Геолого-геофизическая конференция и выставка

GeoEurasia 2020

Методика изучения месторождений золото-кварцевого типа методом рентгеновской микротомографии

Чикатуева В.Ю.[1],

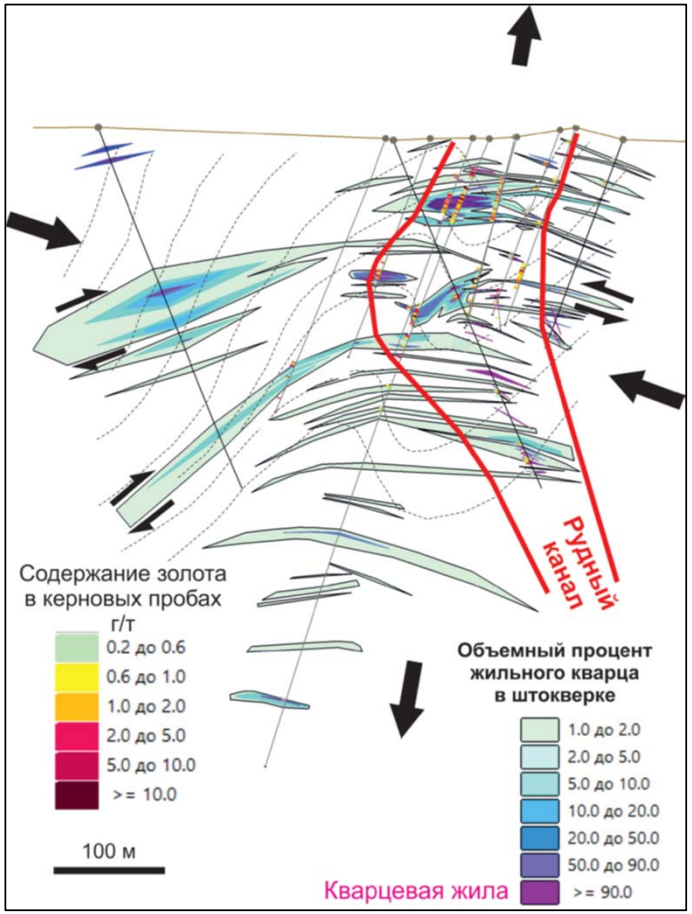
Корост Д.В.[2], Читалин А.Ф.[1], Степанов Н.В.[2], Хомяк А.Н.[2]

1. ООО «ИГТ-сервис», 2. ООО «Деко-сервис»

Москва

Введение

Эффективность работы любого горнодобывающего предприятия напрямую зависит от надежной геологической модели



Читалин А. Ф., Воскресенский К. И., Гришин Е. М. и др., Структурно-кинематическая модель золоторудного месторождения Дражное. // Геофизика, 2018. № 3. С. 106 – 114

Геологическая модель

- Литологическая модель
- Минералогическая модель
- Геохимическая модель
- Структурная модель

Каково их взаимоотношение в пространстве?

Структурная интерпретация рудных залежей месторождения Дражное.
Пунктиром показана слоистость. Стрелками показано сжатие и растяжение, полустрелками – кинематика штокверков

