Отсутствие структурного анализа как причина ошибочных геологических моделей и недостоверного прогноза, некорректной оценки прогнозных ресурсов и запасов

Читалин А.Ф.
ООО «Институт геотехнологий»

2023 г

Почему возникают фантазии и иллюзии при ГРР ?

ФАНТАЗИЯ - придумывание несуществующей структуры, похожей на структуру известных месторождений или моделей, упрощенная геометризации рудных тел и подгонка под модель

ИЛЛЮЗИЯ - неоправданно завышенные оценки запасов и ресурсов на основе ФАНТАЗИИ, ошибки прогноза

РЕАЛЬНОСТЬ – обоснованная геологическая, поисковая и ресурсная модель, построенная на основе детальной документации и комплексного геолого-структурного анализа

Из опыта работ ИГТ на разных ГРР проектах:

При оценке и разведке многих рудопроявлений и месторождений предшественниками структурный анализ не выполнялся.

Это приводит к ошибкам при построении геолого-структурной модели и неправильной геометризации рудных тел и, как следствие, к недостоверной оценке запасов и ресурсов.

Примеры из практики работ ИГТ

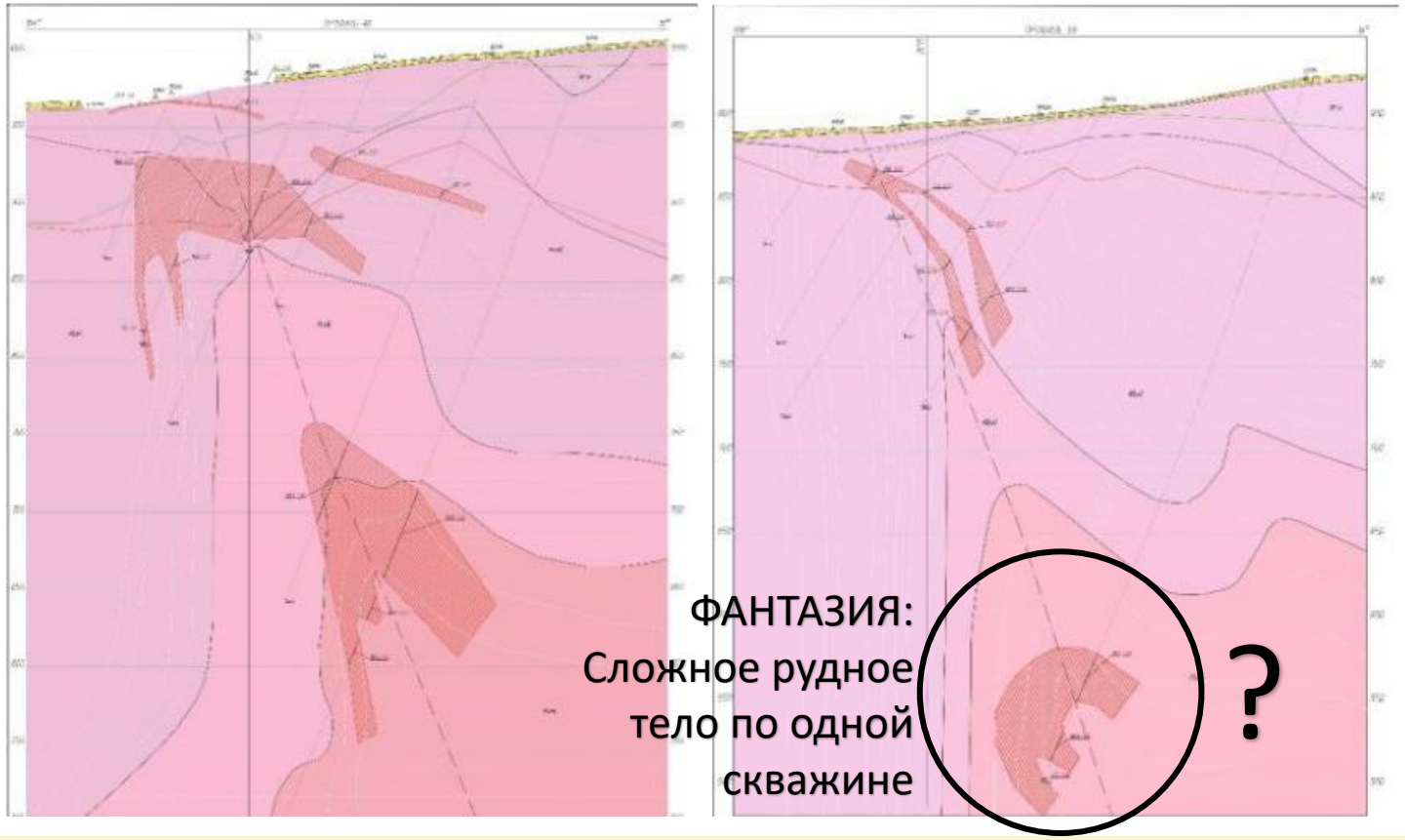
Золоторудное месторождение

Медное «стратиформное» рудопроявление

Медно-порфировая система

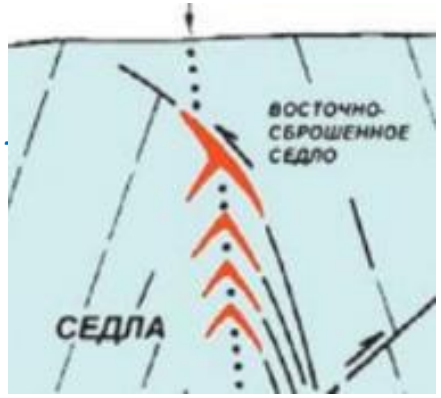
Золоторудное месторождение в Сибири

Авторская модель, методика отрисовки литологии, структуры и рудных тел



Модель предшественников: седловидные и лентовидные стратифицированные золоторудные тела в замке антиклинальной складки.

(структурный аналог - месторождение Бендиго, Австралия)



Из Отчета предшественников (2018):

…«рудные тела имеют седловидную в разрезе и лентовидную в плане форму со складкообразными изгибами, пережимами и раздувами”.

при геометризации рудных тел были отклонения от кондиций:

«для сохранения общей структуры рудных зон, в подсчет также возможно включение некондиционных интервалов более 5м»…

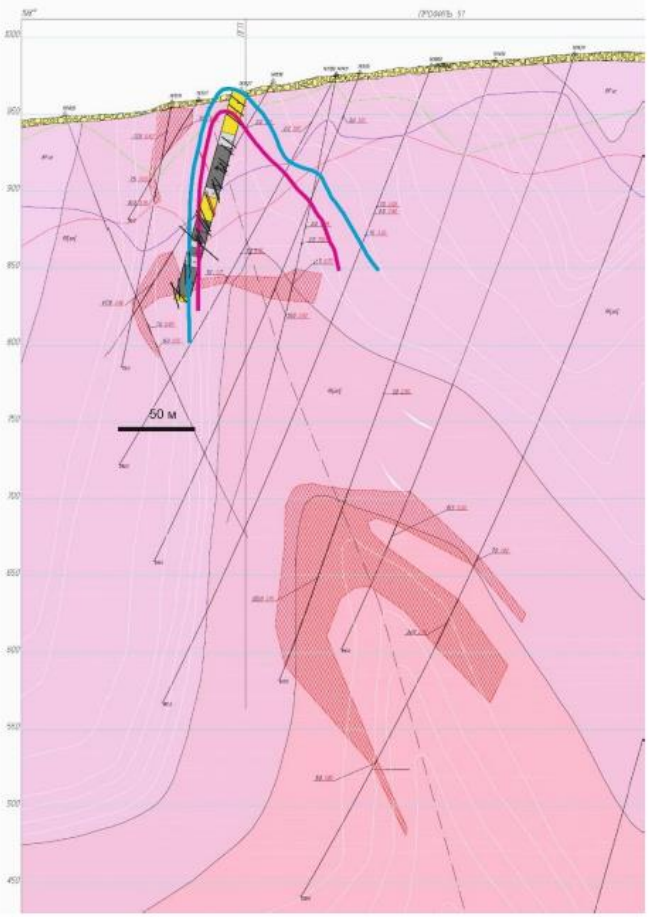
Вывод ИГТ:

