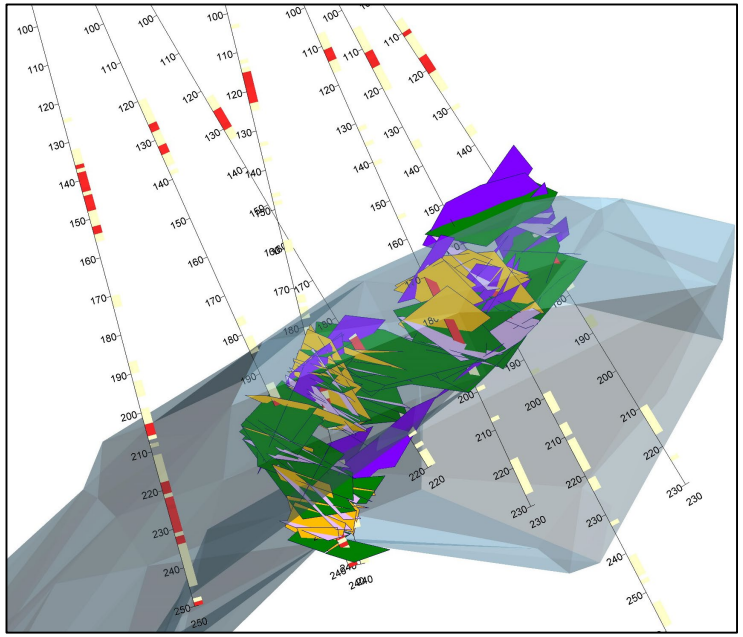


(Читалин и др, 2018)

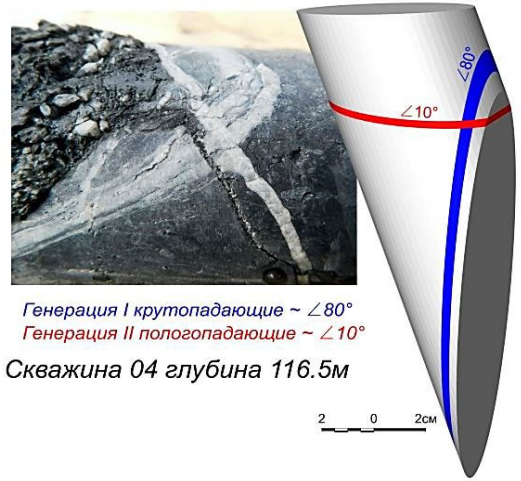
GeoEurasia 2020

Месторождение Дражное. Участок Дражный. Структура штокверков

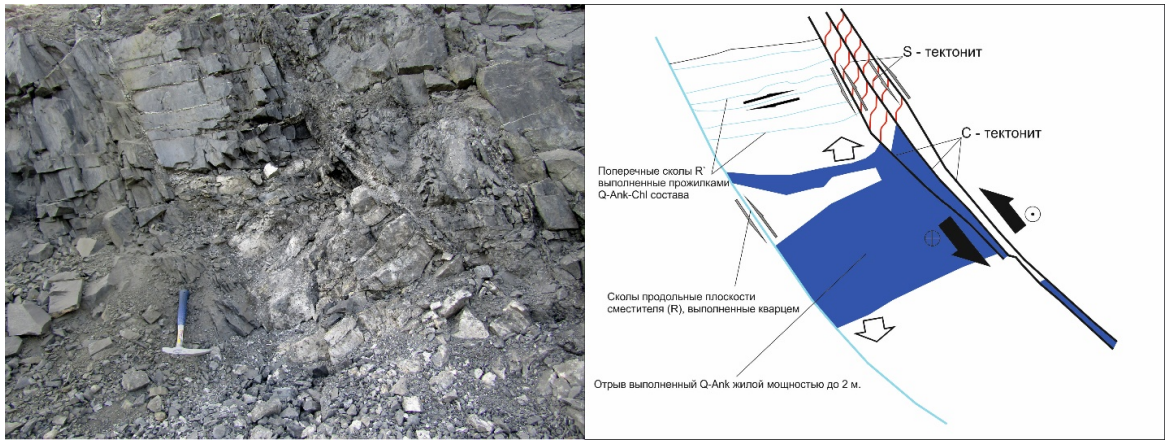
Системы прожилков



Генерации прожилков

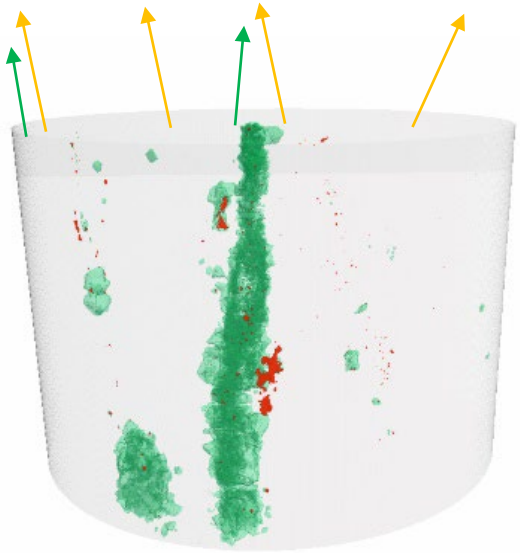


Прожилки и дорудные разрывы

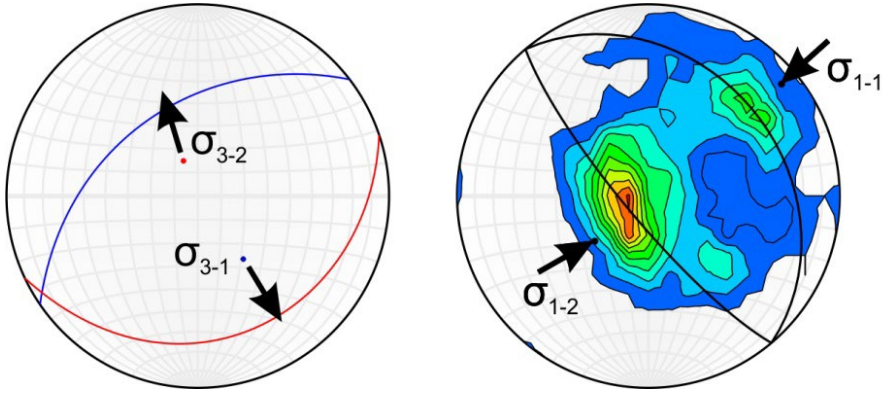


Микротренды золота

(микротомография)



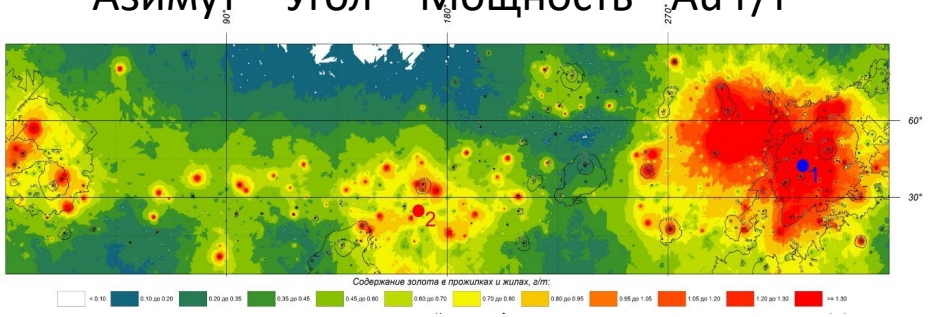
Поля напряжений



Золотоносность разных прожилков

Диаграмма

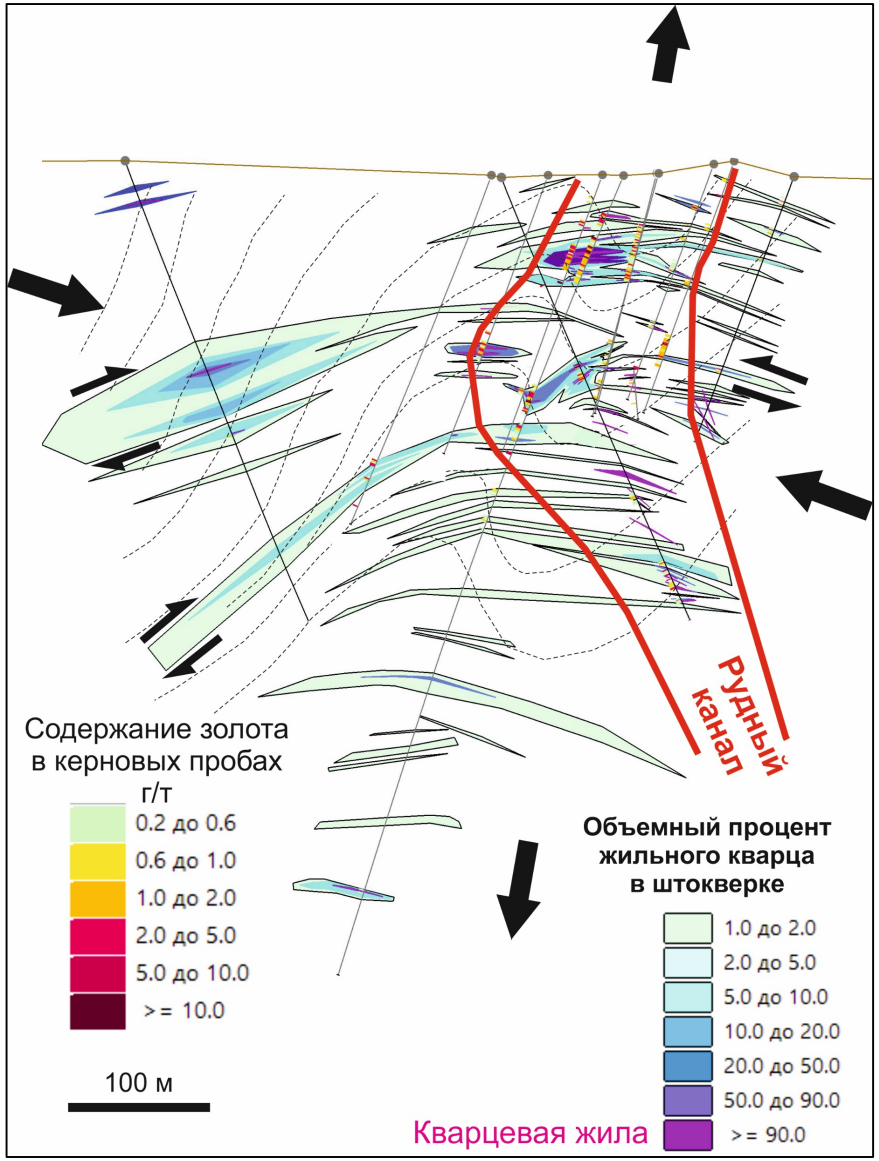
Азимут – Угол – Мощность - Au г/т



GeoEurasia 2020

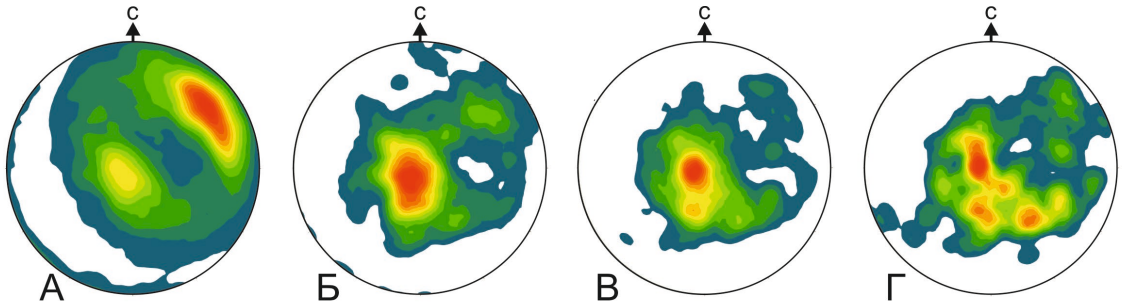
Месторождение Дражное. Участок Дражный. Штокверковая система

Штокверковая система в разрезе



(Читалин и др, 2018)

Стереограммы полюсов трещин и прожилков
(нижняя полусфера)



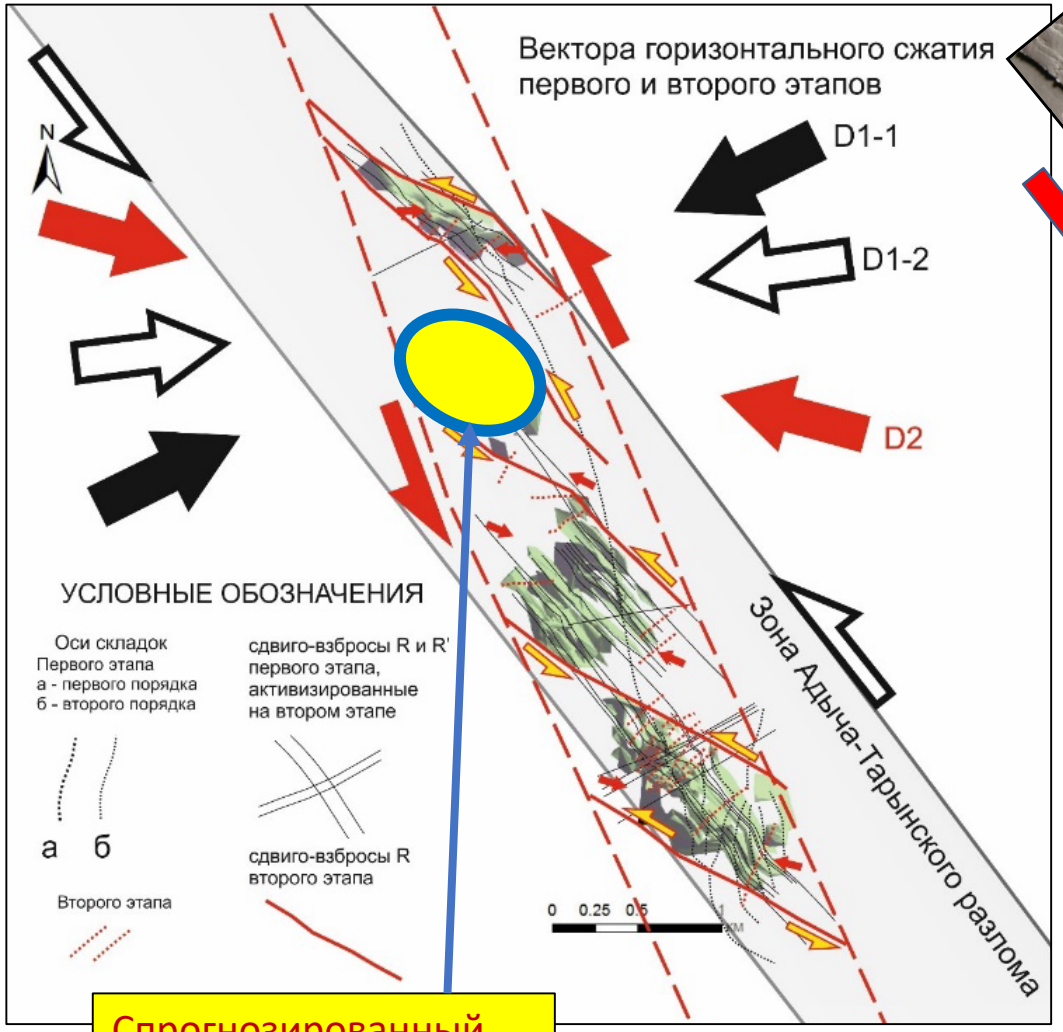
А-трещины, Б- прожилки > 1 см,
Золотоносные прожилки: В – из рядовых руд, Г- из богатых руд