GEOEurasia 2020

Принцип работы и устройство

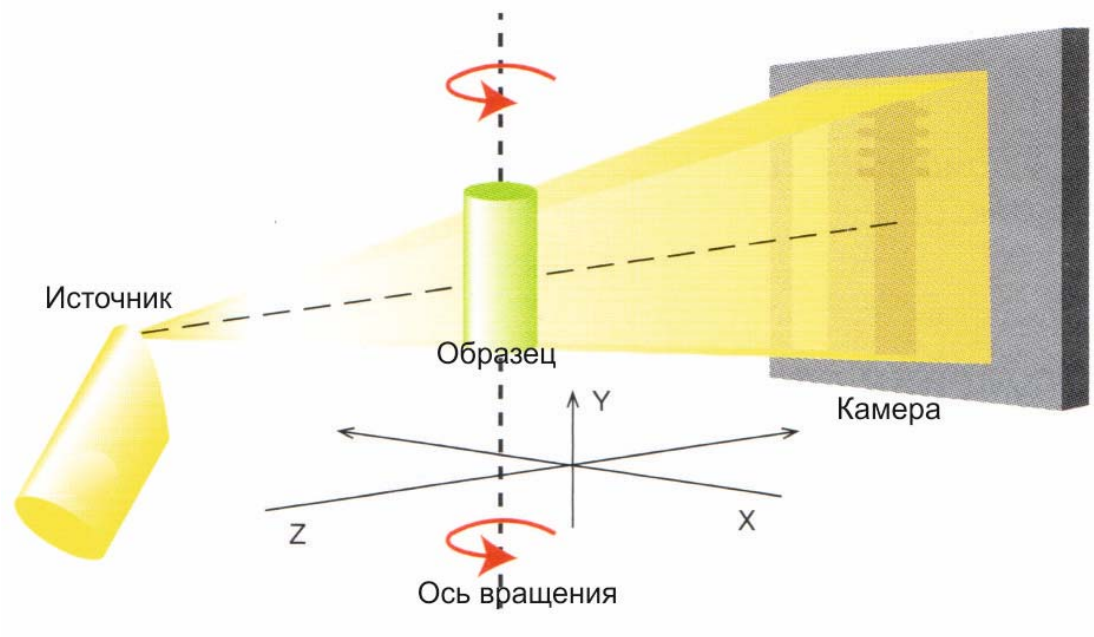


Схема взаимоположения элементов системы и образца при съемке

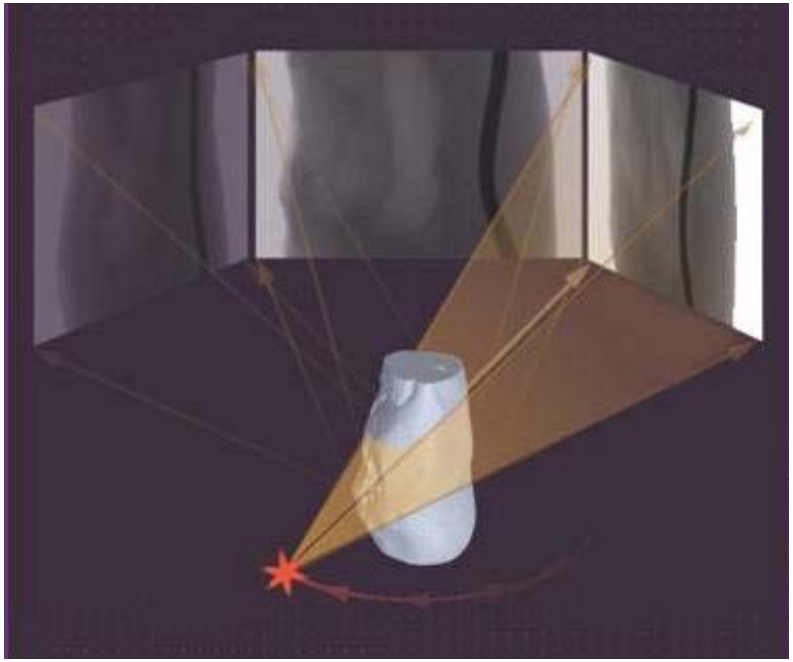
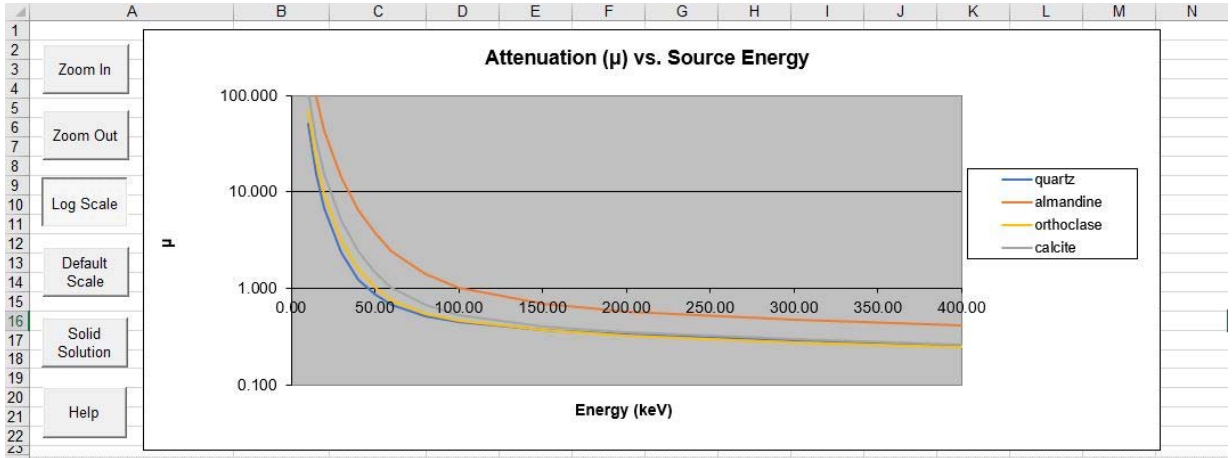