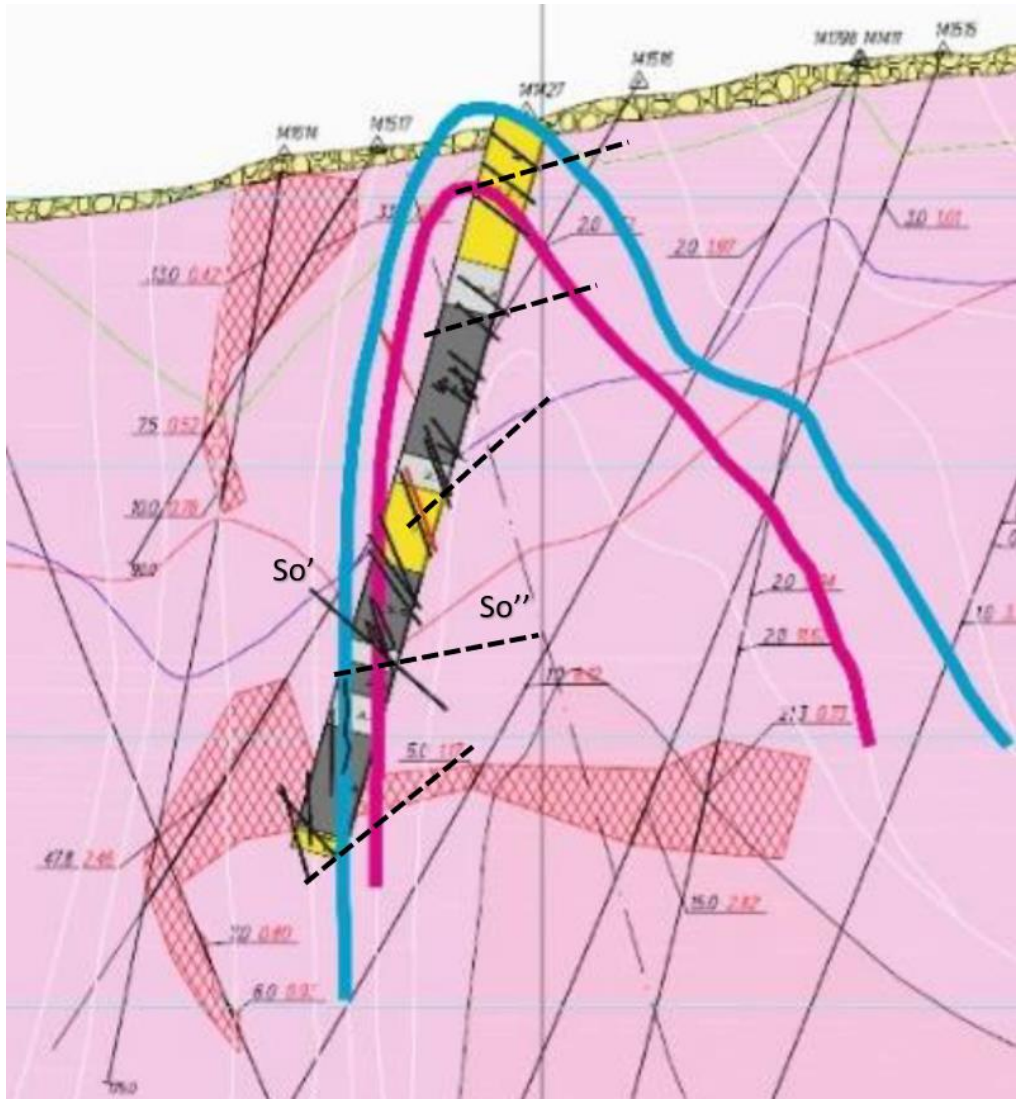
Используемая методика интерпретации данных авторами отчета позволяет предположить подгонку формы рудных тел под модель Бендиго, а геологической структуры - под форму рудных тел. Необходима проверка соответствия авторской модели фактическим данным

Золоторудное месторождение в Сибири

Проверка соответствия отрисовки литологии и структуры фактическому материалу

Антиклиналь (2018 г) - ФАНТАЗИЯ





Несоответствие отрисовки литологии и структуры фактическому материалу

Ориентировка слоистости к оси керна (2 варианта – So' и So'')
не соответствует предлагаемой авторами рисовке антиклинальной складки.

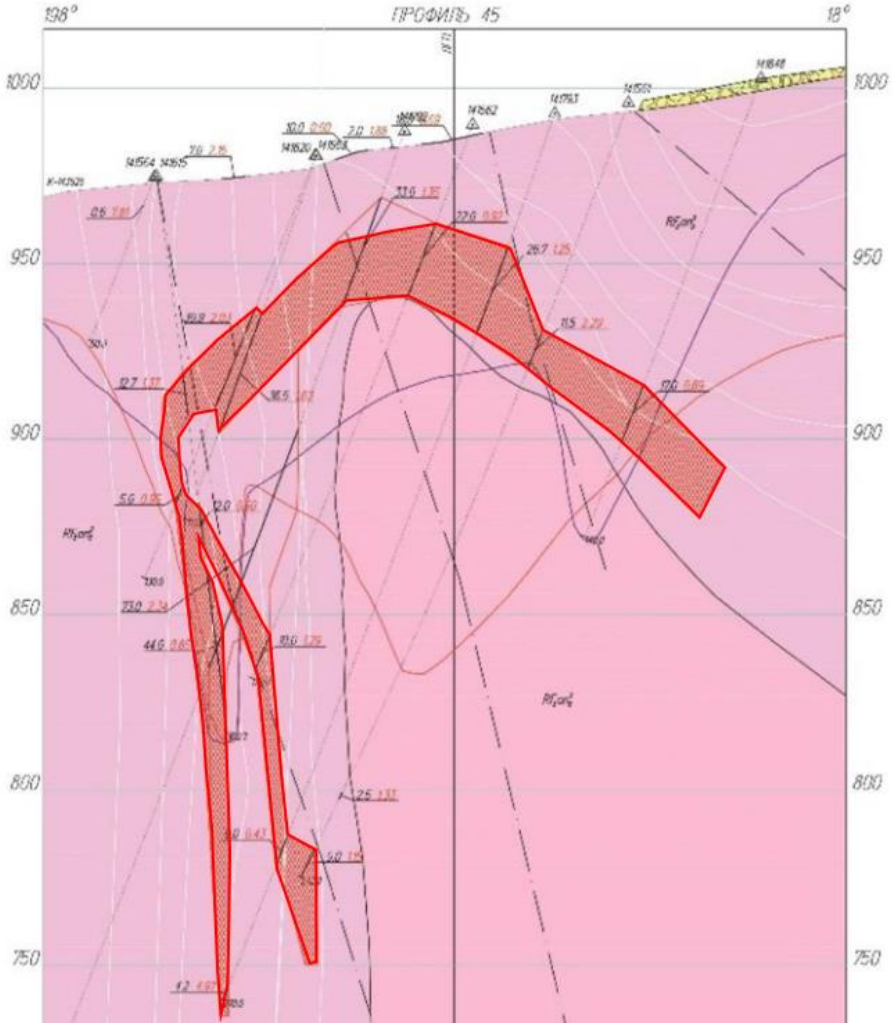
Детальная литология по скважине не соответствует выделенным авторами литологическим пачкам

Интерпретация структуры противоречит фактическим данным !

Золоторудное месторождение в Сибири

Проверка соответствия отрисовки литологии и структуры фактическому материалу

ФАНТАЗИЯ – субсогласная слоистости седловидная золотая залежь в замке простой антиклинали (Отчет 2018 г).



РЕАЛЬНОСТЬ – секущая слоистость золотая залежь в сложной складчатой структуре (ИГТ, 2019)

ИГТ, 2019:
При отрисовке складчатой структуры в турбидитах определялось нормальное и перевернутое залегание слоистости, ориентировка соскладчатого осевого кливажа и сланцеватости, а также шарниров мелких складок.

Исполнителями (2018) структура упрощена и схематизирована, нарисована конформной седловидной рудной залежи.

Рудные тела не могут быть предметом структурного анализа ! Изменение кондиций изменит форму рудного тела.

Золоторудное месторождение в Сибири

Проверка соответствия отрисовки литологии и структуры фактическому материалу

Фрагмент геологической карты

Проверка структуры

Отрисованное авторами замыкание антиклинали (белая линия) противоречит моноклинальному северному падению слоистости (желтые линии) в канавах !

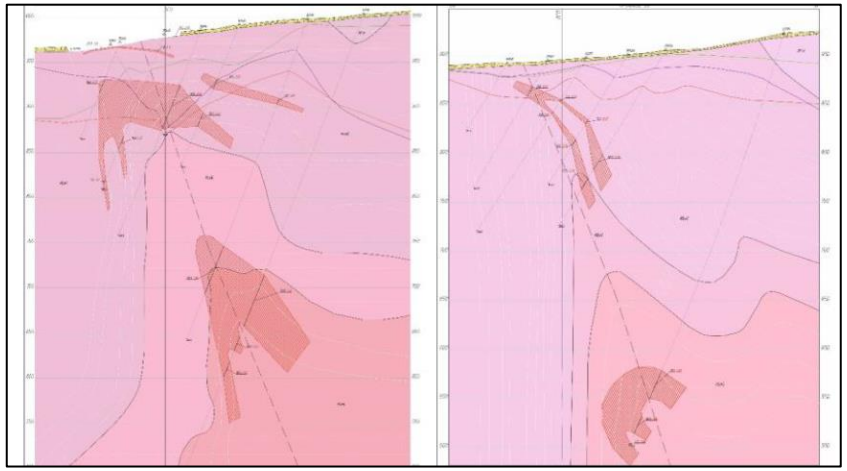
По элементам залегания слоистости складка не выделяется !