- Аркообразная штокверковая система
- Наиболее мощные кварцевые прожилки и жилы с богатым золотом залегают субгоризонтально, отражая направление максимального субвертикального растяжения структуры
- Сопряженные с ними наклонные штокверки с надвиговой кинематикой отражают субгоризонтальное сжатие структуры
- Золото отложилось на поздней стадии развития штокверковой системы и было максимально сконцентрировано в рудном канале, вытянутом вдоль оси растяжения

GeoEurasia 2020

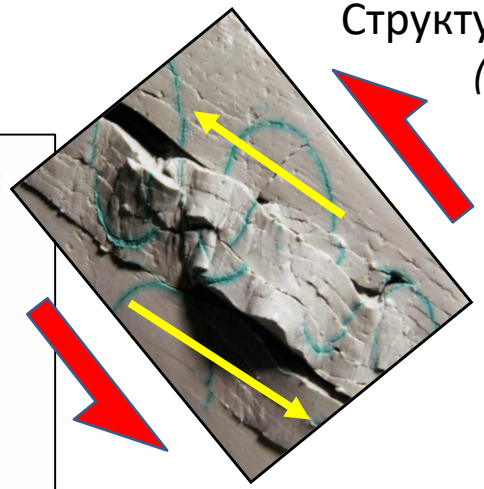
Месторождение Дражное. Структурно-кинематическая модель

Структурная сдвиговая модель месторождения Дражное



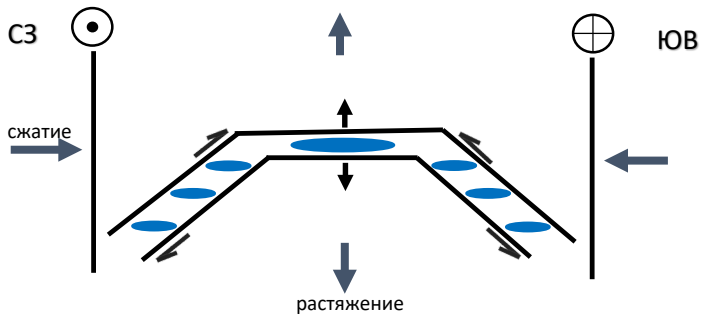
Спрогнозированный слепой штокверк, выявленный бурением

Структура “push-up” *(Фролова,2016)*



- На дорудном этапе, в конце юры, Адыча-Тарынский разлом являлся левым взбросо-сдвигом.
- На рудном этапе в зоне наложенного левого сдвига соскладчатые разломы активизировались как кулисные левые сдвиги Риделя R.
- На участках сопряжения кулисных сдвигов развивались рудоносные «надвиговые» штокверки, сравнимые с локальными структурами горизонтального сжатия “push-up” в аналоговых тектонофизических моделях сдвиговых зон

Структурная модель золотоносной штокверковой системы



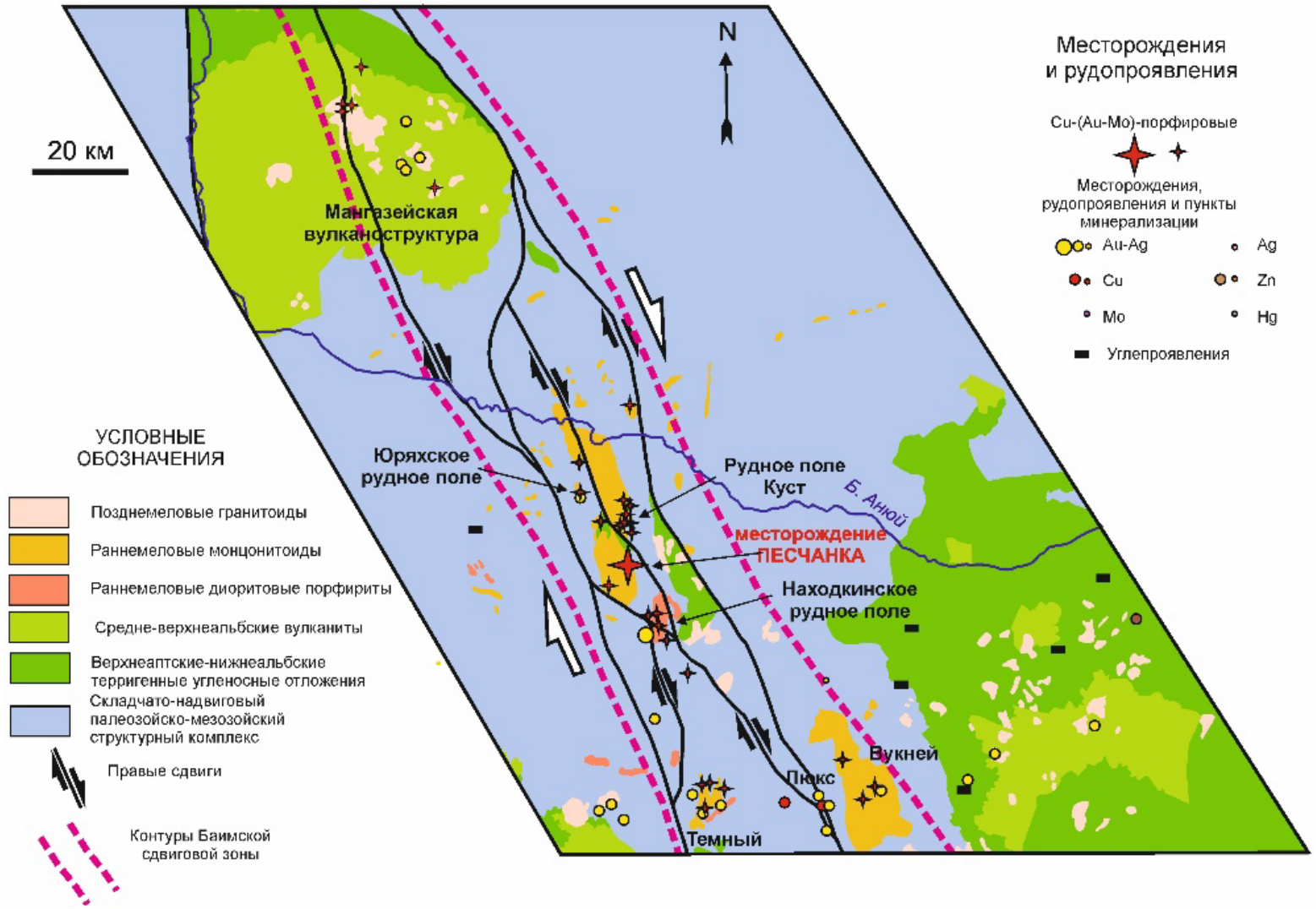
- Наклонные и горизонтальные штокверки-пластины сформировались на рудном этапе в условиях надвигового поля напряжений (горизонтальное сжатие – вертикальное растяжение)
- В штокверках наиболее золотоносные субгоризонтальные прожилки и жилы по трещинам отрыва.

(Читалин и др, 2018; Чикатуева и др, 2019)

GeoEurasia 2020

Штокверки Баимской рудной зоны, Западная Чукотка

Положение месторождений Баимской рудной зоны
в зоне регионального сдвига



(*Читалин, Усенко, Фомичев, 2013*)

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

- Золото-молибден-медно-порфировое месторождение Песчанка (запасы меди 9.5 млн.т) входит в двадцатку крупнейших медно-порфировых месторождений мира.

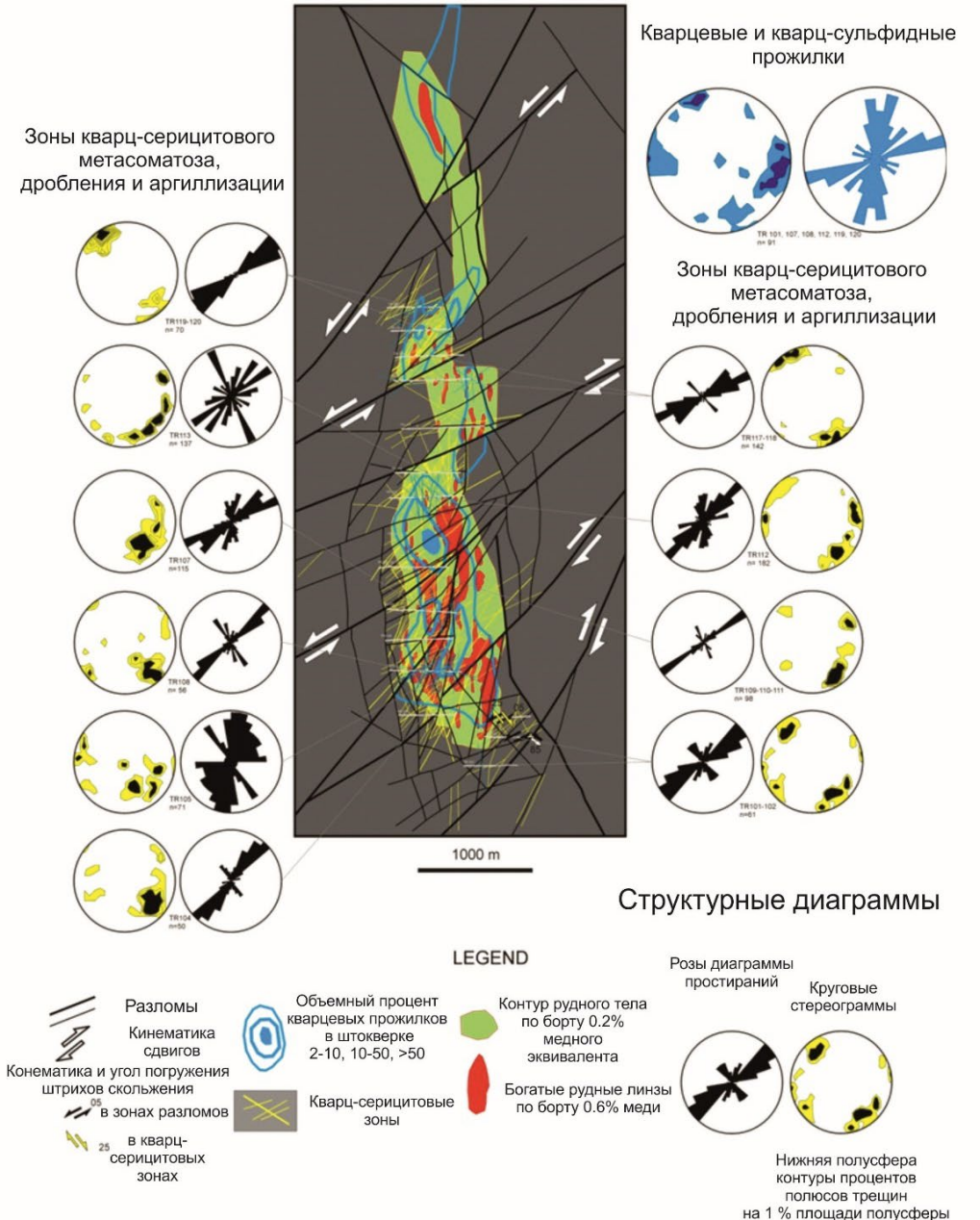
- Установлен структурный контроль минерализации глубинным правым сдвигом и разработаны структурно-кинематические модели рудных штокверков

(*Chitalin* et al, 2012, *Читалин и др, 2019)*

GeoEurasia 2020

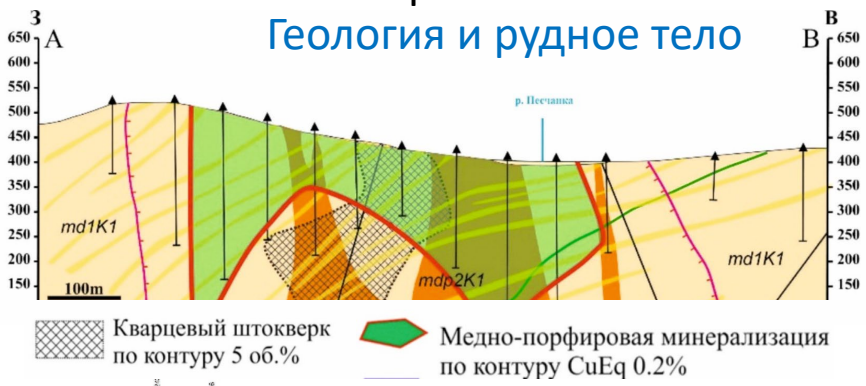
Месторождение Песчанка – линейный полихронный штокверк

Структурная схема

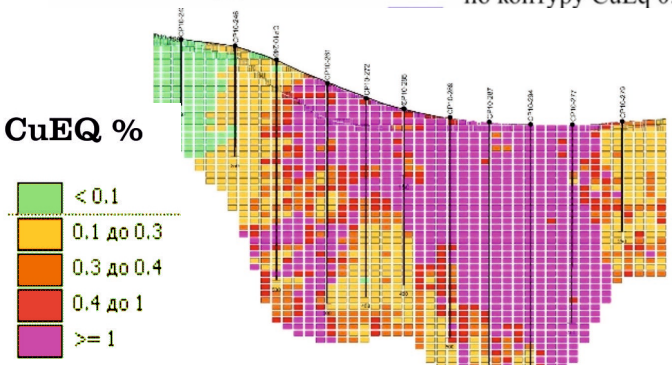


Разрезы

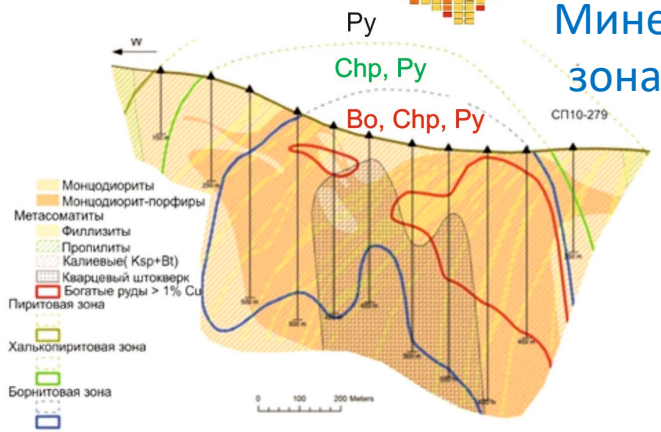
Геология и рудное тело



Блочная модель



Минеральная зональность

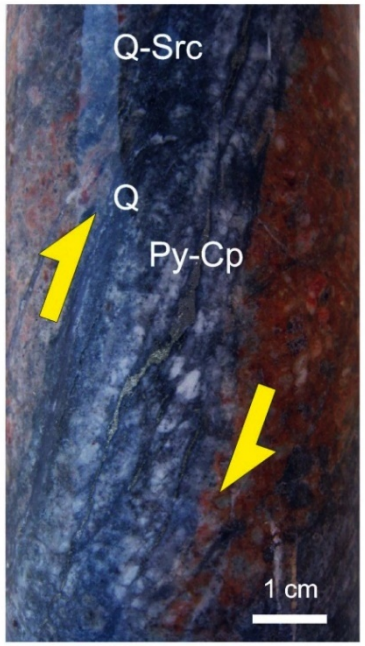


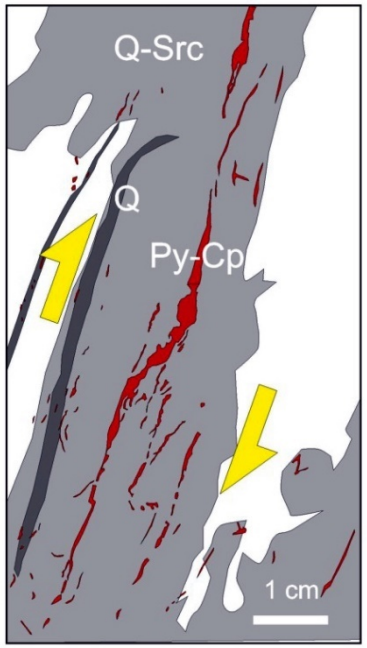
- Субвертикальные минерализованные структуры горизонтального растяжения и скалывания
- Горизонтальные и наклонные минерализованные структуры наследуют дорудную трещиноватость
- Аркообразная форма рудного тела обусловлена сочетанием субвертикальных рудных каналов и экрана ороговикованных пород в кровле интрузива