Схема получения набора теневых проекций

Основополагающий принцип рентгеновской микротомографии заключается в получении множества теневых проекций с различных углов обзора образца

Основы КТ (съемка на одной энергии)

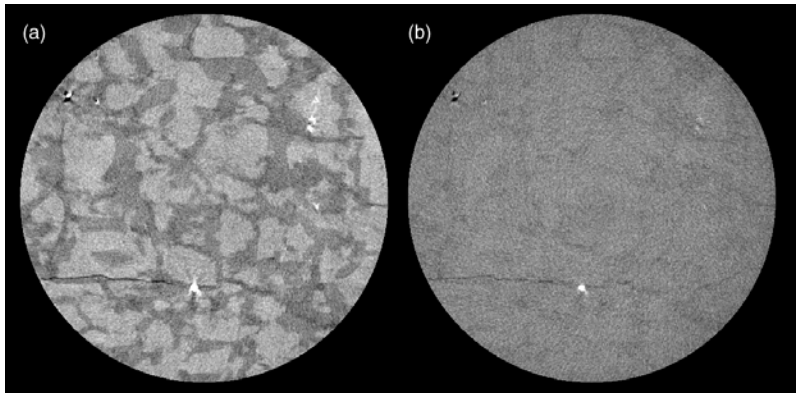
При изучении геологических объектов на томографе основным процессом, определяющим ослабление рентгеновского излучения, будет плотность компонентов и фотоэлектрическое поглощение. Съемка на больших энергиях рентгеновского излучения (от 130-140 КэВ) несет информацию в основном о плотности объекта, а измерение с низкой энергией (80-90 кэВ и ниже) содержит информацию о фотоэлектрическом поглощении



				10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	80.00	100.00	150.00
quartz	Graph On	quartz		50.445	15.426	6.770	2.318	1.235	0.847	0.666	0.515	0.446	0.372
			Energy(keV) =	10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	80.00	100.00	150.00
analcite	Graph Off	analcite		16.965	5.187	2.401	0.985	0.641	0.512	0.451	0.390	0.358	0.313
			Energy(keV) =	10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	80.00	100.00	150.00
analcite	Graph Off	analcite		16.965	5.187	2.401	0.985	0.641	0.512	0.451	0.390	0.358	0.313
			Energy(keV) =	10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	80.00	100.00	150.00
orthoclase	Graph On	orthoclase		68.894	21.393	9.376	3.108	1.562	1.005	0.754	0.544	0.456	0.368
			Energy(keV) =	10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	80.00	100.00	150.00
calcite	Graph On	calcite		109.755	34.959	15.447	5.014	2.390	1.444	1.019	0.667	0.531	0.401
			Energy(keV) =	10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	80.00	100.00	150.00
almandine	Graph On	almandine		294.919	97.155	43.612	14.077	6.477	3.692	2.435	1.403	1.015	0.682