Интерпретация структуры противоречит фактическим данным !

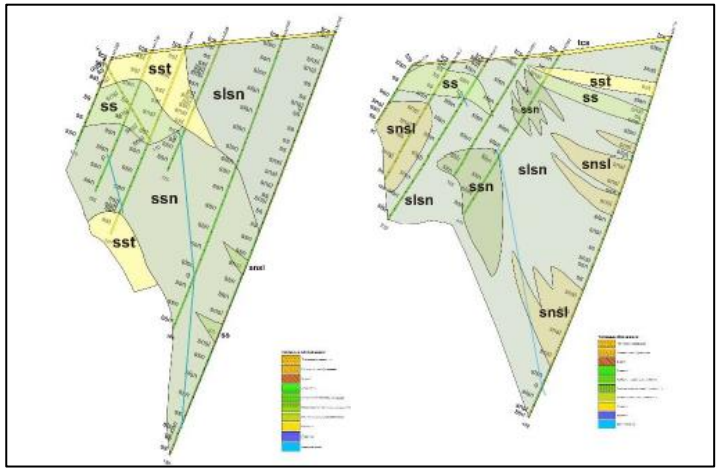
Проверка литологии

Данные задокументированной литологии на соседних профилях существенно противоречат друг другу (разрез справа), а также построениям предшественников (разрез слева).

Интерпретация литологии противоречит фактическим данным !



Границы литологических разностей на разрезах в отчете (2017)



Литологические границы по уточненным кодам в Базе данных (ИГТ, 2018)

Золоторудное месторождение в Сибири

Анализ распределения золота в скважинах предшественников

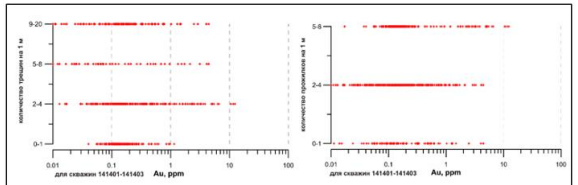
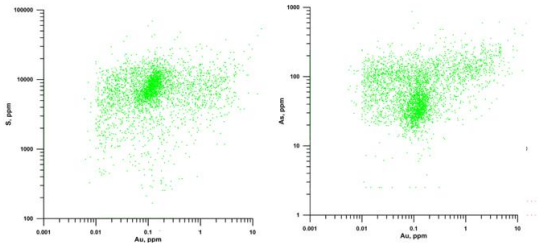
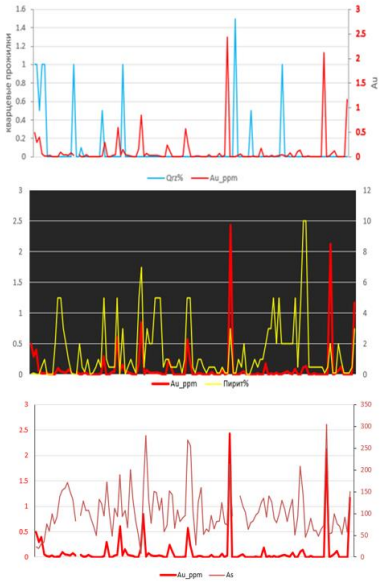


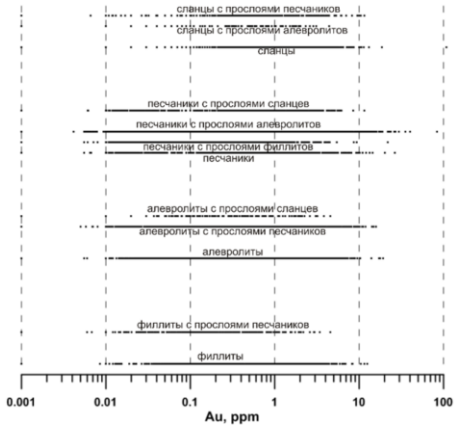
Рисунок 7. Распределение содержания золота в зависимости от количества трещин (слева) и кварцевых прожилков (справа) в породах (687 определений)



Диаграммы Au-S (слева) и Au-As (справа)



Диаграммы содержания золота, количества кварцевых прожилков, пирита и мышьяка в керне скважины (интервал 5.5. м – 140.9 м)



Распределение содержаний золота в различных породах (62702 определения)

Вывод ИГТ:
Отчетливой корреляции золота с литологией и структурными элементами не выявлено.

- **Золото и трещины**

содержания золота не зависит от интенсивности трещиноватости

- **Золото и кварцевые прожилки**

содержания золота не зависит от объема гидротермальных прожилков и их интенсивности (плотности)

- **Золото и пирит (сульфидная сера)**

Явной связи между содержанием золота и количеством пирита (и сульфидной серы) не установлено. По отдельным интервалам в скважинах с увеличением количества пирита коррелируют более высокие содержания золота. Золото сидит в пирите, но не всякий пирит содержит золото! Золото более позднее, чем пирит.

- **Золото и мышьяк**

Отчетливых закономерных связей золота и мышьяка не установлено. Прямая корреляция золота и мышьяка отмечена на некоторых интервалах скважин

- **Золото и литология**

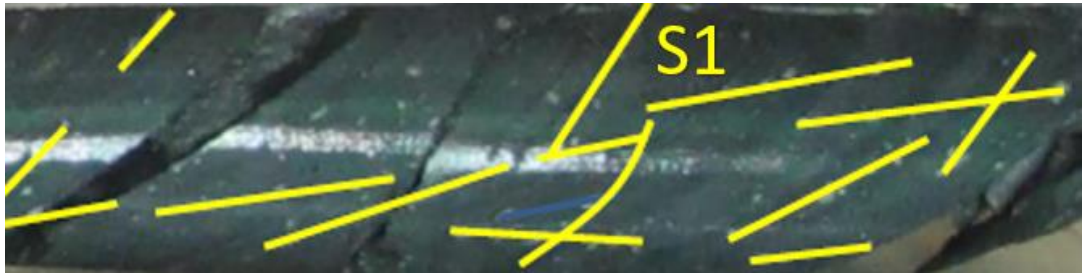
Для оценки связи литологии и содержания золота был использован весь массив данных по опробованию скважин. В песчаниках и алевролитах содержания золота примерно равные и колеблются в широких пределах от 0.01 до 10.0 ppm. Иными словами, закономерной связи золота с литологией не устанавливается

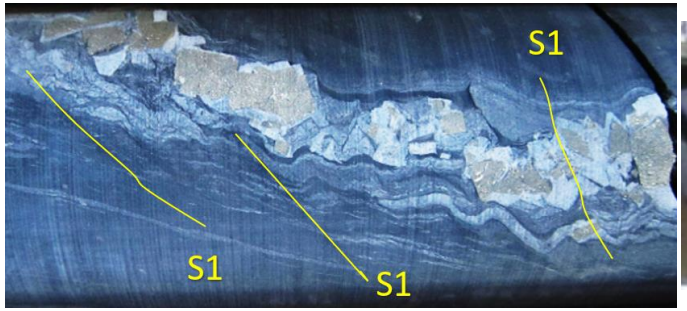
- **Золото и сланцеватость**

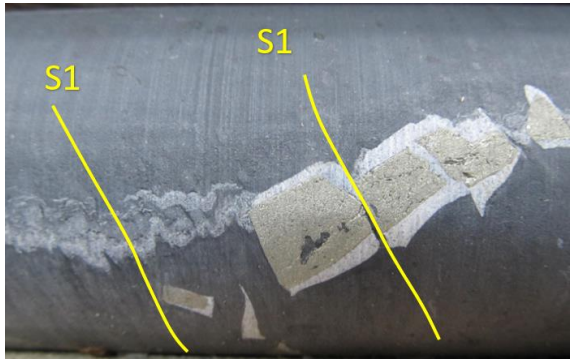
Рассланцованные породы (сланцы) имеют повышенные содержания золота - от 0.1 до 10.0 ppm.