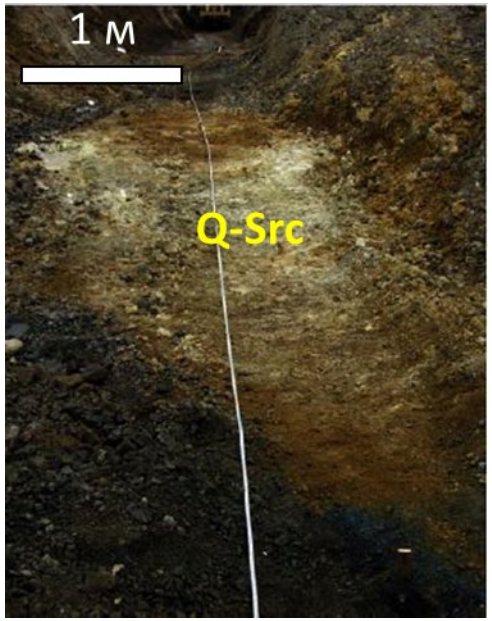
(Chitalin et al, 2012, Читалин и др, 2016)

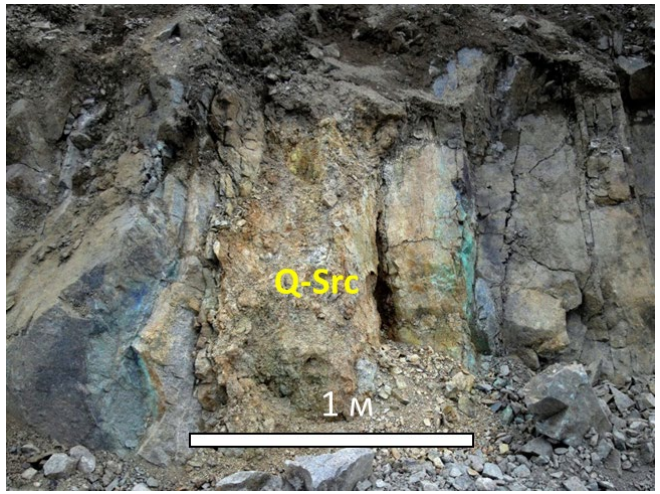
GeoEurasia 2020

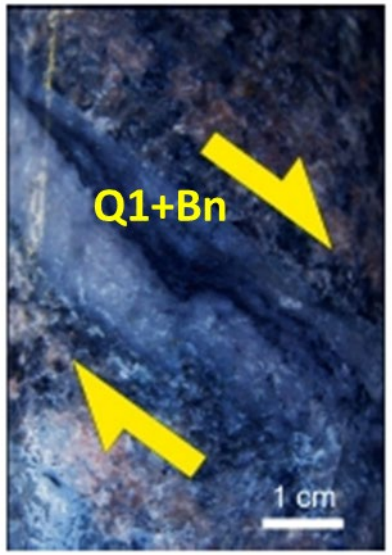
Месторождение Песчанка – структура штокверка и кинематика прожилков

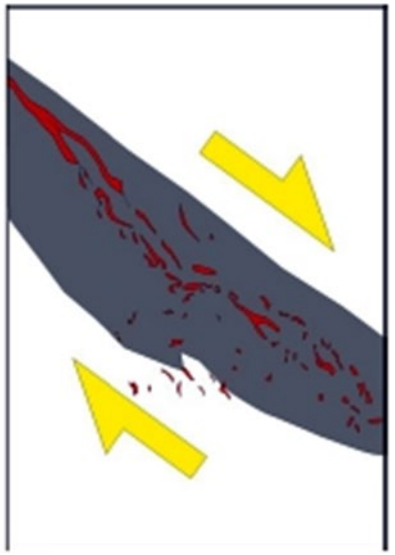


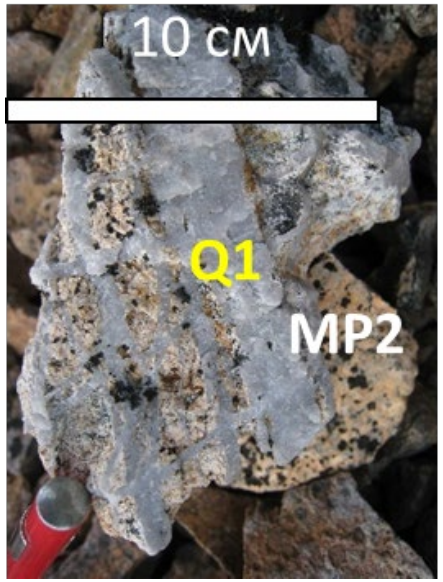








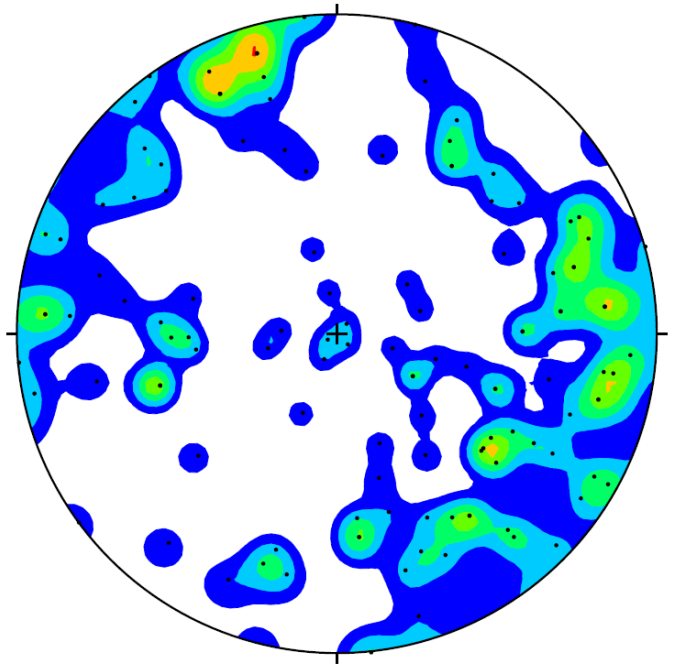




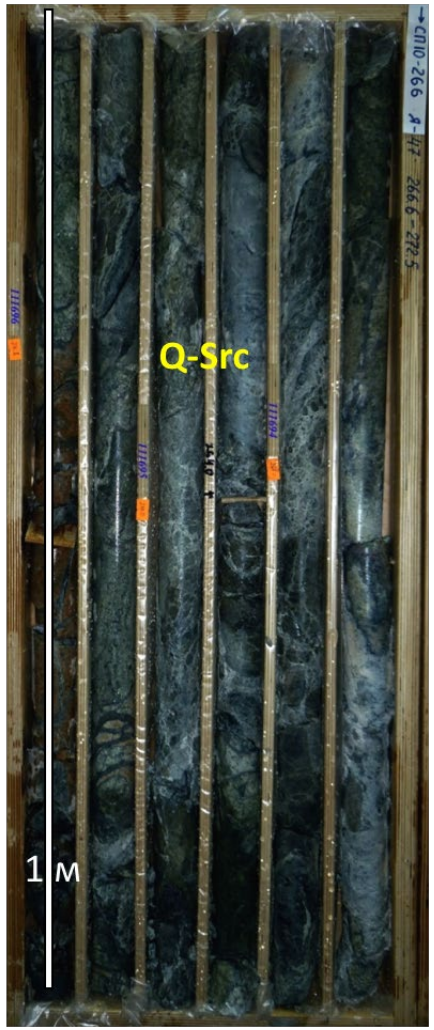
GeoEurasia 2020

Месторождение Песчанка – структурные стереограммы

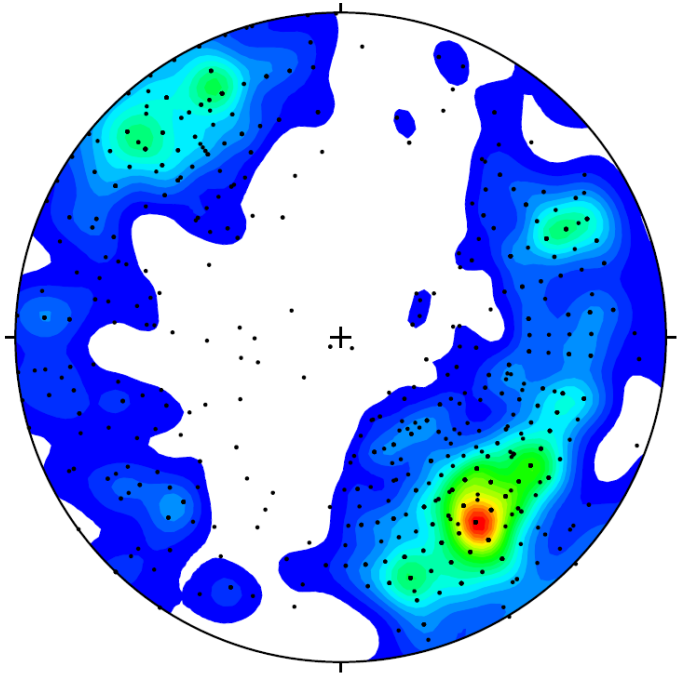
Трещины и разрывы



- Преобладают крутопадающие трещины и разрывы меридионального и ВСВ – СВ простирания

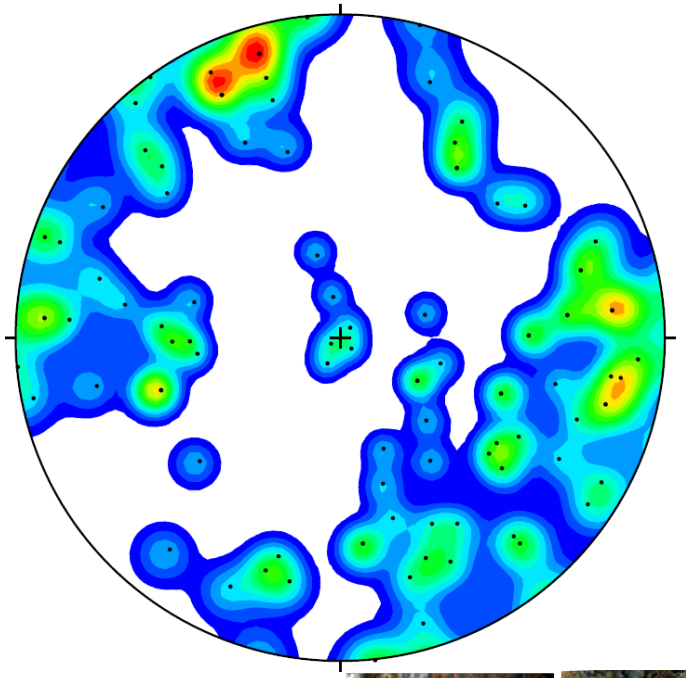


Линейные зоны Q-Src метасоматитов –

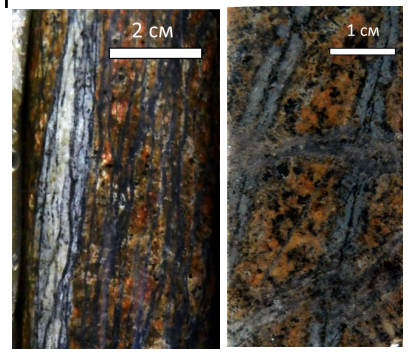


- Преобладают крутопадающие Q-Src зоны СВ-простирания, маркирующие локальные левые сдвиги

Кварцевые и кварц-сульфидные прожилки

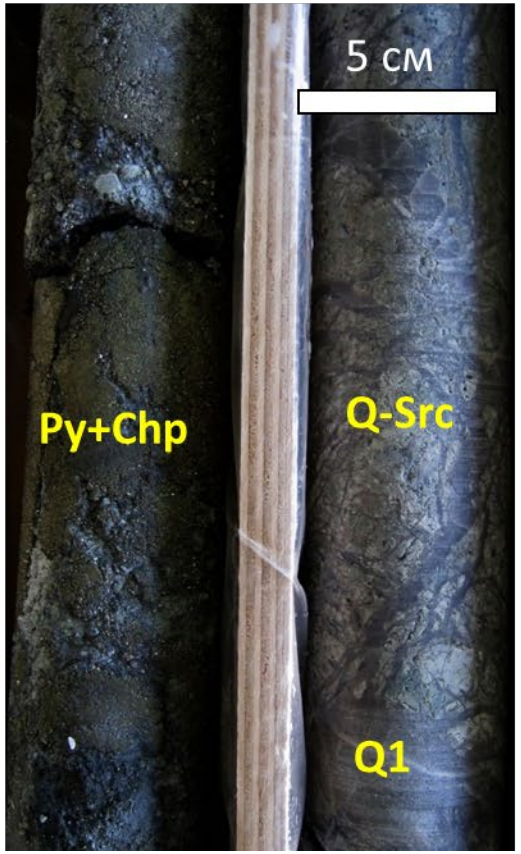


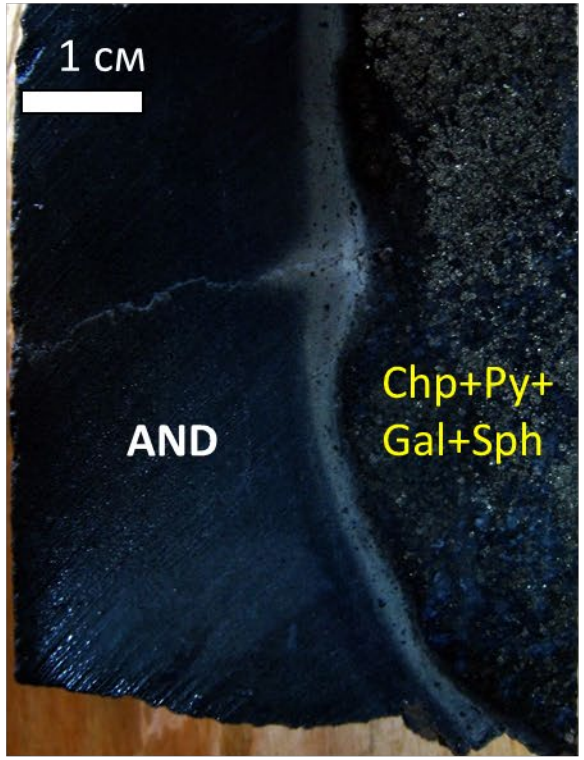
- Преобладают крутопадающие прожилки меридионального (отрывы) и ВСВ-СВ (сколы) простирания