Источник http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM.html

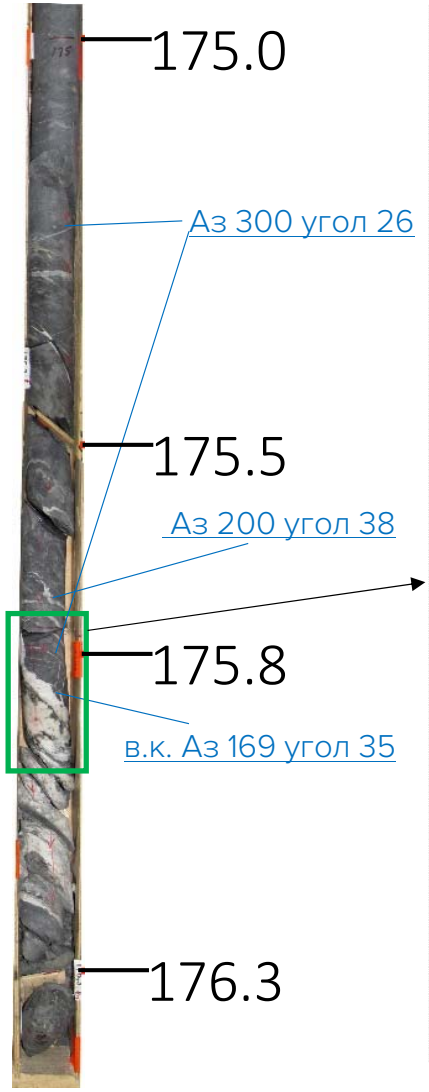
~ 60 кэВ ~ 400 кэВ

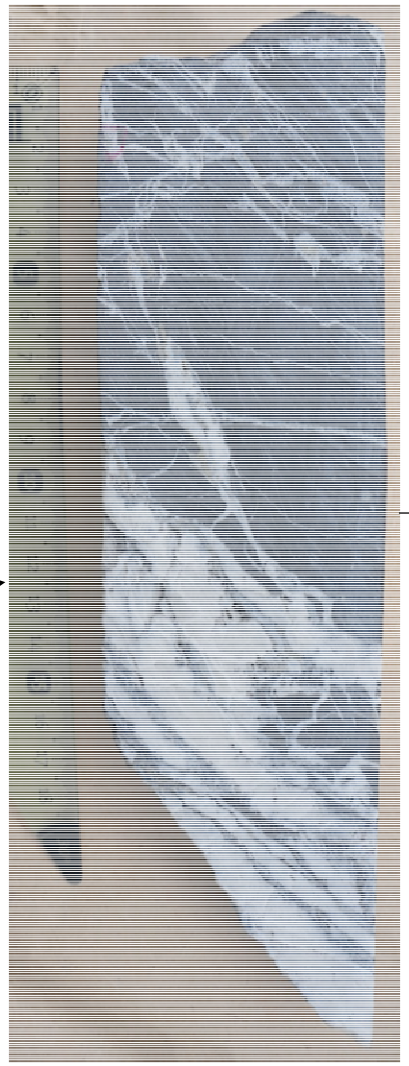


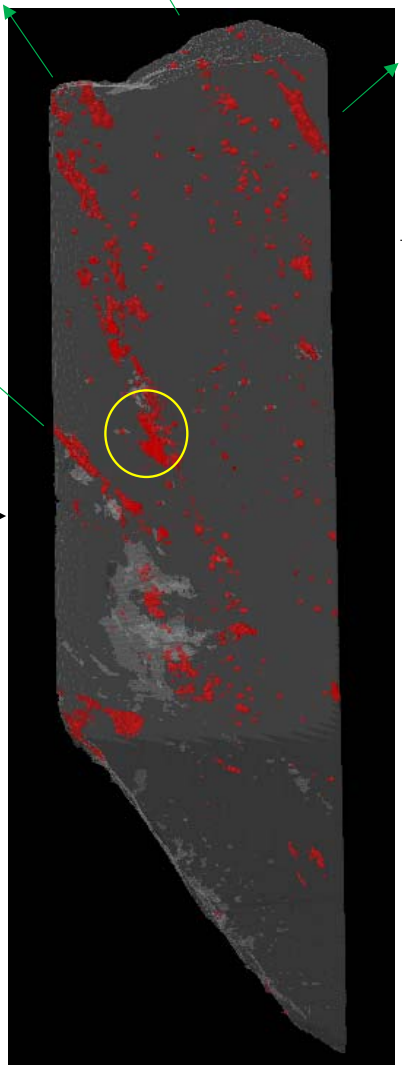
25 мм цилиндр.
Гранит (by Mark Rivers)

GEOEurasia 2020

Основные положения доклада 2019 года

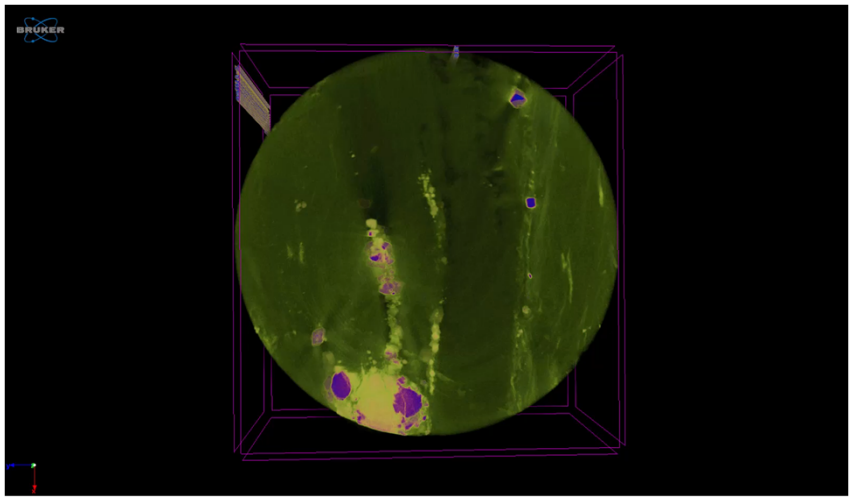




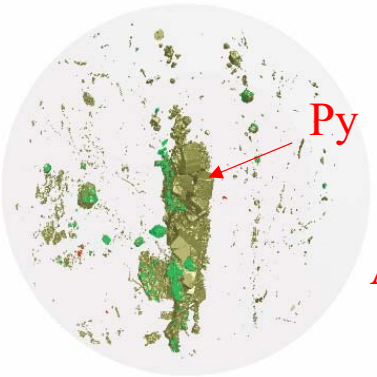


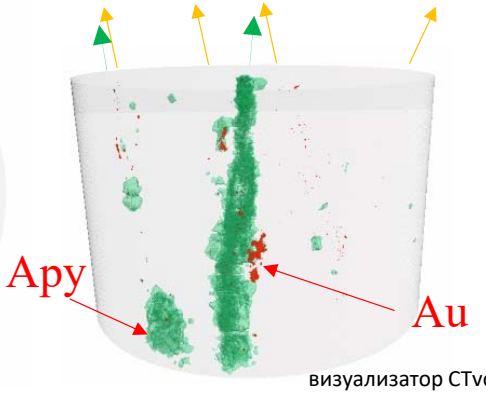
визуализатор CTvol

визуализатор DataViewer



- На томограмме полноразмерного образца установлены закономерности распределения сульфидной минерализации (выделены тренды)
- На томограмме цилиндра (диаметром 16мм) выявлены микроструктурные направления (микротренды) распределения золота (желтые линии) и арсенопирита (зеленые линии)
- Получена кристаллографическая форма выделенных минералов