Золоторудное месторождение в Сибири

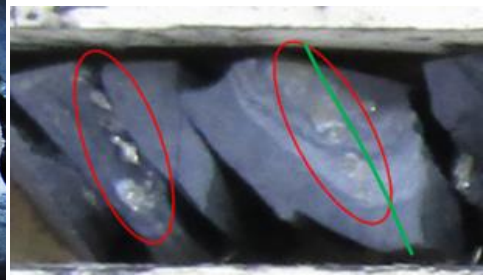
Структурный анализ рудоконтролирующих элементов и золотоносных интервалов:



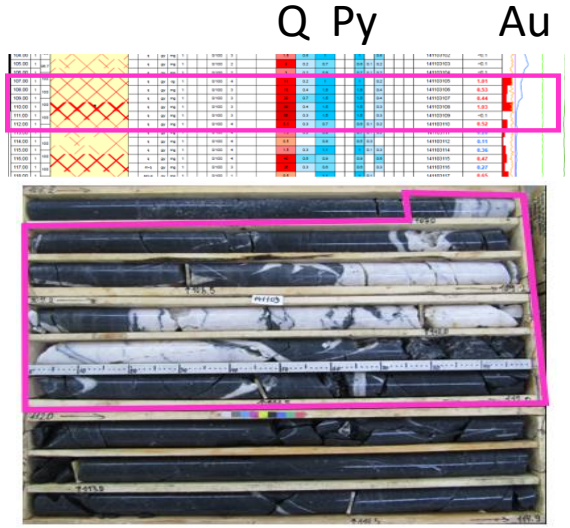




В прослоях песчаников и во вмещающих алевролитах - кристаллы пирита с кварцевыми двориками растяжения, субперпендикулярными кливажу S1



Зерна пирита локализованы в полосе, которая контролируется кливажом и пересекает слоистость в замке и на крыле складки



Золотоносный интервал – окварцованные песчаники с вкрапленниками пирита и кварцевым штокверком – послойные и секущие жила и прожилки, клювообразные кулисные – отрывы. Возможно это фрагмент пологого лентообразного штокверка растяжения.

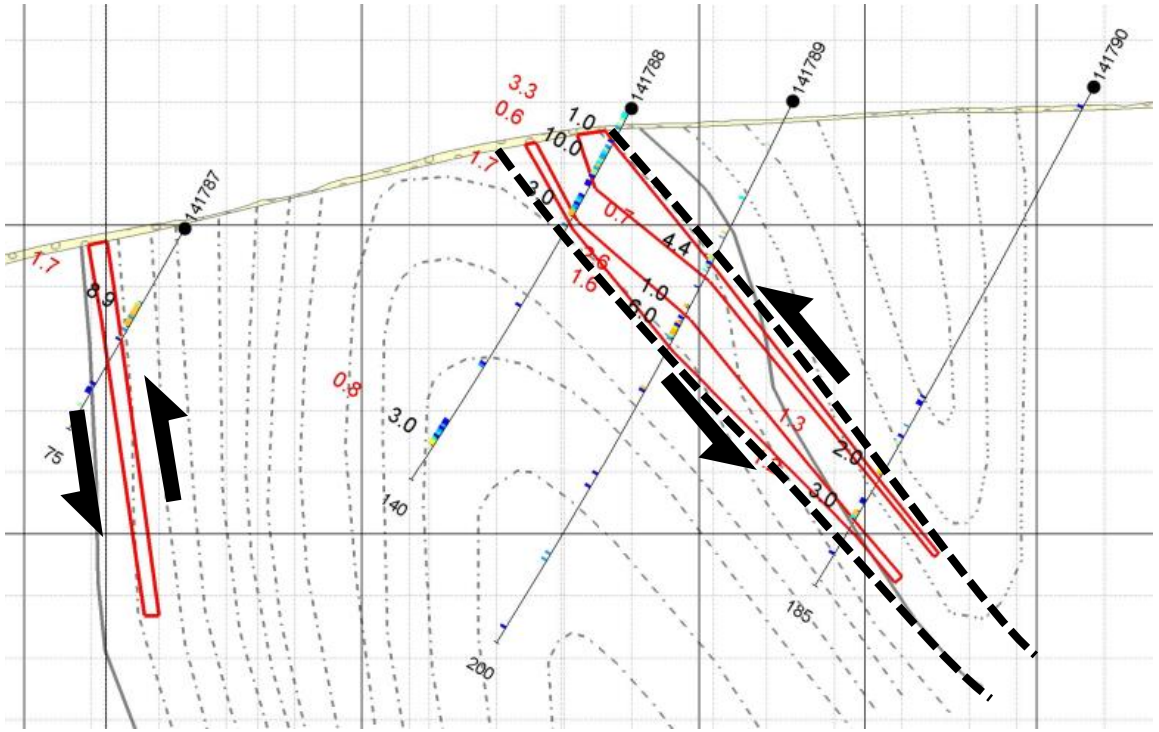
Золотоносный интервал – переслаивание алевролитов и песчаников, смятых в складки. Неравномерное распределение пирита

ИГТ: Кливаж, сколы, кварцевые прожилки, прослои песчаников контролируют распределение постскливажного пирита, в том числе и золотоносного.
Структурно-литологический контроль минерализации

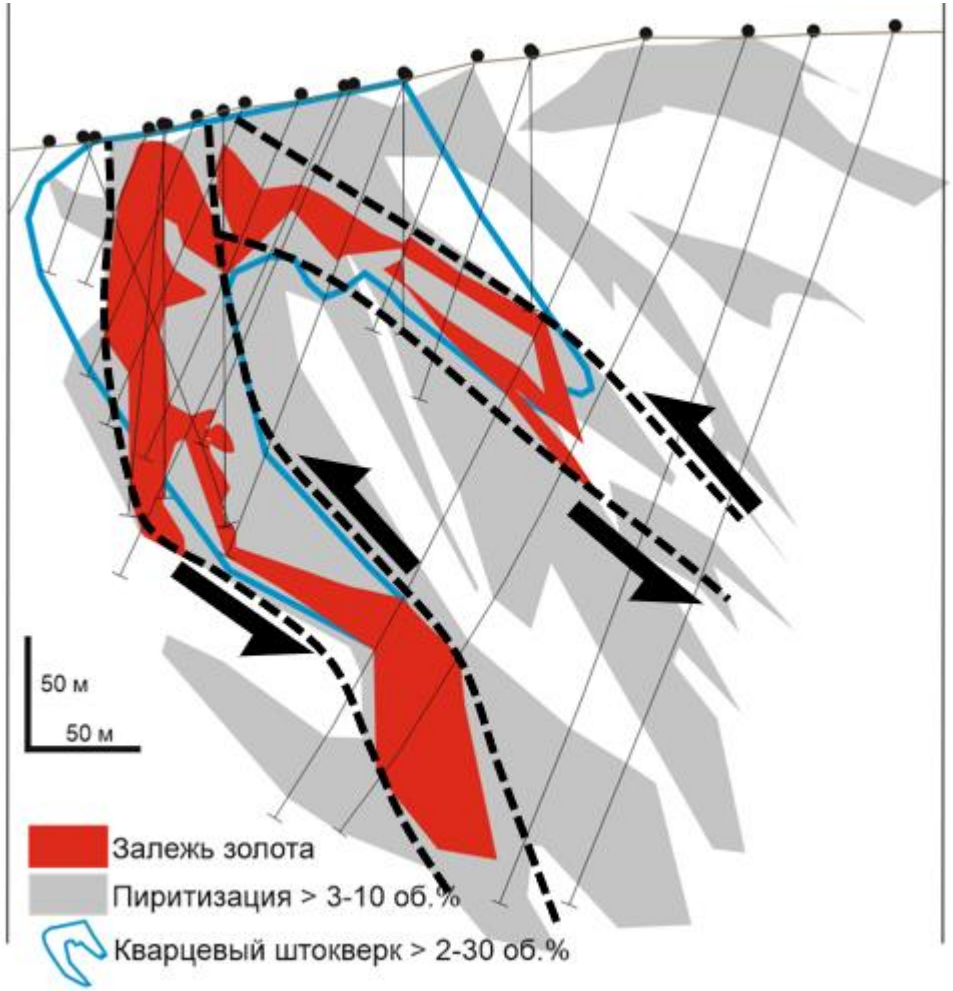
Золоторудное месторождение в Сибири

Структурная модель ИГТ (предварительная, так как полноценных структурных исследований не проводилось)

Буровой разрез по полевой документации ИГТ (2018)



ИГТ - интерпретация структуры по данным предшественников

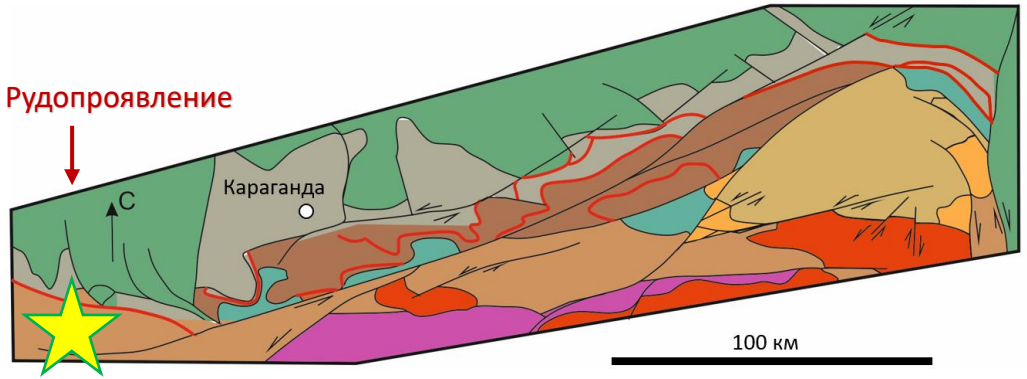


ИГТ: Золотоносные залежи контролируются осевым кливажом, субпослойными взбросами и надвигами