GeoEurasia 2020

Месторождение Песчанка – поздние золотоносные сульфидные жилы





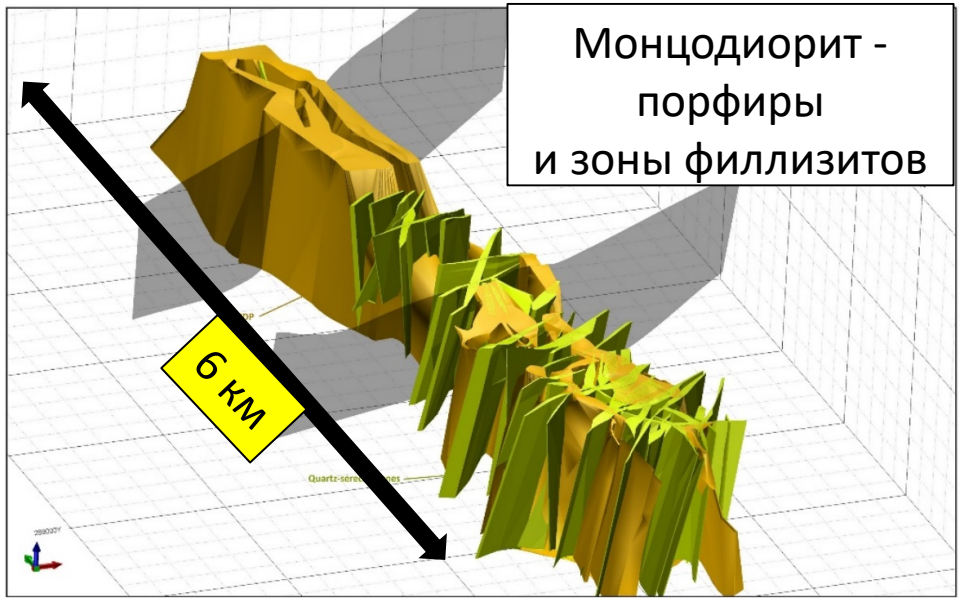
Ксенолит полисульфидной жилы в пострудной дайке андезитов.

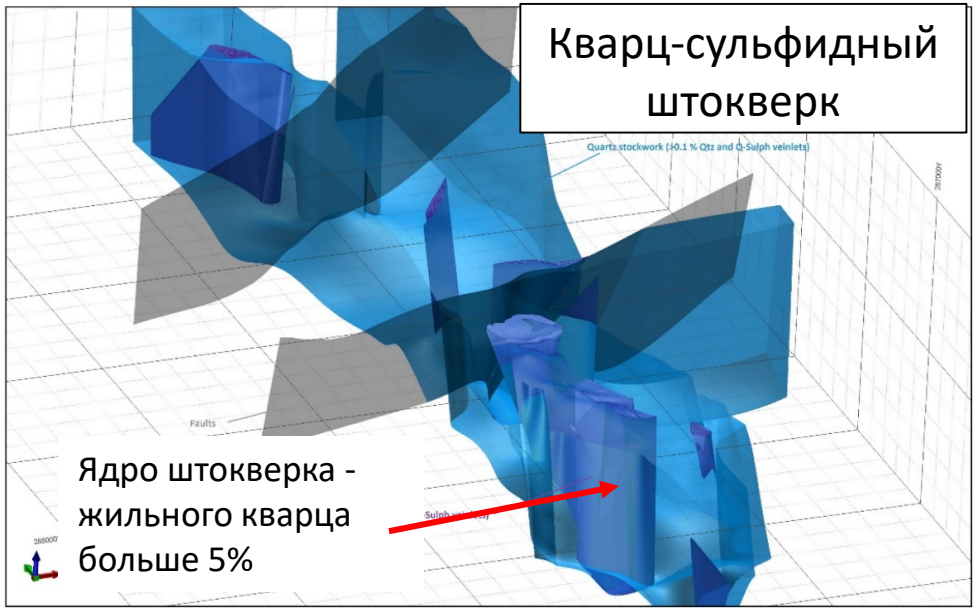
Жилоподобное скопление халькопирита и галенита в кварц-серицитовых метасоматитах

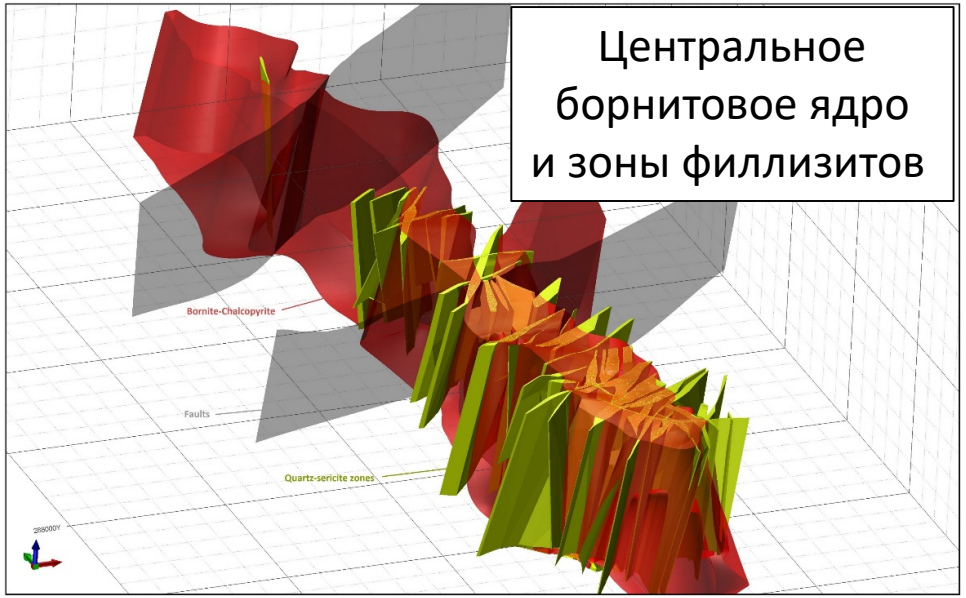
GeoEurasia 2020

Месторождение Песчанка – 3-D геологическая модель (2015)

Минерализованные структуры штокверка; соотношение с порфировой интрузией и вмещающими ее монцодиоритами





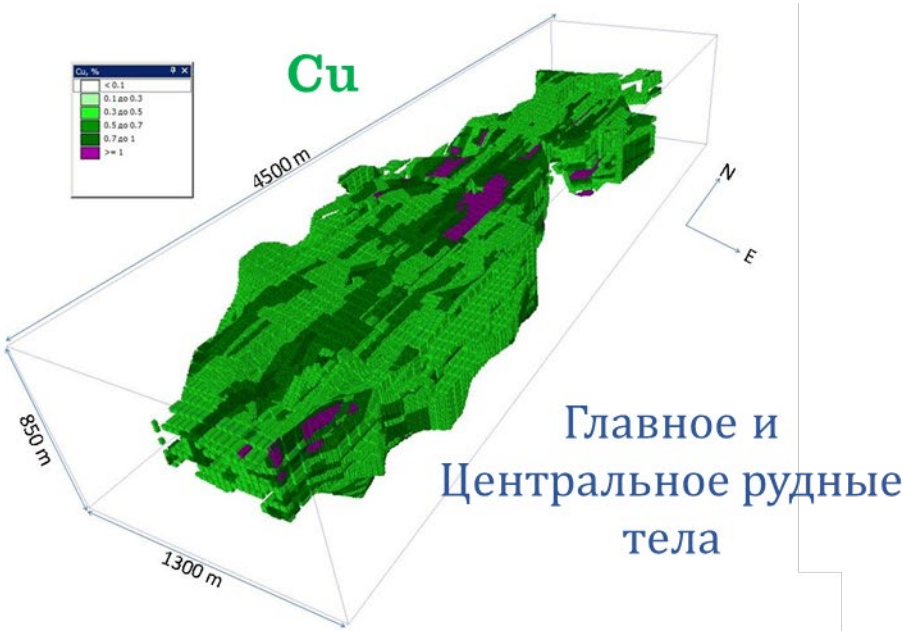


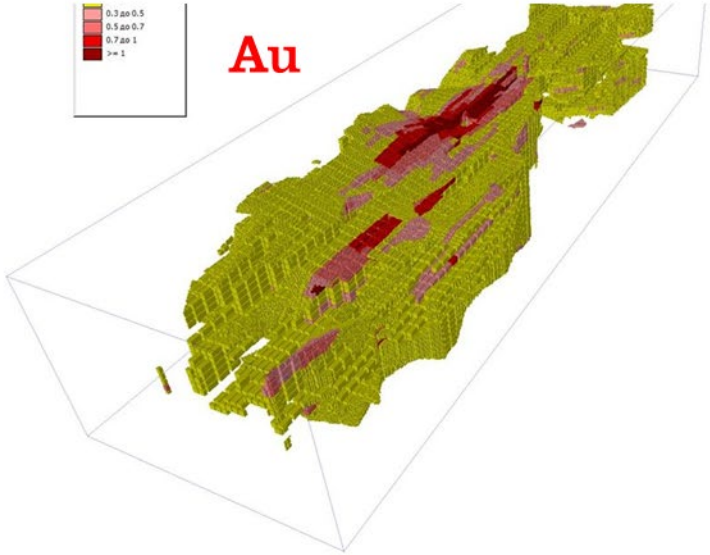
- Диагональные и поперечные зоны рудоносных филлизитов – на флангах эти зон слабо рудоносны или безрудны
- Кварц-сульфидный штокверк пересекает филлизиты
- Ядерная часть штокверка сложена богатыми борнитовыми рудами

GeoEurasia 2020

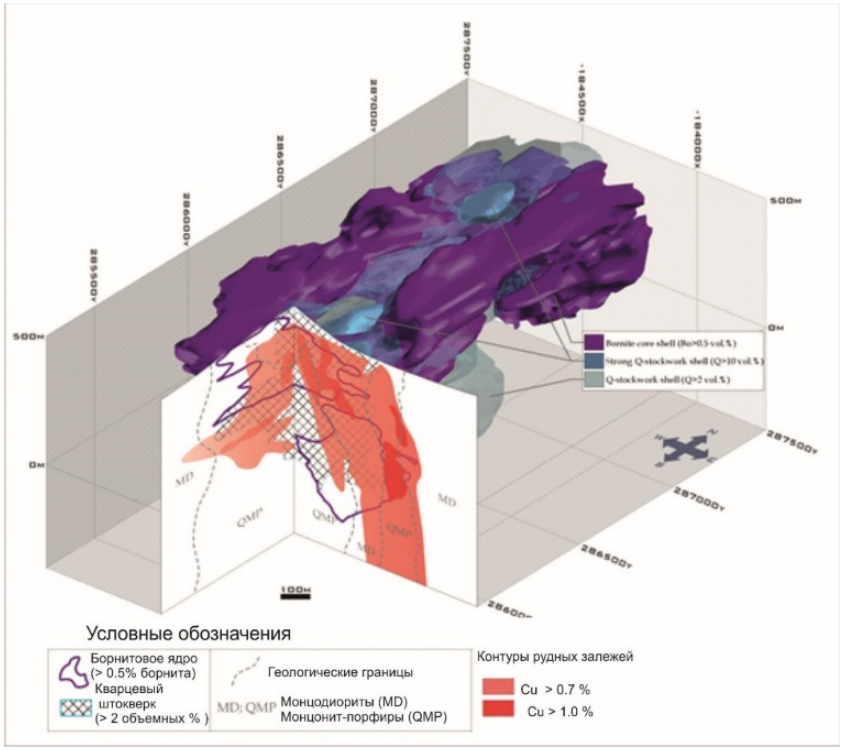
Месторождение Песчанка – 3-D модели

3-D Блочные модели меди и золота (2010)





3-D модель кварц-борнитового штокверка



- 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, Читалин и др, 2016)

GeoEurasia 2020

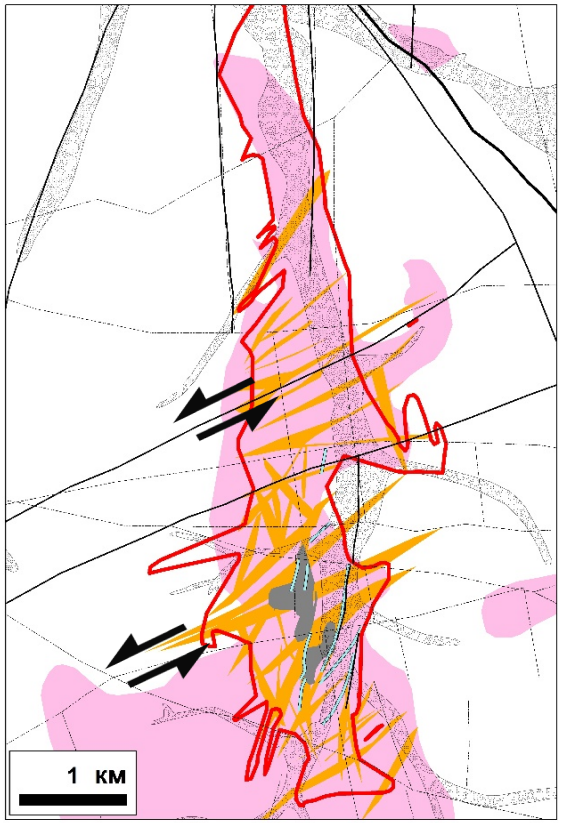
Месторождение Песчанка – основные стадии развития рудного штокверка