визуализатор CTvol

Основы КТ. Отобранный образец

- Образец отобран из рудной зоны и представлен разноориентированными системами прожилков
- Рудная зона характеризуется крайне неравномерным распределением золота
- Видимого золота не наблюдается

Основы КТ (съемка на двух энергиях)

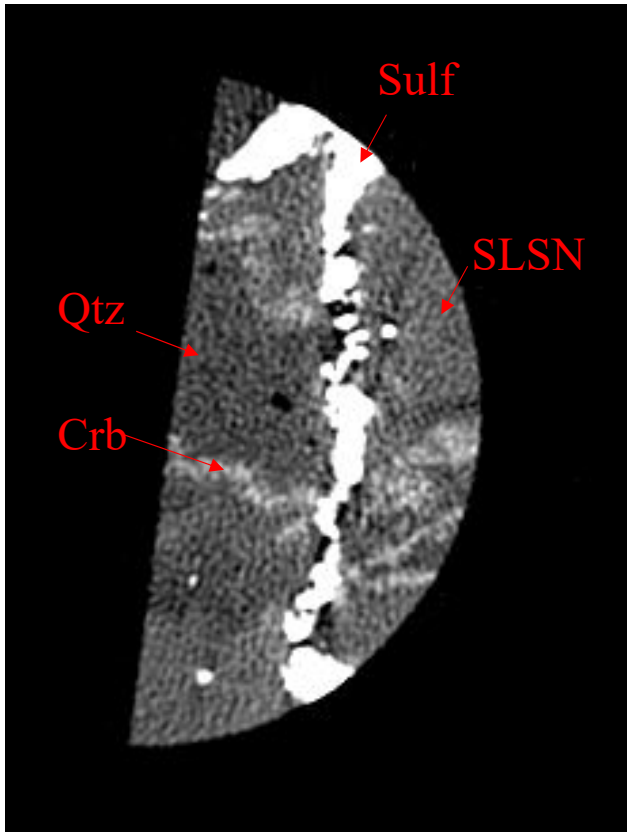
На медицинском томографе произведена съемка полноразмерного образца (диаметр керна 6 см, длина 20 см) на двух энергиях (80 и 130 кэВ). В результате получены рентгеноплотностные срезы с проявлением разных эффектов поглощения рентгеновского излучения. Вместе с образцом снимался калибр с набором образцов с известным минералогическим составом и плотностью.

Математическая обработка данных съемки КТ позволила получить достоверное распределение минералогической плотности в образце.

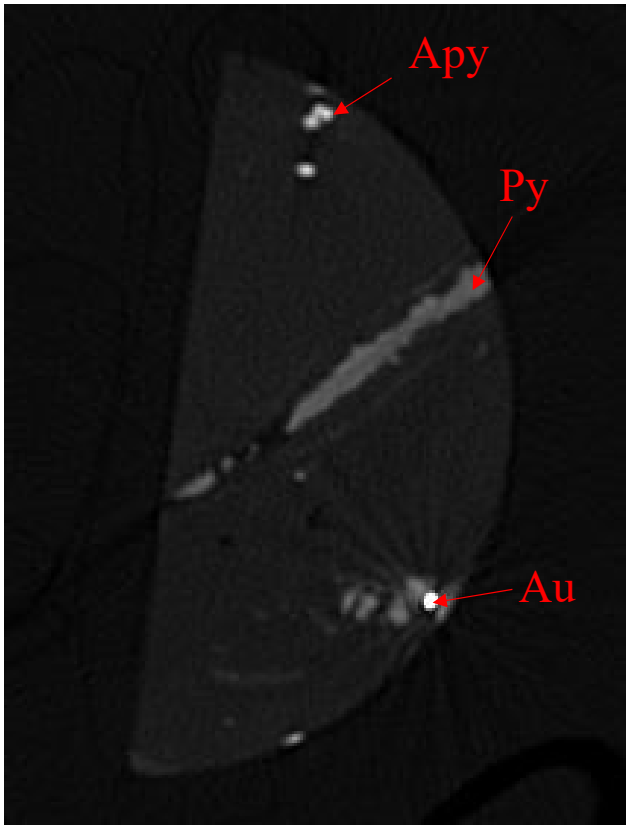
Теоретическая основа детально представлена в докладе Корост Д.В. и др. «Технологии исследования полноразмерного керна методами КТ и численного моделирования», конференция SPE, SPE-196927-RUS