Медное рудопроявление в Центральном Казахстане

СПАССКАЯ МЕДНОРУДНАЯ ЗОНА

ПОЛИХРОННАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА



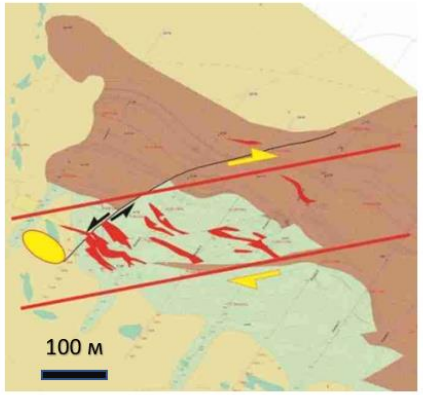
Спасская зона очень хорошо изучена - покрыта геологической съемкой масштаба 1:50 000. Множество научных публикаций

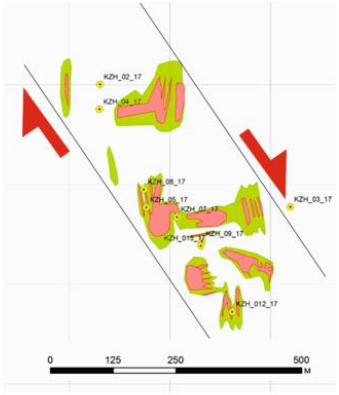
Расшифрована сложная полихронная интерференционная структура:

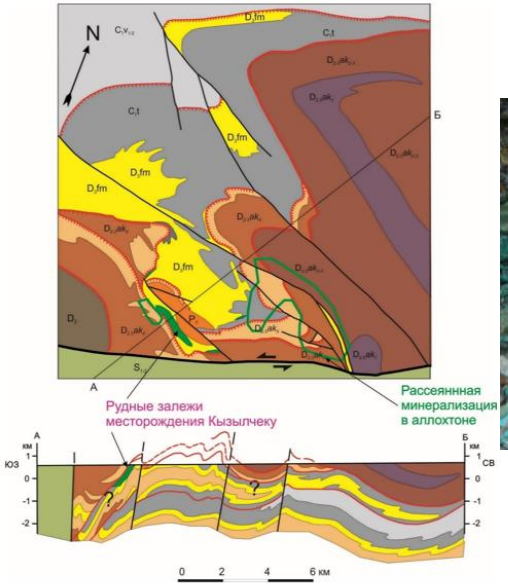
- 5 ЭТАПОВ ВАРИСЦИЙСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ (РАННИЙ КАРБОН – РАННИЙ ТРИАС)
- СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ РАЗНОТИПНОЙ МЕДНОЙ И ЗОЛОТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
- РАЗНОВОЗРАСТНЫЕ РУДНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ

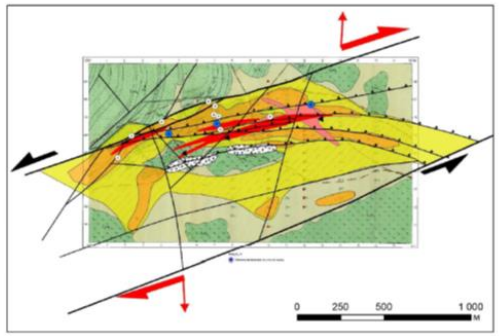
(Читалин, Читалин и др, 1983-1996, 2017, 2023)

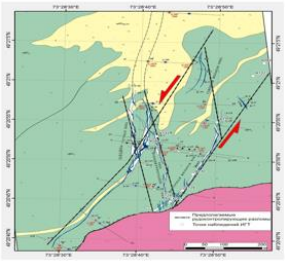
РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ ШАРЬЯЖИ, НАДВИГИ И СДВИГОВЫЕ ЗОНЫ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА

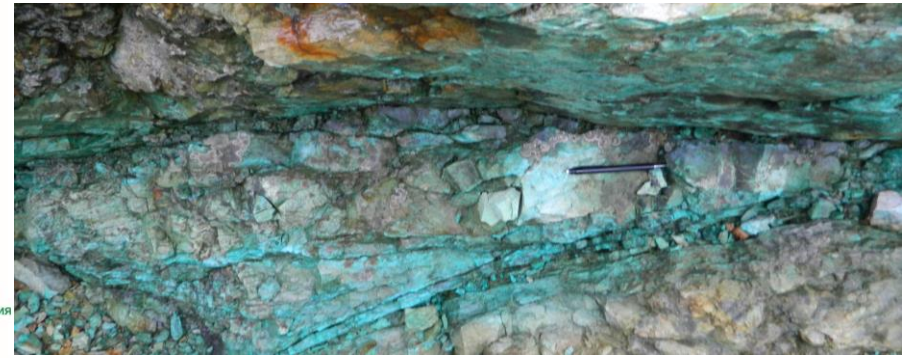










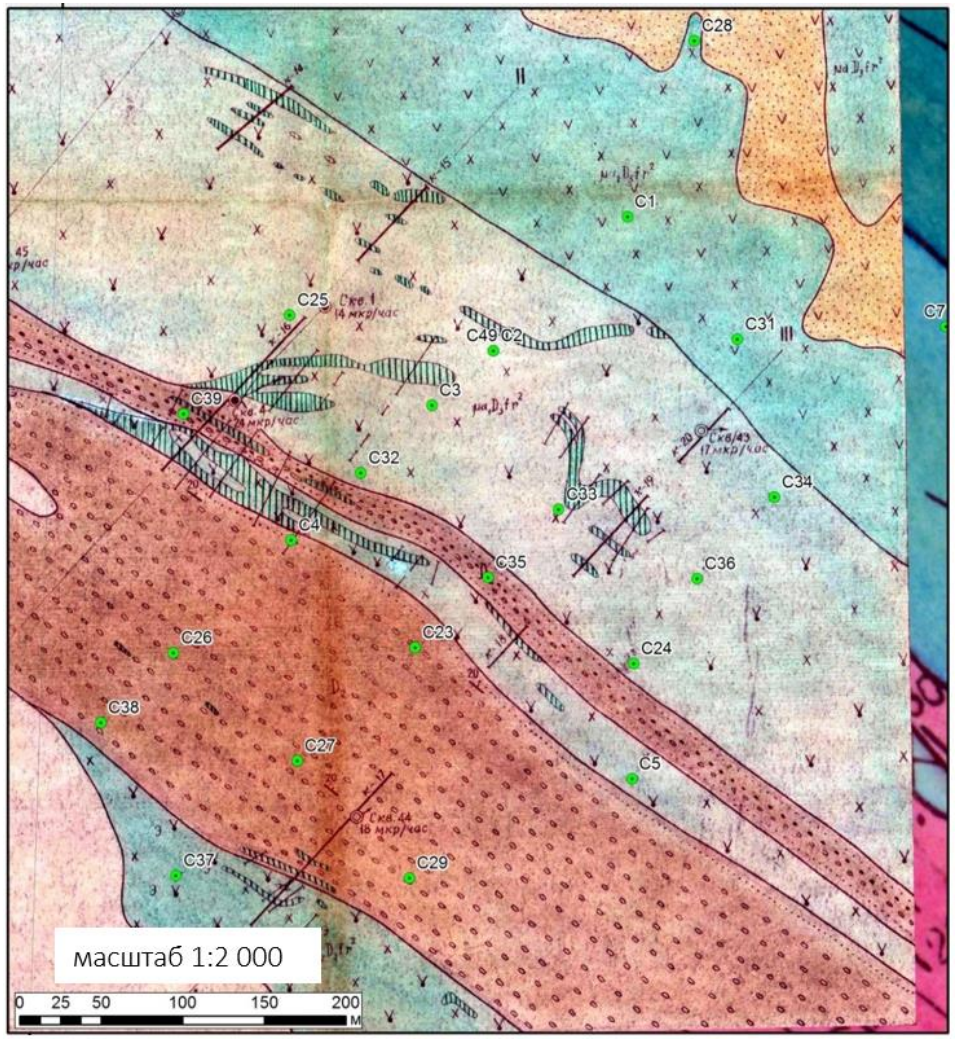


Рудоносные сдвиги в обнажении

Медное рудопроявление в Центральном Казахстане

Фантазия против Реальности

Геологическая карта рудопроявления (1976)



Штриховкой показаны рудные тела.
Вынесены поисковые скважины 2015-17 гг.

Предшественники (1939-1977 гг):

РЕАЛЬНОСТЬ:

Рудопроявление располагается в узле пересечения тектонических нарушений. Наиболее крупные проявления отчётливо тяготеют к зонам разрывных нарушений, образуя линзообразные рудные тела среди раздробленных и вторично изменённых пород.