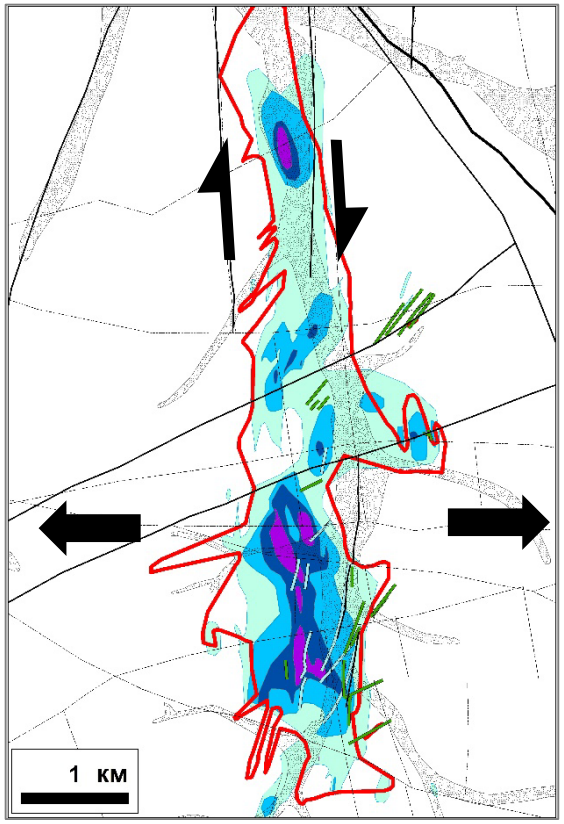
Стадия 1
Линейные зоны Ksp-Bt и Q-Src метасоматитов – минерализованные сдвиги

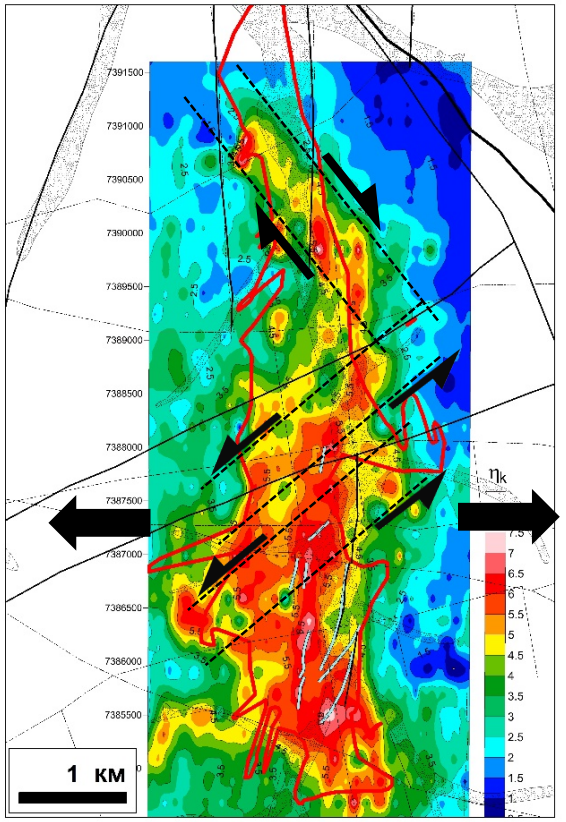
Стадия 2
Кварцевые прожилки в меридиональной зоне растяжения и правого сдвига

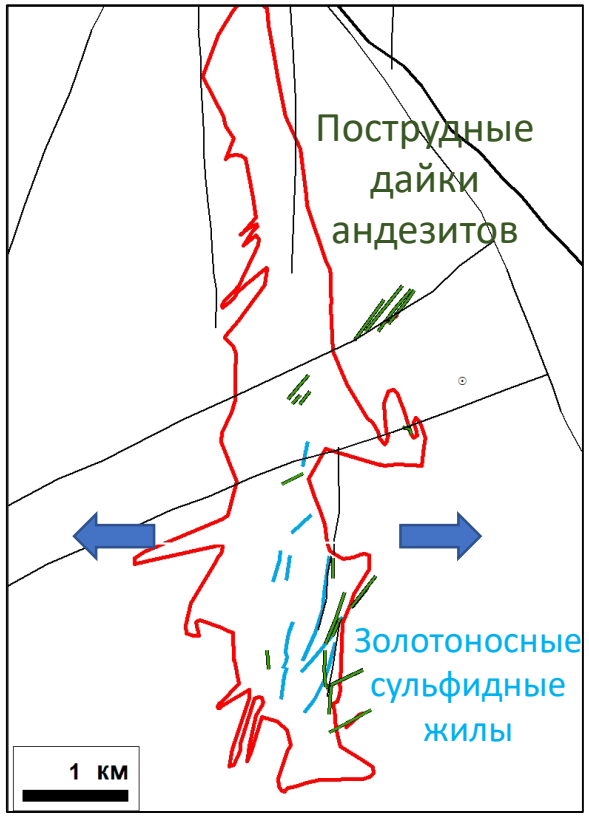
Стадия 3
Аномалии ВП - прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация – локальные структуры растяжения и сдвига

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





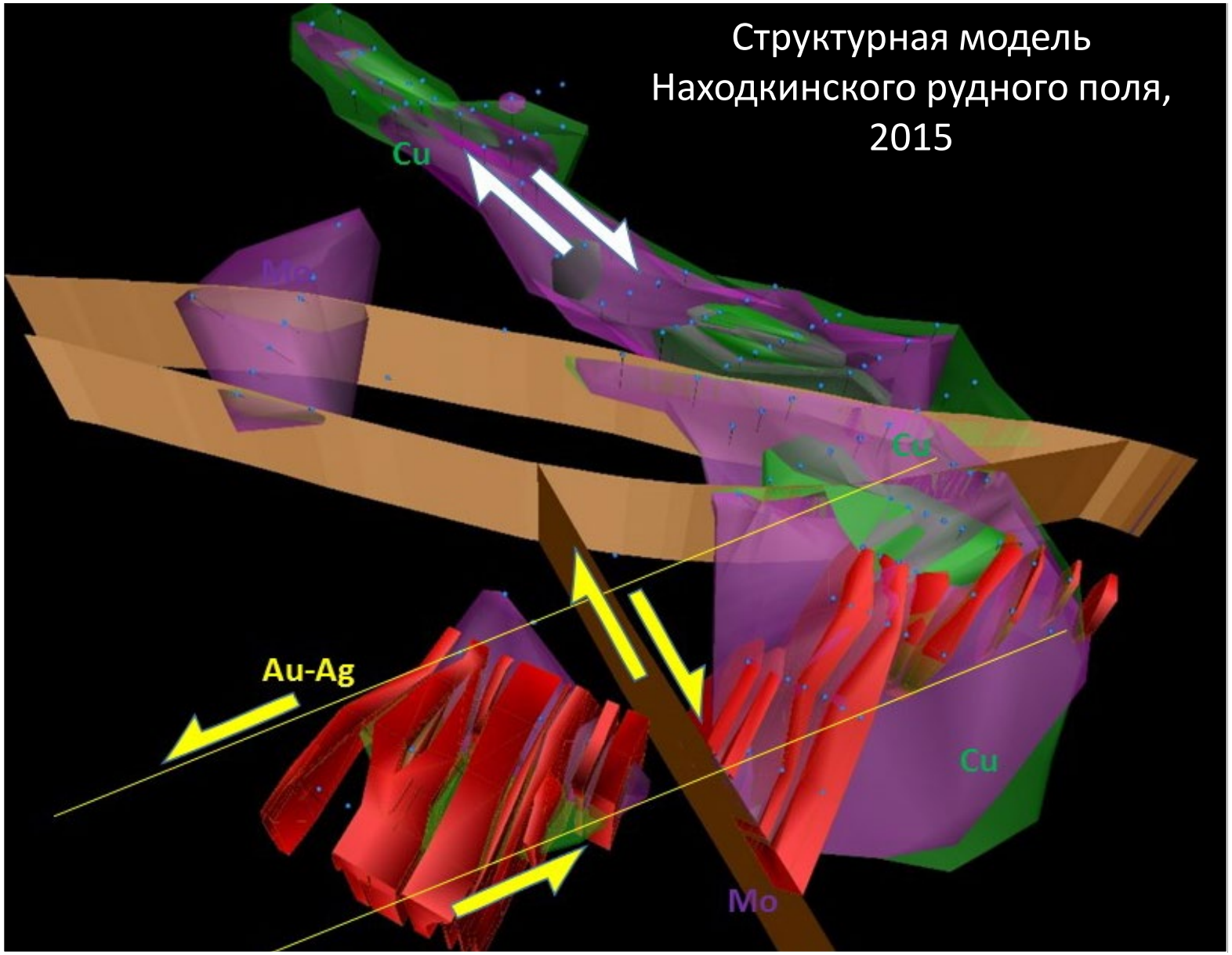




Месторождение Песчанка – линейный полихронный штокверк растяжения

GeoEurasia 2020

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

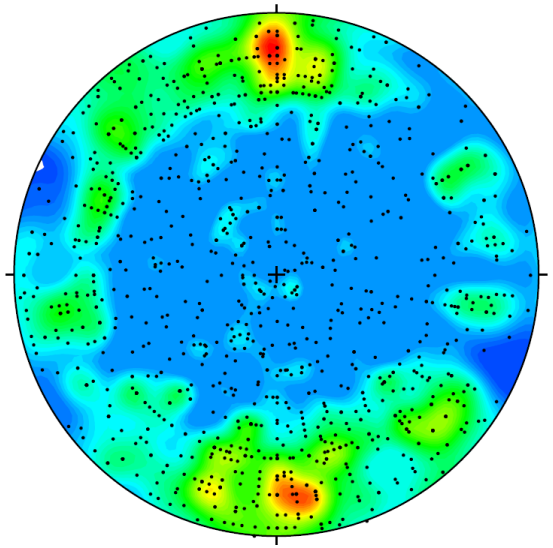
- Кулисное расположение рудоносных структур обусловлено их формированием в сдвиговых зонах

(Читалин и др, 2016)

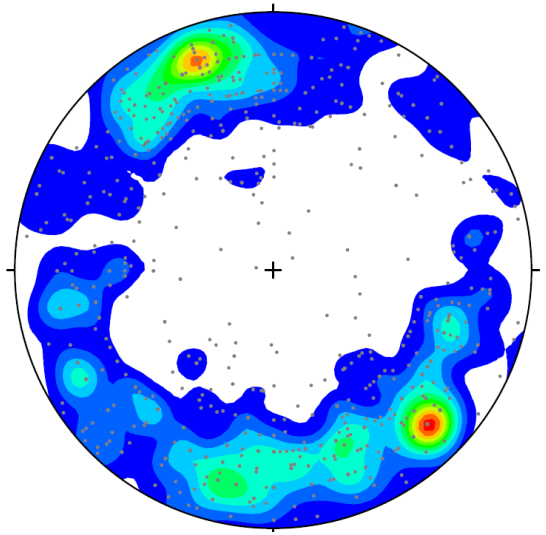
GeoEurasia 2020

Находкинское рудное поле.
Структурные стереограммы медно-порфировых штокверков

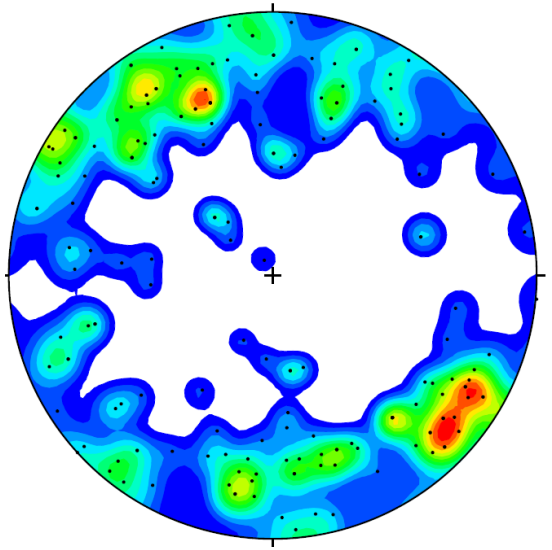
Трещины (n=1259)



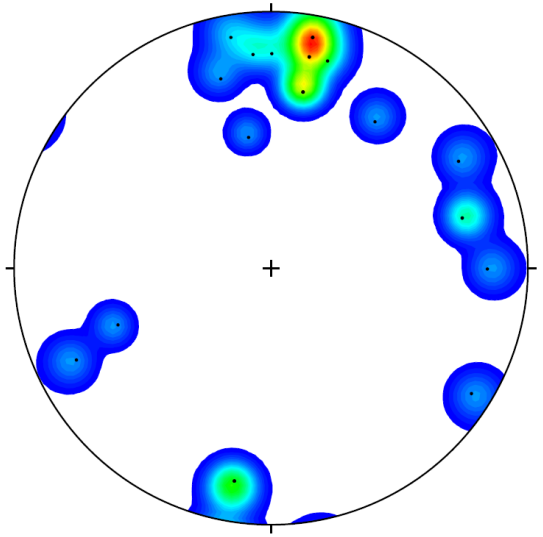
Q-Src метасоматиты (n=932)



Q прожилки (n=184)



Q-Sulf прожилки (n=27)



нижняя полусфера

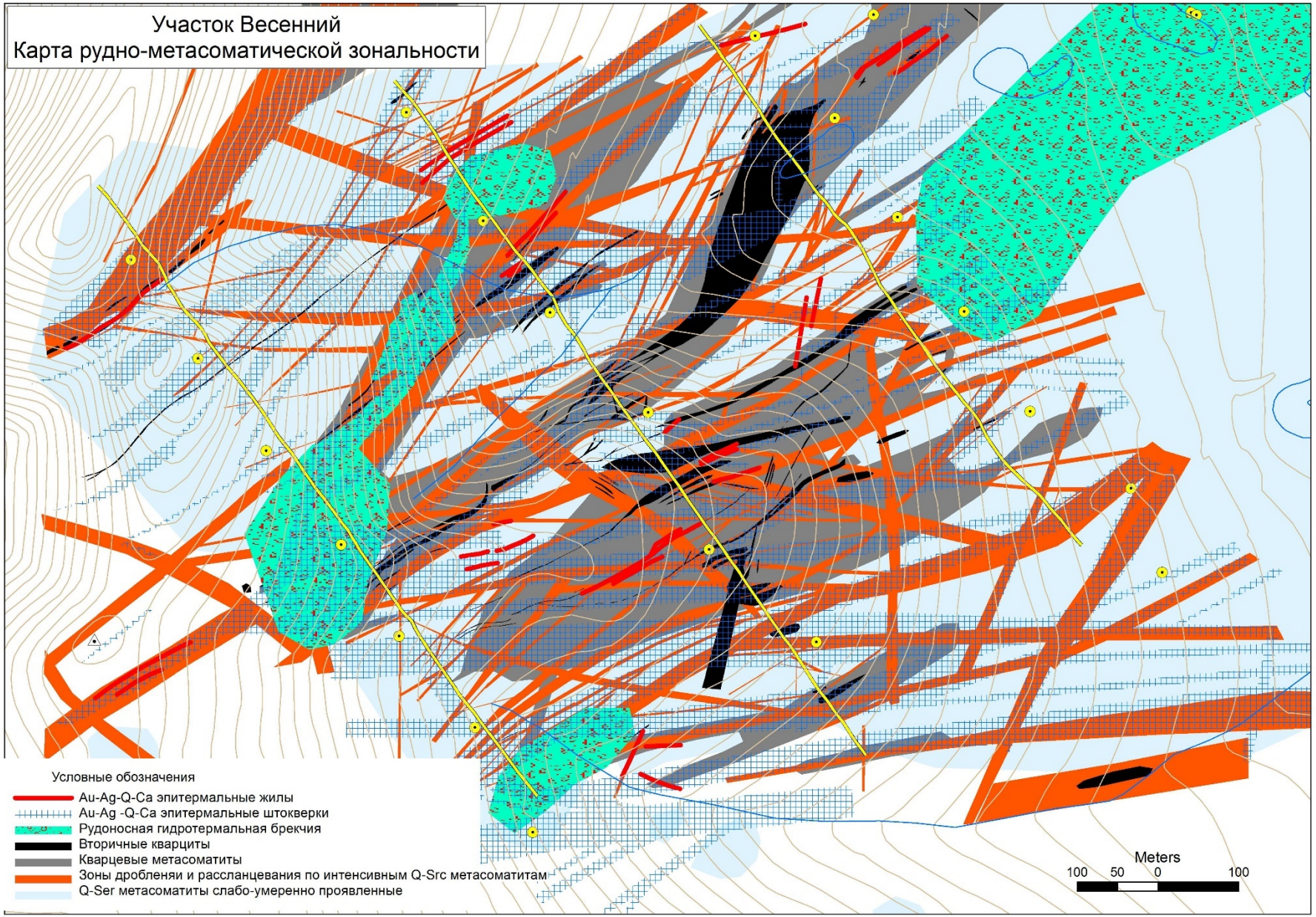
- В структуре штокверков преобладают субвертикальные структурные элементы (дорудные и минерализованные):