Медная минерализация проявлена в вулканогенных и вулканогенно-осадочных образованиях среднего-верхнего девона. Прожилково-вкрапленное оруденение концентрируется главным образом в миндалекаменных порфиритах, редко на контакте этих порфиритов с туфогенно-осадочными или непосредственно в осадочных породах, образуя тела неправильной ветвящейся формы, вытянутые по простиранию слоистости или секущие ее. Часто мелкие рудные тела вытягиваются в виде цепочек.

Рудопроявление отнесено к третьей группе сложности геологического строения.

Медное оруденение в рудных телах, хотя и богатое, но размеры тел небольшие, и сами по себе они вряд ли будут представлять практический интерес.

Рудопроявление признано бесперспективным

Проект поисково-оценочных работ (2012 г):

ФАНТАЗИЯ:

«… не исключена возможность, что в местах скопления рудных тел, среднее содержание меди по богатым рудным телам и бедным промежуткам между рудными телами рудам окажется кондиционным, тогда будет возможным разобщенные рудные тела объединить в отдельные линейно вытянутые рудные зоны, что повысит ценность этого рудопроявления. Визуально намечается 3 такие зоны».

Предполагается стратиформный характер минерализации типа «манто»

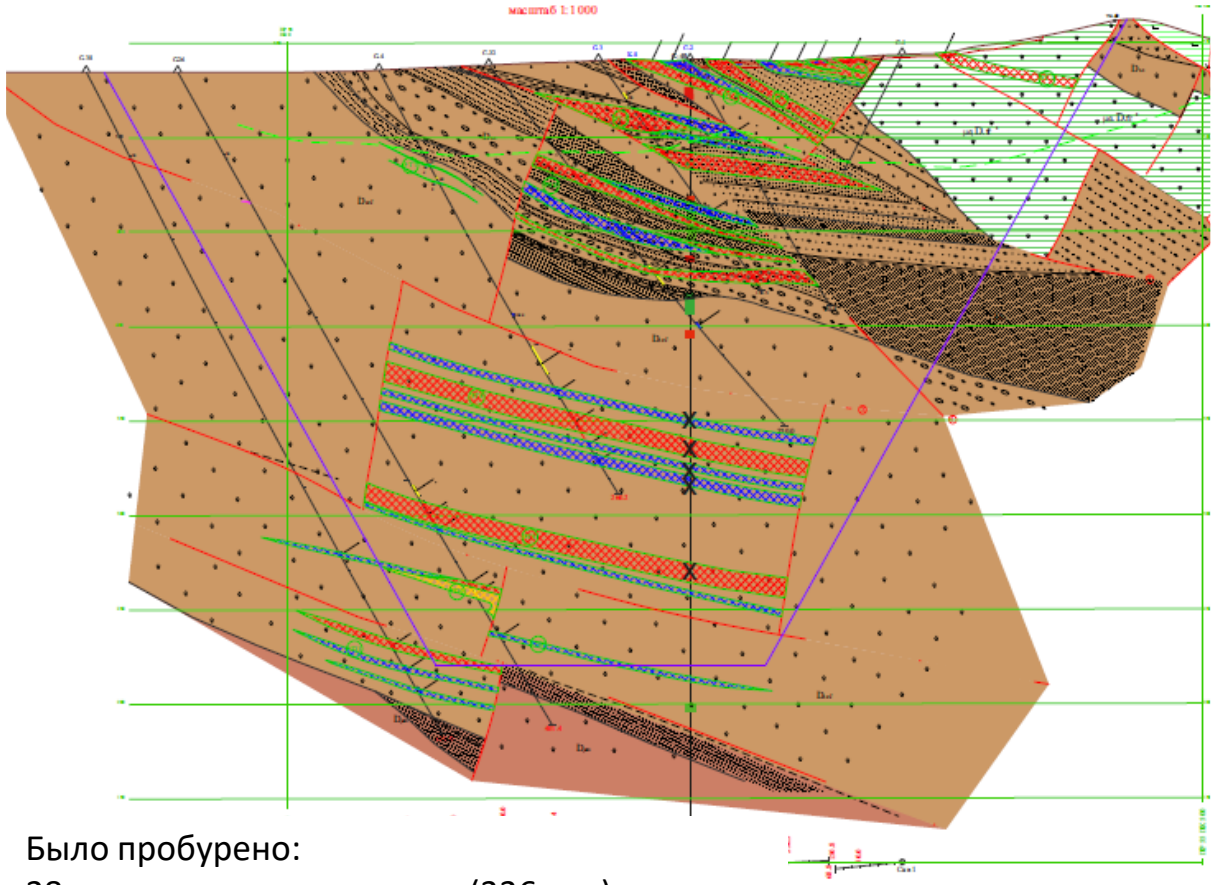
ИЛЛЮЗИЯ:

Прогнозные ресурсы меди P_1 = 15 тыс.т при 1,31% Cu

Медное рудопроявление в Центральном Казахстане

Фантазия против Реальности

ФАНТАЗИЯ - гипотетические пологие стратиформные рудные тела



Было пробурено:
38 картировочных скважин (336п.м.),
24 поисково-оценочных скважин (5988,9 п.м)

Поисково-оценочные работы (Отчет 2016 г)

Исполнителем перед началом ГРР принята стратиформная модель меднорудной минерализации в миндалекаменных андезитах (типа манто), туфах, гравелитах и конгломератах среднего-верхнего девона.

По результатам ГРР получено много маломощных рудных пересечений в различных породах на разных стратиграфических уровнях. Выявлены многочисленные субпослойные надвиги, зоны рассланцевания, субвертикальные сдвиги. По сложности геологического строения определена третья группа (весьма сложное строение).

Первоначальная версия ЮЗ-падения рудных тел (секущие тела) была изменена на противоположную - рудные тела теперь полого падают к С и СВ (стратиформные тела) срезаются надвигами и сдвигами. Обнаружены слепые богатые рудные тела на глубинах более 300м

Методика оконтуривания - рудные тела выделяются только в пределах литологически однообразных пород (ограничение стратиформной модели!).

В подсчет «прогнозных запасов» включены 11 рудных тел, распределенных по 5 рудным зонам. Для открытой отработки «прогнозные запасы» меди по категории C_2 - P_1 оценены в 67.8 тыс.т при 0,84 % Cu (прогнозные запасы в 4 раза превысили ресурсы P_1 (15 тыс.т). Коэффициент вскрыши 5,62 $м^3$/т.

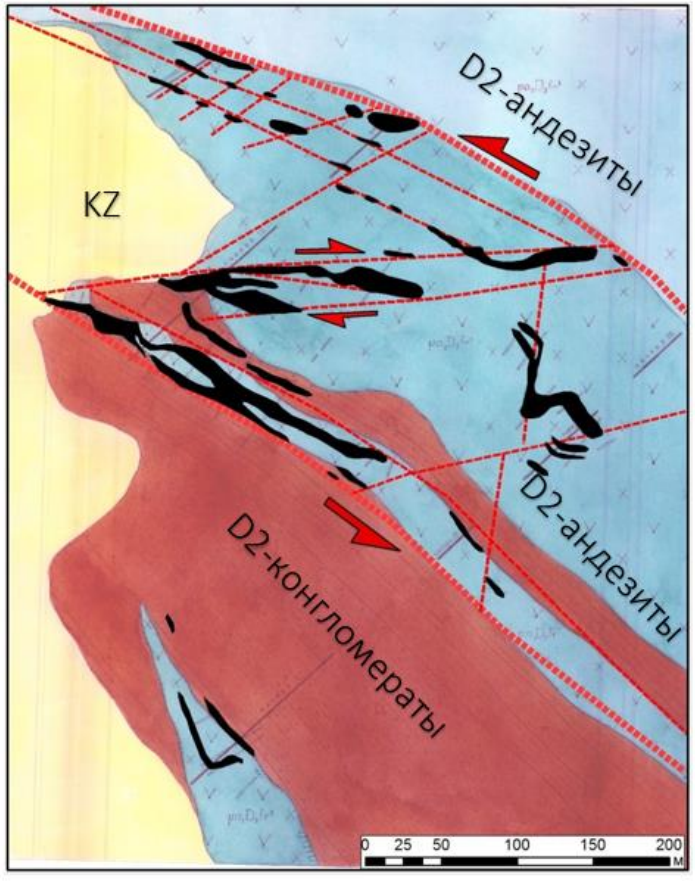
Запасы меди по категории C_2 (8.2 тыс.т), позволил перевести рудопроявление в разряд месторождений (*ИГТ: «очень малых» месторождений, малые месторождения содержат запасы менее 200 тыс.т меди).*

При детальной разведке «стратиформная» модель не подтвердилась.
Недропользователь предложил ИГТ проверить «стратиформную» модель

Медное рудопроявление в Центральном Казахстане

Полевой структурный анализ и интерпретация ИГТ (2017)