1. Меридионального простирания
2. Широтного простирания
3. СВ-простирания
4. СЗ-простирания

- Горизонтальные и пологие зоны метасоматитов наследуют прототектонические трещины в интрузивных породах, которые были проницаемые на рудном этапе

GeoEurasia 2020

Находкинское рудное поле. Au-Ag участок Весенний (прогнозные ресурсы P1 более 200 т золота)



- Сложная полихронная структура рудного штокверка

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

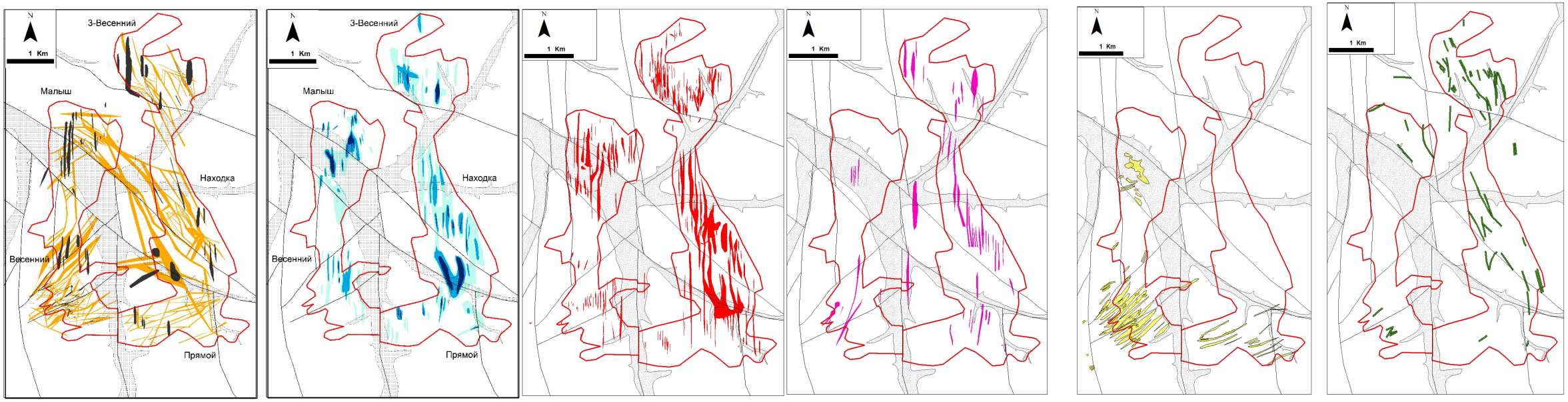
- Эпитермальные кварц-карбонатные золотоносные штокверки и жилы пересекают или наследуют зоны метасоматитов порфирового этапа, пересекают тела гидротермальных брекчий

(Читалин и др, 2016)

GeoEurasia 2020

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

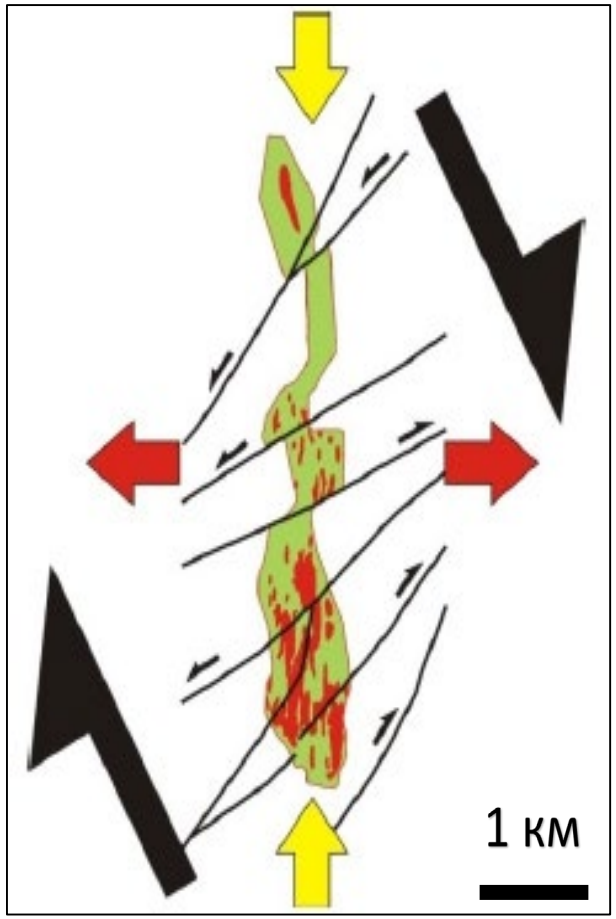
Богатая медная минерализация

Пострудные дайки андезитов

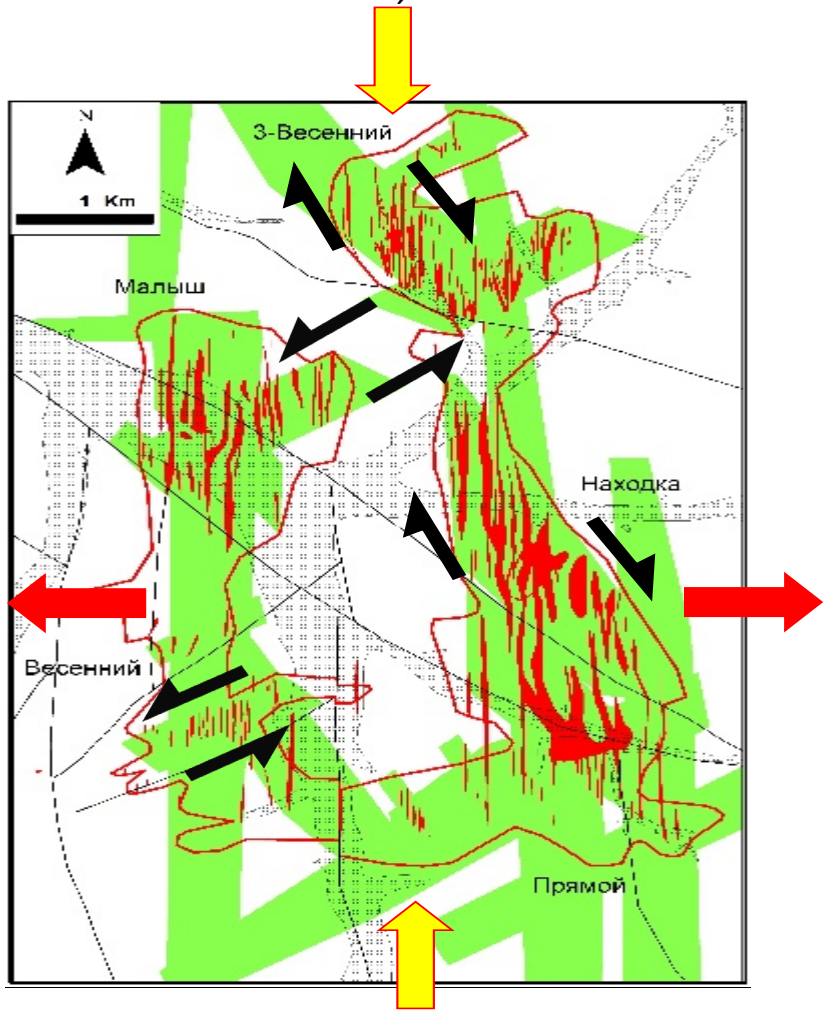
GeoEurasia 2020

Сдвиговые модели медно-порфировых штокверков Баимской рудной зоны

Месторождение Песчанка (CuMoAu)
Chitalin et al, 2012



Находкинское рудное поле (CuMoAu)
Читалин, 2019



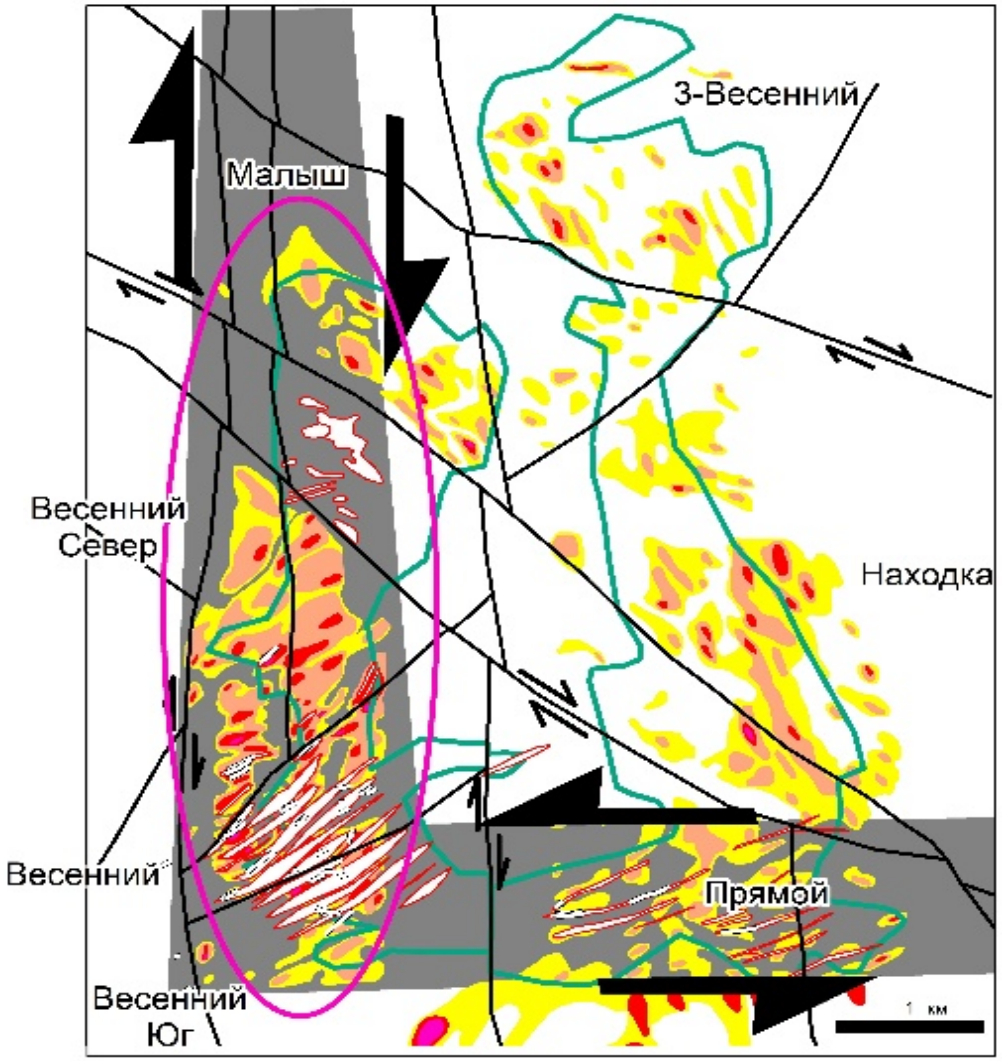
- Медно-порфировые штокверки месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля сформировались в «сдвиговом» поле напряжений – в обстановке горизонтального широтного растяжения и меридионального сжатия
- Штокверки являются локальными структурами растяжения и сдвига в зоне глубинного Баимского правого 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%

GeoEurasia 2020

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.

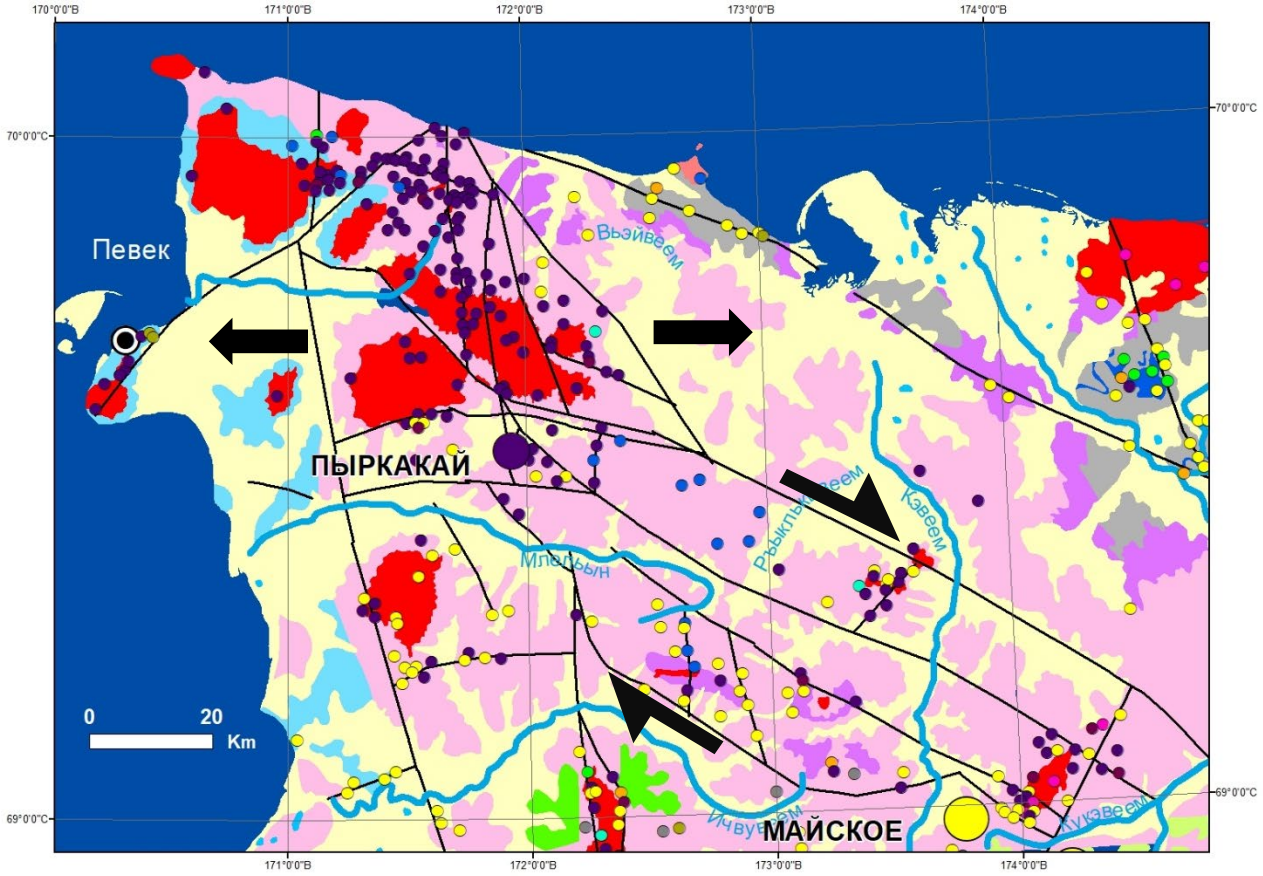
- Штокверк крупнотоннажного месторождения Весеннее сформировался в узле пересечения сопряженных сдвиговых зон сдвиговых деформаций – меридиональной зоны правостороннего сдвига и широтной зоны левостороннего сдвига