Рудные линзы на карте предшественников

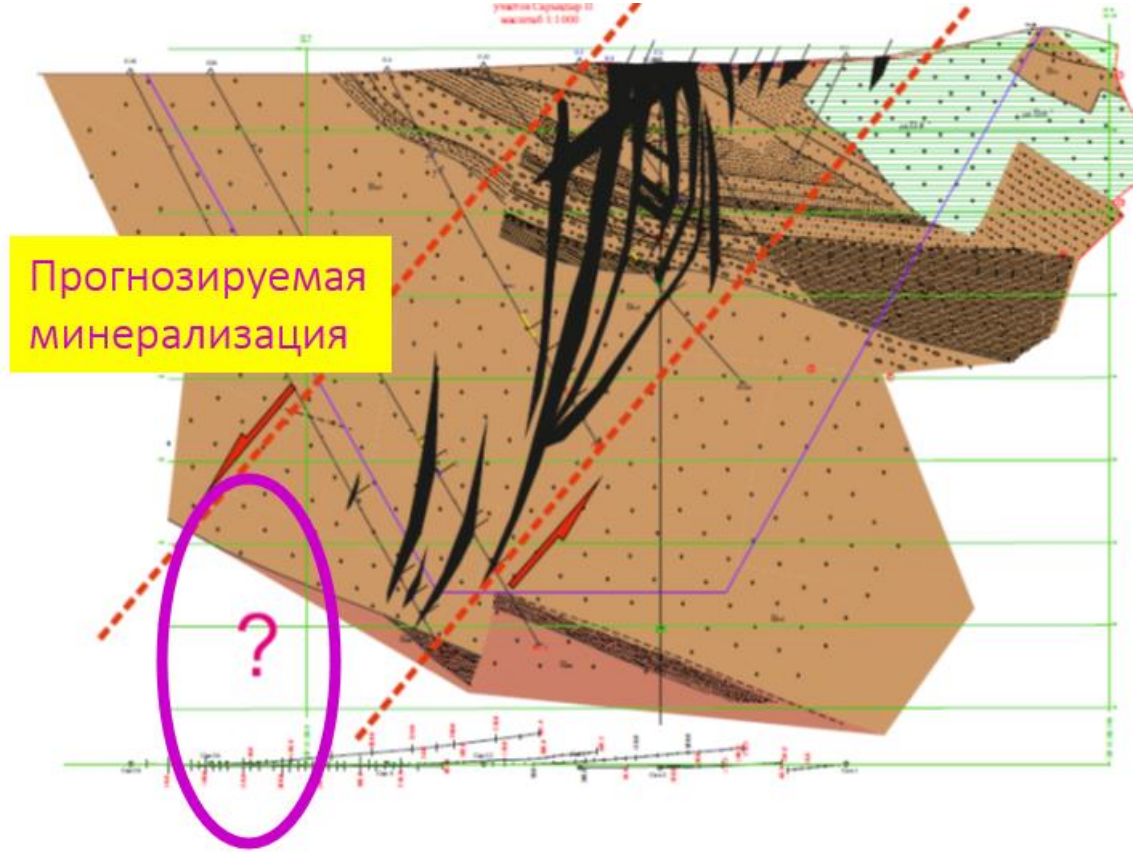


Линзовидные рудные тела контролируются сопряженными сдвиговыми зонами, в которых выделяются минерализованные кулисные структуры растяжения и скалывания, узлы пересечения разрывов

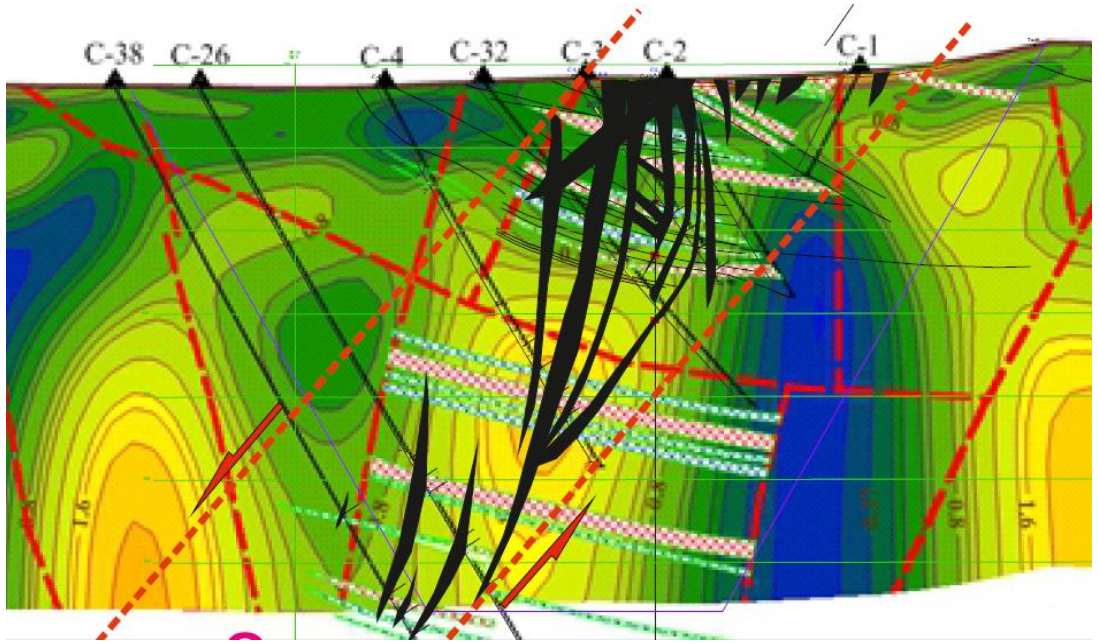
Минерализованные надвиги и сдвиги в андезитах:

Медное рудопроявление в Центральном Казахстане

Интерпретация ИГТ (2017) не согласуется со «стратиформной» моделью:
крутопадающие рудные тела (черная заливка) - минерализованные разрывы растяжения и скалывания в зоне сбросо-сдвига



ИГТ-2017: В обнажениях и в керне установлен структурный контроль прожилково-вкрапленной медной минерализации зонами рассланцевания и дробления вдоль надвигов и сдвигов, трещинами отрыва и скалывания (сбросо-сдвиги)



По данным бурения: все рудные интервалы приурочены к разрывам с повышенными значениями ВП.
Предполагаемое пологое «стратиформное» залегание руд (сетчатая заливка) не соответствует форме аномалий ВП

Медное рудопроявление в Центральном Казахстане

Заключение ИГТ:

● «Стратиформная» модель минерализации - **ФАНТАЗИЯ**, которая не соответствует фактическим структурным данным.
● Детальная разведка не подтвердила «стратиформную» модель .
● Запасы и ресурсы «стратиформных» руд завышены и недостоверны - **ИЛЛЮЗИЯ.**

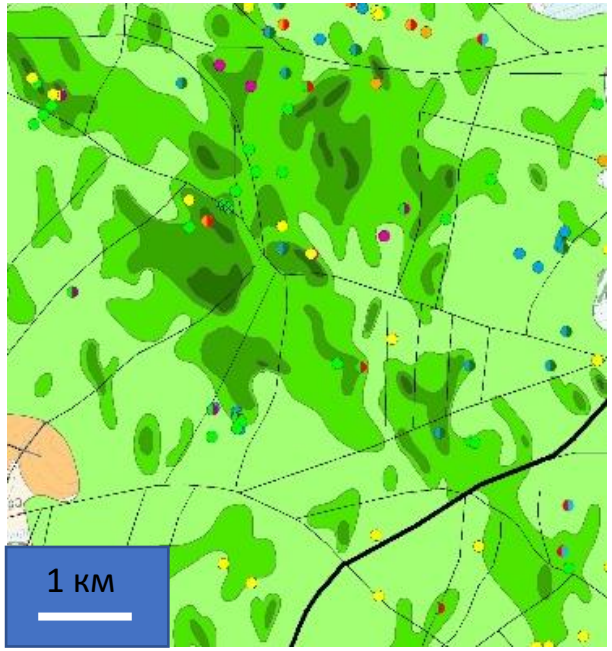
● Структурные исследования ИГТ подтвердили представления ранних предшественников.
РЕАЛЬНОСТЬ: линзовидные рудные тела выполняют локальные структуры растяжения – кварцевые штокверки и жилы, минерализованные зоны дробления и рассланцевания, контролируемые сдвигами и узлами их пересечения.

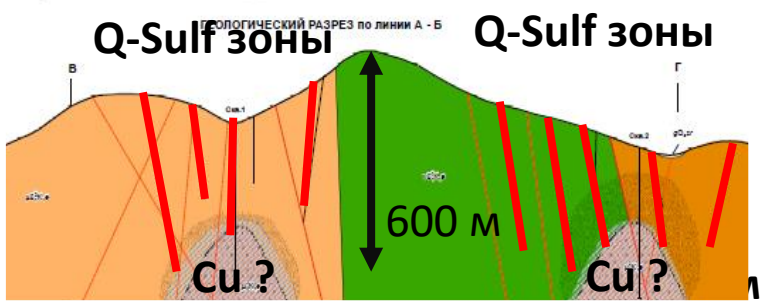
● Структурная модель ИГТ:
Рудные тела выполняют структуры отрыва, надвигов и сдвигов второго порядка в зоне наклонного сбросо-сдвига, ограничены по простиранию, но могут прослеживаться на большую глубину. Вероятно обнаружение слепых рудных тел. Модель объясняет кулисное и цепочечное положение рудных тел на поверхности, соответствует наблюдениям в керне скважин и в обнажениях, коррелирует с аномалиями вызванной поляризации.

● Перспективы по оценке ИГТ:
Вряд ли получится даже малое месторождение. Рекомендовано не продолжать работы.

Медно-порфировая система, Западная Чукотка

Вторичный ореол рассеяния меди





Литогеохимия:

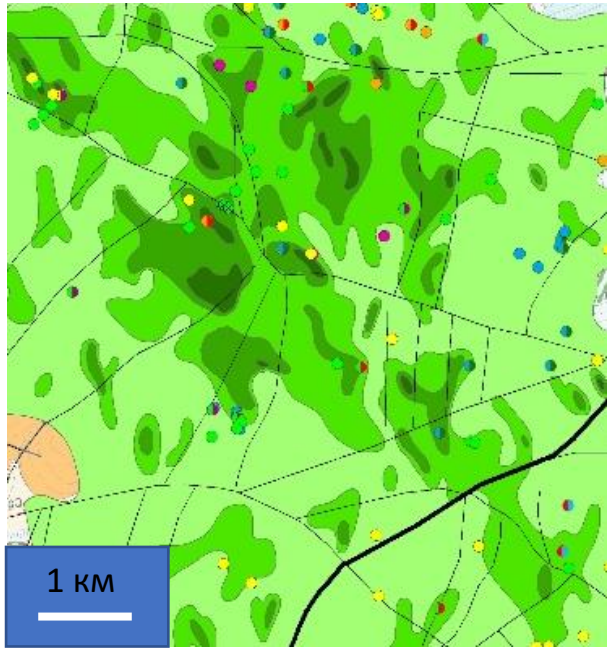
- Крупная почвенная аномалия меди - предполагаемый медно-порфировый штокверк?
- Прогнозные ресурсы P_3 до глубины 200 м - 2 млн.т. меди
- Прогнозируется крупное месторождение меди
- Были рекомендованы поиски (канавы и бурение)

Вид на сопку с интенсивной почвенной медной аномалией. Склоны покрыты плащом делювия мощностью до 1-2 м и пролювиальными шлейфами

Специалистами ИГТ было предложено до проходки канав и поискового бурения выполнить структурно-геологическое картирование предполагаемого рудного штокверка

Медно-порфировая система, Западная Чукотка

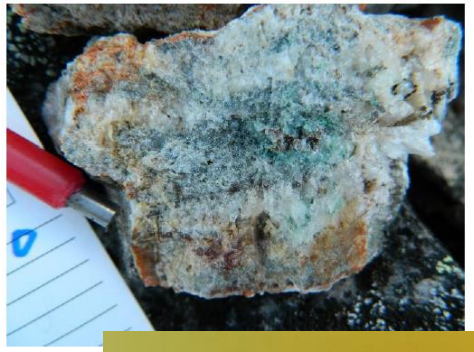
Вторичный ореол рассеяния меди

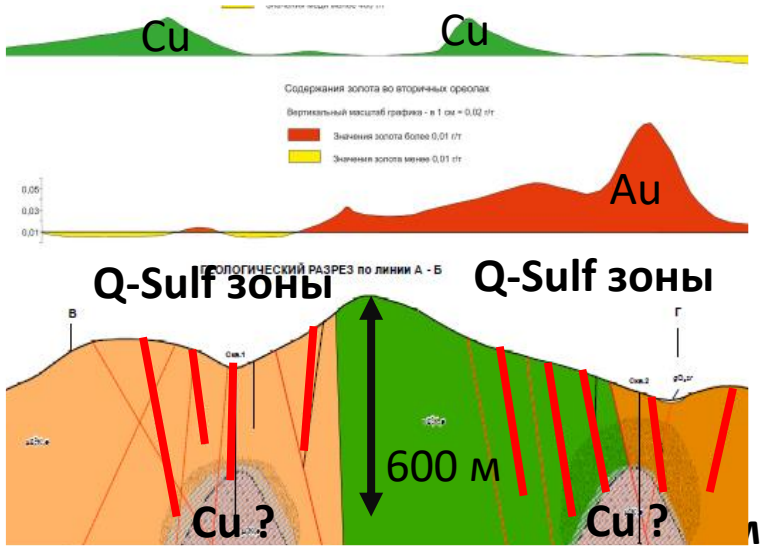


Результат геолого-структурного картирования:

- Не обнаружен медно-порфировый штокверк на уровне современного эрозионного среза.

- Вторичные геохимические аномалии меди обусловлены – редкими (1%) маломощными (1-3 м) кварц-сульфидными жильно-прожилковыми зонами и обширными делювиальными шлейфами механического рассеивания рудных обломков.



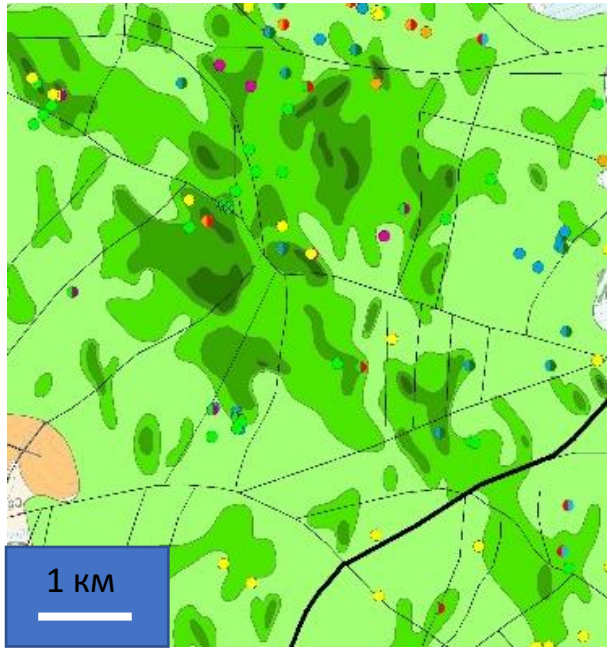


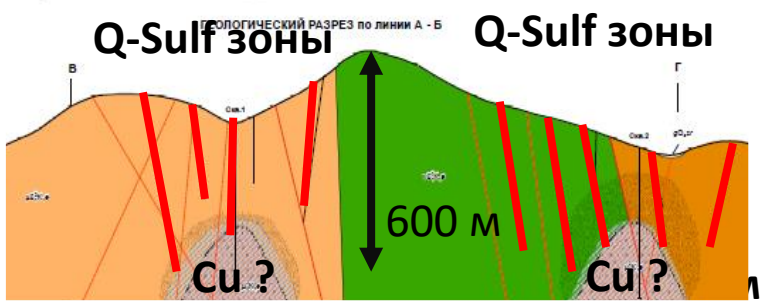
Минерализованная зона прожилкования и дробления в монцодиоритах

Кварцевые жилы и прожилки с халькопиритом и борнитом

Медно-порфировая система, Западная Чукотка

Вторичный ореол рассеяния меди





ЗАКЛЮЧЕНИЕ ИГТ:

- Не обнаружен медно-порфировый штокверк на уровне современного эрозионного среза. Аномалии обусловлены – редкими (1%) маломощными (1-3 м) кварц-сульфидными жильно-прожилковыми зонами и обширными делювиальными шлейфами механического рассеивания рудных обломков.

- Геохимические ресурсы уменьшены в 100 раз – 0.02 млн (20 тыс.) т меди

- Рудный штокверк прогнозируется на глубине не менее 500 м – высокий геологический риск.

- Дальнейшие поиски медно-порфирового месторождения экономически нецелесообразны

Как избежать фантазий и иллюзий ?

Забудьте о моделях

«Геолог должен знать модели месторождений, но когда изучается рудный объект – забудьте о моделях»

Noel C. White - международный эксперт-геолог, 1998 г

«Картируйте, и все выяснится...»

Ч. Лэпуорт, английский геолог, 1890-е гг.

Научный подход:

- Факты
- Анализ
- Синтез
- Интерпретация-модель
- Выводы, Прогноз

Метод аналогий:

1. Поиск аналогов,
2. Нахождение доказательств подобия исследуемого объекта аналогу
3. Перенесение исследуемых свойств с аналога на объект.

Структуру должен изучать геолог-структурщик !

Наиболее эффективным является детальный геолого-структурный анализ в комплексе с другими методами исследования