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

(Читалин и др, 2019)

GeoEurasia 2020

Пыркакайские Штокверки (Sn 228.5 тыс.т), Восточная Чукотка)



Условные обозначения

Стратифицированные образования

KZ	K2	K1	J1	T3	T1-2	D-P

Интрузивы

γK1	υT1-2	γPZ1-2

Au Ag Cu Mo Pb Zn Sn W Bi Hg Sb

Рудопроявления и месторождения

Разломы

- Пыркакайское месторождение касситерит-кварцевой формации - крупнейшее месторождение олова в России и занимает четвертое место в мире. Попутными являются W, Au, Ag, Zn.Оруденение расположено в надкупольной зоне раннемелового гранитоидного интрузива в ороговикованной песчано-сланцевой толще верхнего триаса

- Рудоносные линейные меридиональные штокверки – контролируются меридиональными разрывами и зонами трещиноватости. Выделяется четыре крупных штокверка

- В рудном узле выделяются минерализованные тренды вдоль меридиональных разломов растяжения (сбросы, отрывы) и сдвигов широтного, СВ и СЗ простирания

- Пыркакайский кластер - «структура конского хвоста» на окончании глубинного правого сдвига СЗ-простирания

GeoEurasia 2020

Пыркакайские штокверки. Штокверк Первоначальный

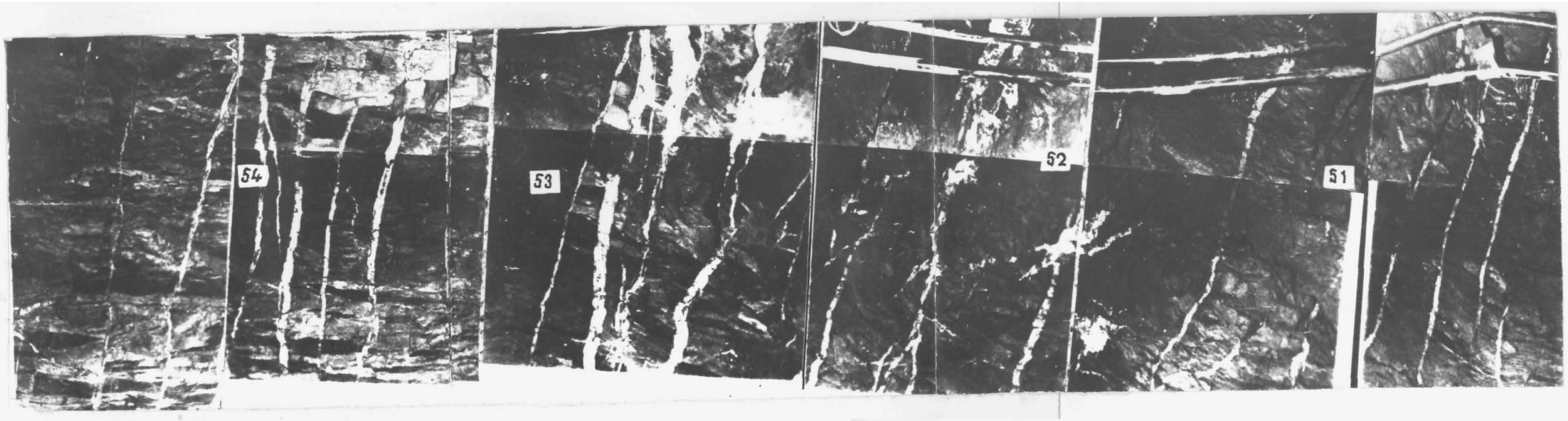


Рис. 22 Фотогеологическая документация штокверка Первоначального. Квершлаг 7 - западный. Южная стенка интервал 65 - 50 м.

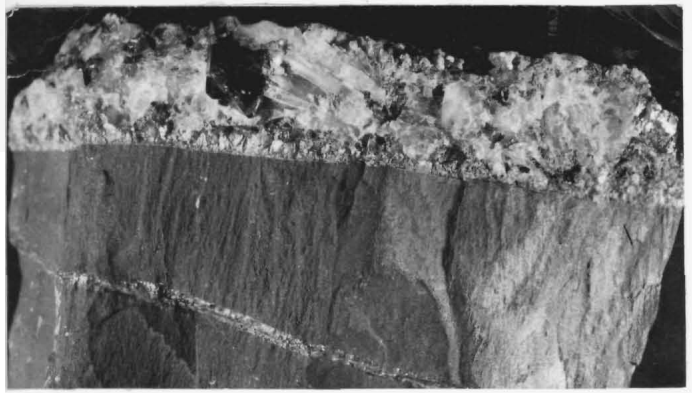


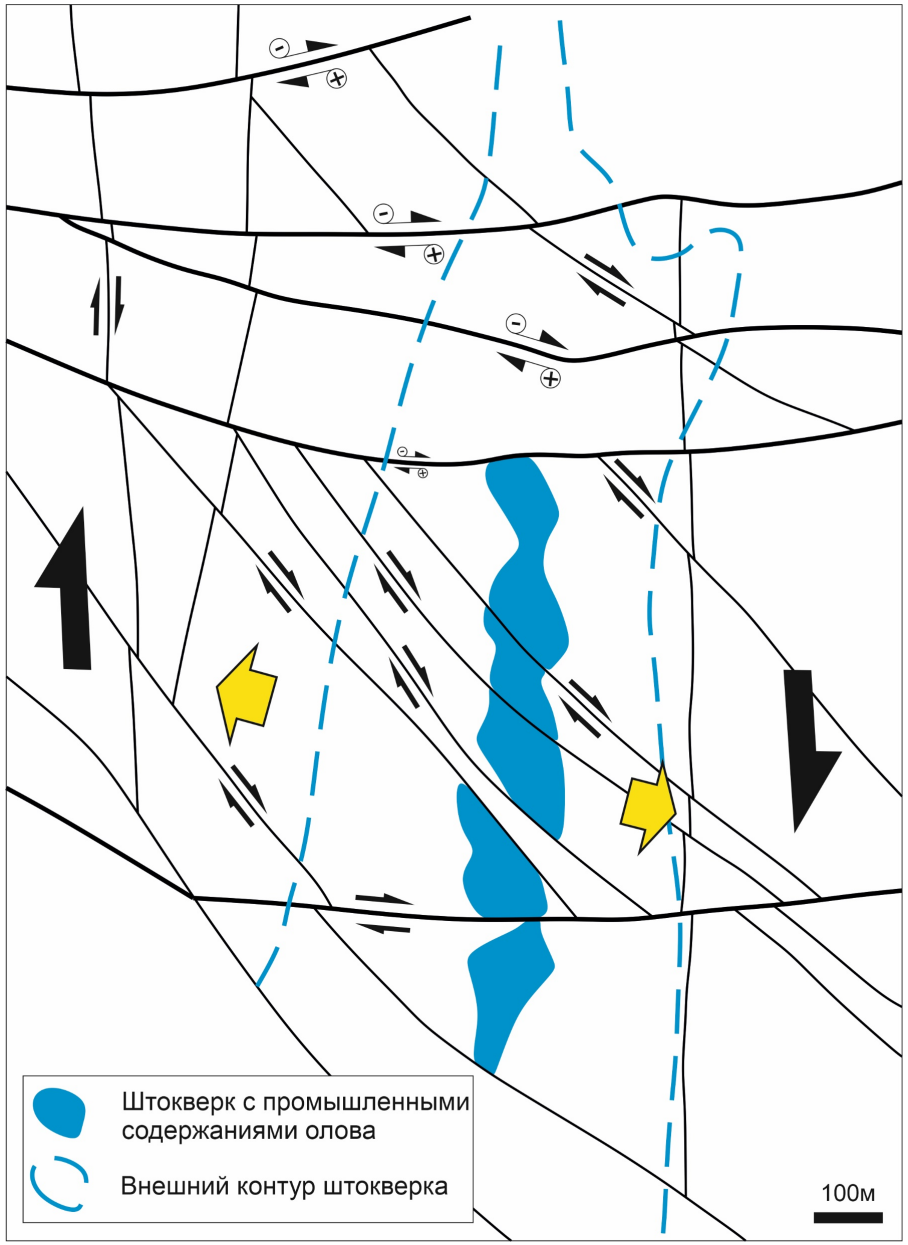
Рис. 28 Рудный прожилок с касситеритом, мусковитом, флюоритом, шт.Первоначальный, гор + 181 м

Маркин Ю.А., Цибельман Я.А., Дубинин Е.Г., Песков Н.И. Отчет о геологоразведочных работах на штокверках Пыркакайского оловоносного узла с подсчетом запасов по состоянию на I июля 1980 г. 424 стр., 33 текстовых приложений, 192 листа графических приложений, 73 библ., ЧКГЭ, СВПГО, г.Певек, октябрь 1980 г. (ВГФ, ТГФ, ЧГРЭ). Магаданская область, Чукотский национальный округ.

GeoEurasia 2020

Пыркакайские штокверки. Штокверк Нагорный

Структурная схема



- Линейный штокверк вытянут в меридиональном направлении на 1800 м при ширине до 600 м.

- Ядро штокверка – рудное тело с промышленными содержаниями олова Глубина промышленного оруденения, вскрытого скважинами 350м; Рудное тело не имеет чётких геологических границ, его контуры зависят от густоты и объёмного процента кварцевых прожилков; густота прожилков в штокверке достигает 10-15 штук на 1 пог.м

- Отсутствие литологического контроля оруденения;

- Структурный каркас штокверка образован сочетанием дорудных разломов субширотного, субмеридионального и СЗпростирания;

- Рудные штокверки - зоны горизонтального широтного растяжения в зоне правостороннего сдвига СЗ-простирания;

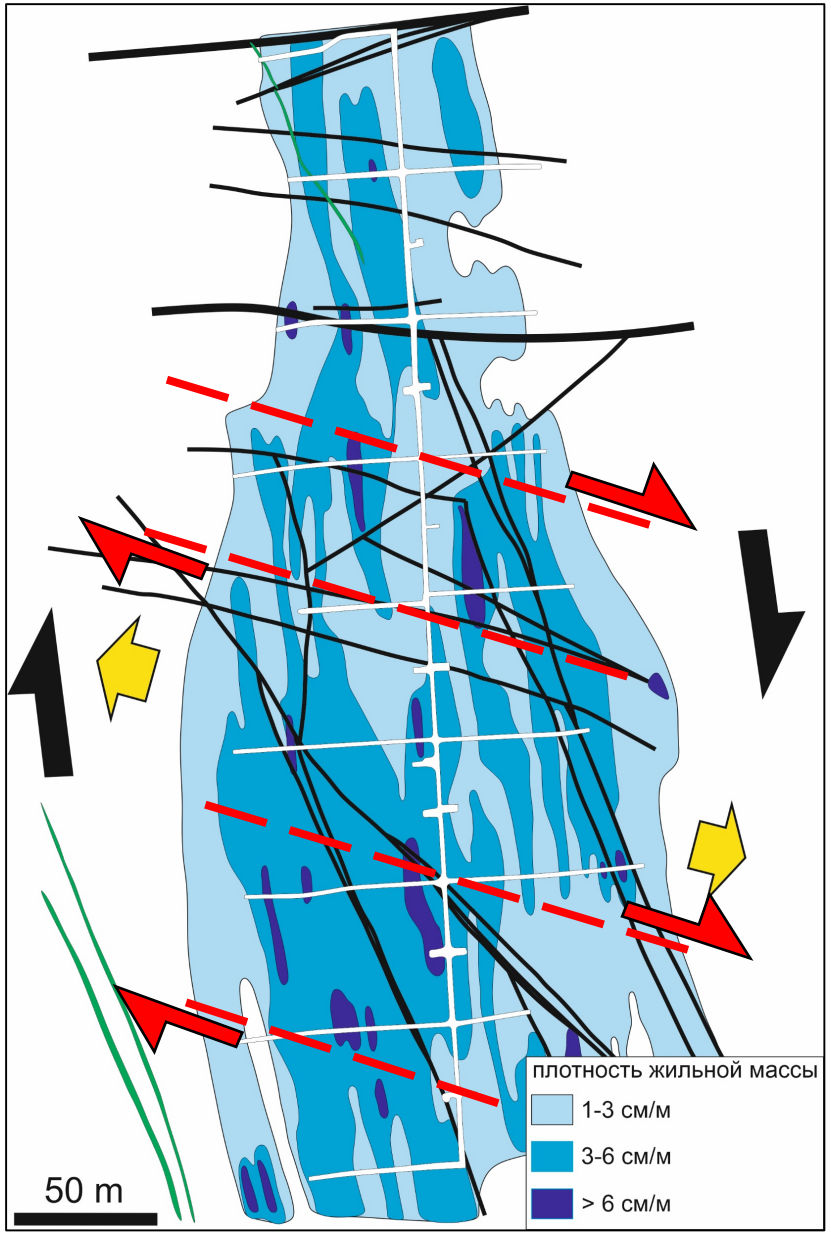
- Рудное поле осложнено пострудными широтными правыми сбросо-сдвигами

Структурный аналог штокверка месторождения Песчанка

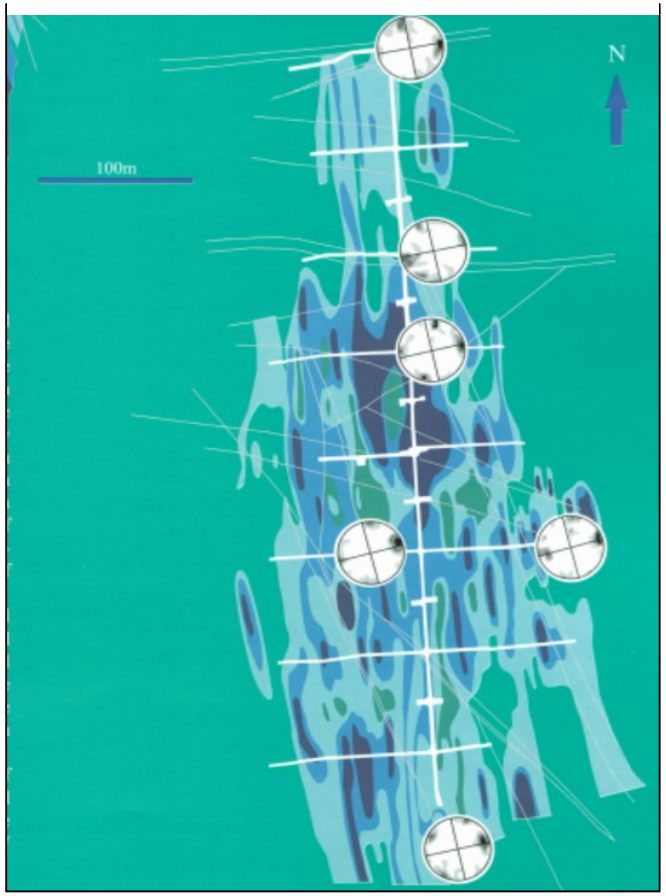
GeoEurasia 2020

Пыркакайские штокверки (Штокверк Крутой)

Структурная схема



Стереограммы
рудных прожилков на карте
изолиний содержаний олова



- Морфологические типы рудных тел: штокверки, жилы, жильные зоны и минерализованные дайки (дайки лампрофиров выполняют трещины отрывов и являются дорудными)

- Глубина оруденения более 500 м

- Рудная минерализация наложена на кварцевые жилы и прожилки

- Преобладают вертикальные меридиональные рудные прожилки по трещинам отрыва

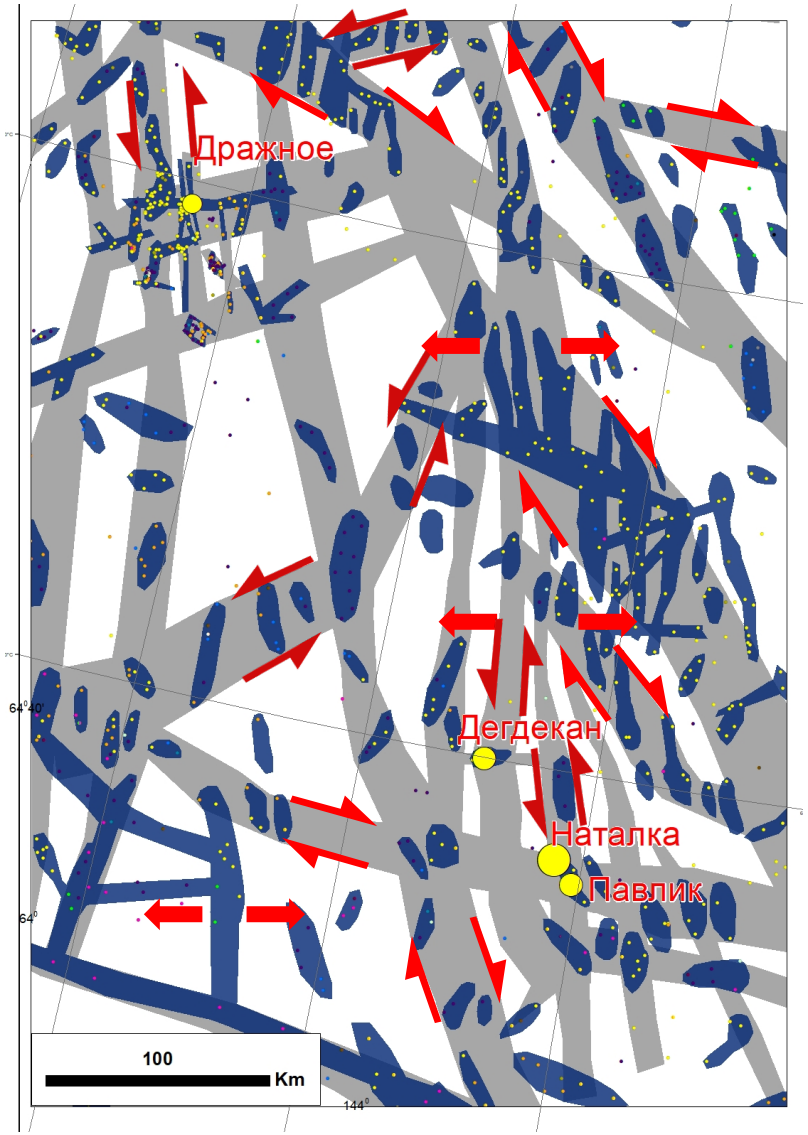
- Наиболее рудонасыщенными в границах промышленного оруденения внутри штокверков являются локальные зоны правого сдвига З-СЗ простирания. Они представленные кулисными жилами и системами прожилков отрыва

Структурный аналог штокверка месторождения Песчанка

GeoEurasia 2020

Условия локализации и формирования штокверков Колымы

Тренды минерализации.
Региональные рудоконтролирующие зоны сдвига и растяжения



- Структурные тренды минерализации (преимущественно меридиональные) являются локальными структурами растяжения в рудоконтролирующих региональных сопряженных сдвиговых зонах СВ и СЗ простирания и в меридиональных зонах растяжения, которые пересекают различные тектонические террейны и являются полихронными

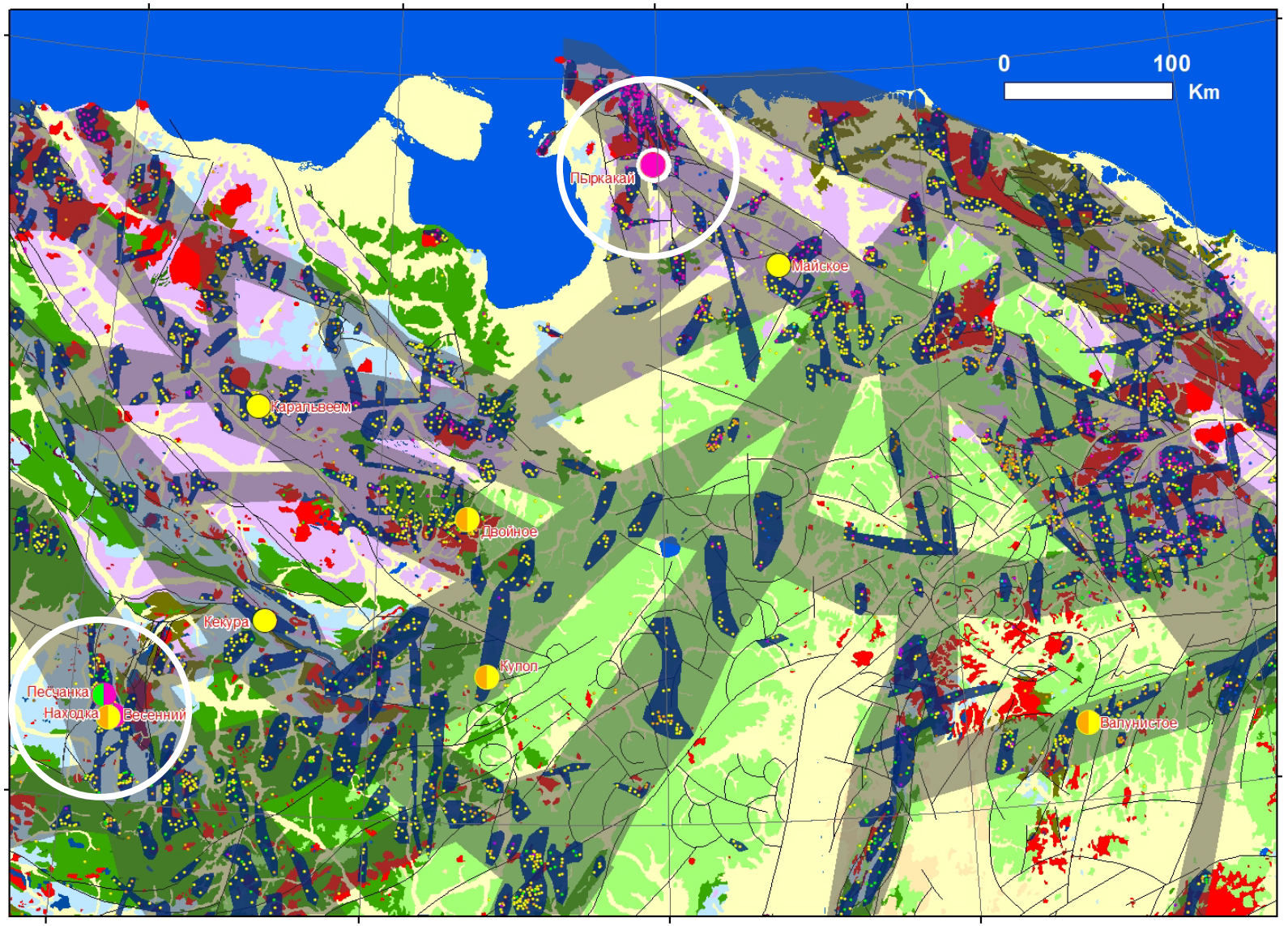
- Региональный структурный парагенез меридионального сжатия и широтного растяжения - глубинные зоны сдвига и растяжения
- Штокверки локализованы в узлах пересечения сдвиговых зон и зон растяжения

- Штокверки локализованы в узлах пересечения региональных зон сдвига и растяжения

GeoEurasia 2020

Условия локализации и формирования штокверков Чукотки

Региональные рудоконтролирующие зоны сдвига и растяжения



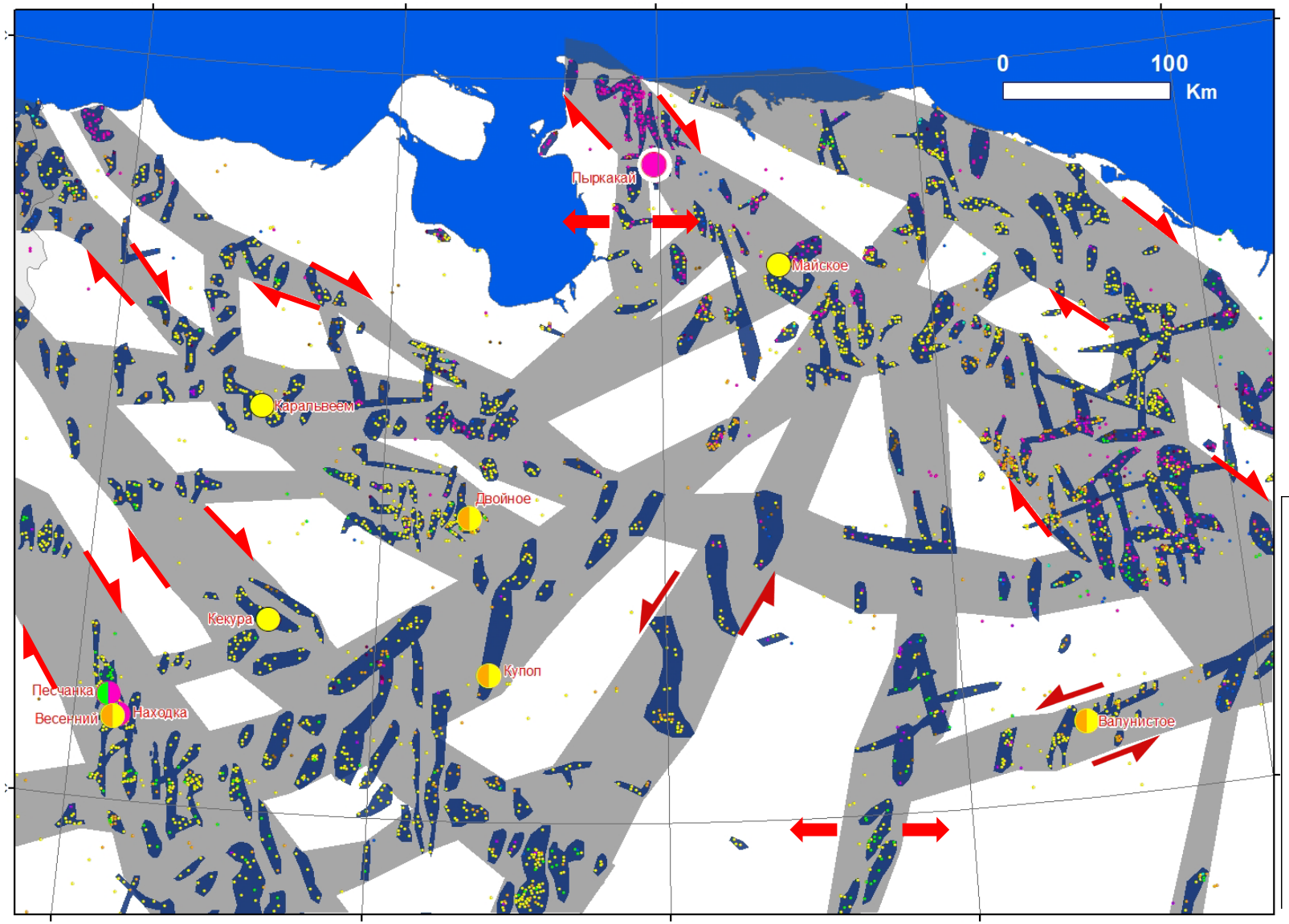
- Структурные тренды минерализации (преимущественно меридиональные) являются локальными структурами растяжения в рудоконтролирующих региональных сопряженных сдвиговых зонах СВ и СЗ простирания и в меридиональных зонах растяжения, которые пересекают различные тектонические террейны и являются полихронными

- Штокверки локализованы в узлах пересечения региональных зон сдвига и растяжения

GeoEurasia 2020

Условия локализации и формирования штокверков Чукотки

Региональные рудоконтролирующие зоны сдвига и растяжения



- Региональный структурный парагенез меридионального сжатия и широтного растяжения - глубинные зоны сдвига и растяжения
- Для Баимской рудной зоны установлен реверсивный характер сдвига – в конце юры это был **левый сдвиг**, а в раннем мелу - **рудоконтролирующий правый сдвиг**

(Читалин, 2019)

- Штокверки локализованы в узлах пересечения региональных зон сдвига и растяжения

GeoEurasia 2020

Закономерности образования рудных штокверков крупных месторождений меди, золота и олова Колымско-Чукотского региона

- Штокверки локализованы в узлах пересечения региональных сдвиговых зон

- Форма и структура **штокверков обусловлены локальными структурно-кинематическими условиями их формирования в сдвиговых зонах**

- Штокверки горизонтального растяжения и штокверки вертикального растяжения сформировались в разных локальных полях напряжений

- Штокверки полихронные, прожилки наследуют дорудную трещиноватость

- **Структура штокверков определяет характер распределение рудной минерализации и богатых руд и должна учитываться при разведке месторождений**

- **Структурные модели штокверков позволяют прогнозировать месторождения и новые рудные тела**

- **Структурные модели - основа прогнозно-поисковых моделей**

GeoEurasia 2020

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

GeoEurasia 2020