Рентгеноплотностные срезы

80кэВ

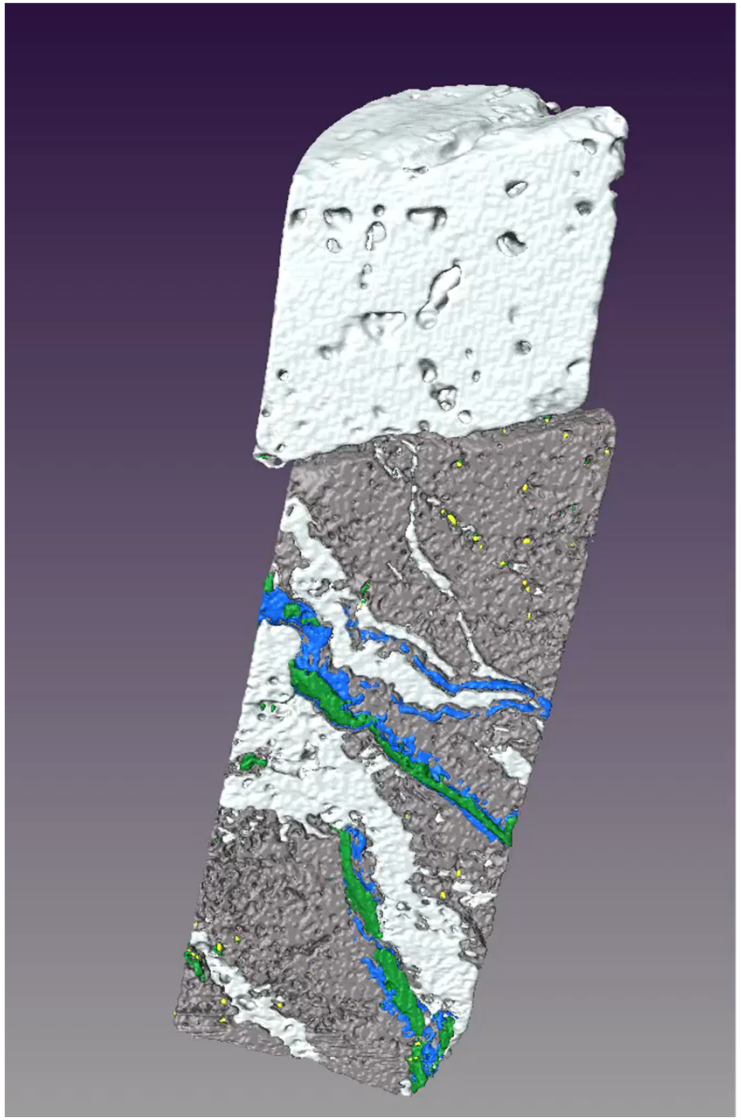


130 кэВ



Qtz - кварц, Crb - карбонаты, sulf - сульфидная минерализация, SLSN - алевропесчаник, Apy - арсенопирит, Py - пирит, Au - золото

Полученная томограмма отобранного образца



В результате, получаем детальную объёмную модель керна (томограмму). На ее основе мы можем проводить структурные, минералогические и статистические исследования, при этом не разрушая целостность керна

Условные обозначения:

- Алевропесчаники
- Кварц
- Карбонаты
- Пирит
- Арсенопирит
- Золото

Далее работа с томограммой выполнена в программном обеспечении Avizo 3D

GEO Eurasia 2020

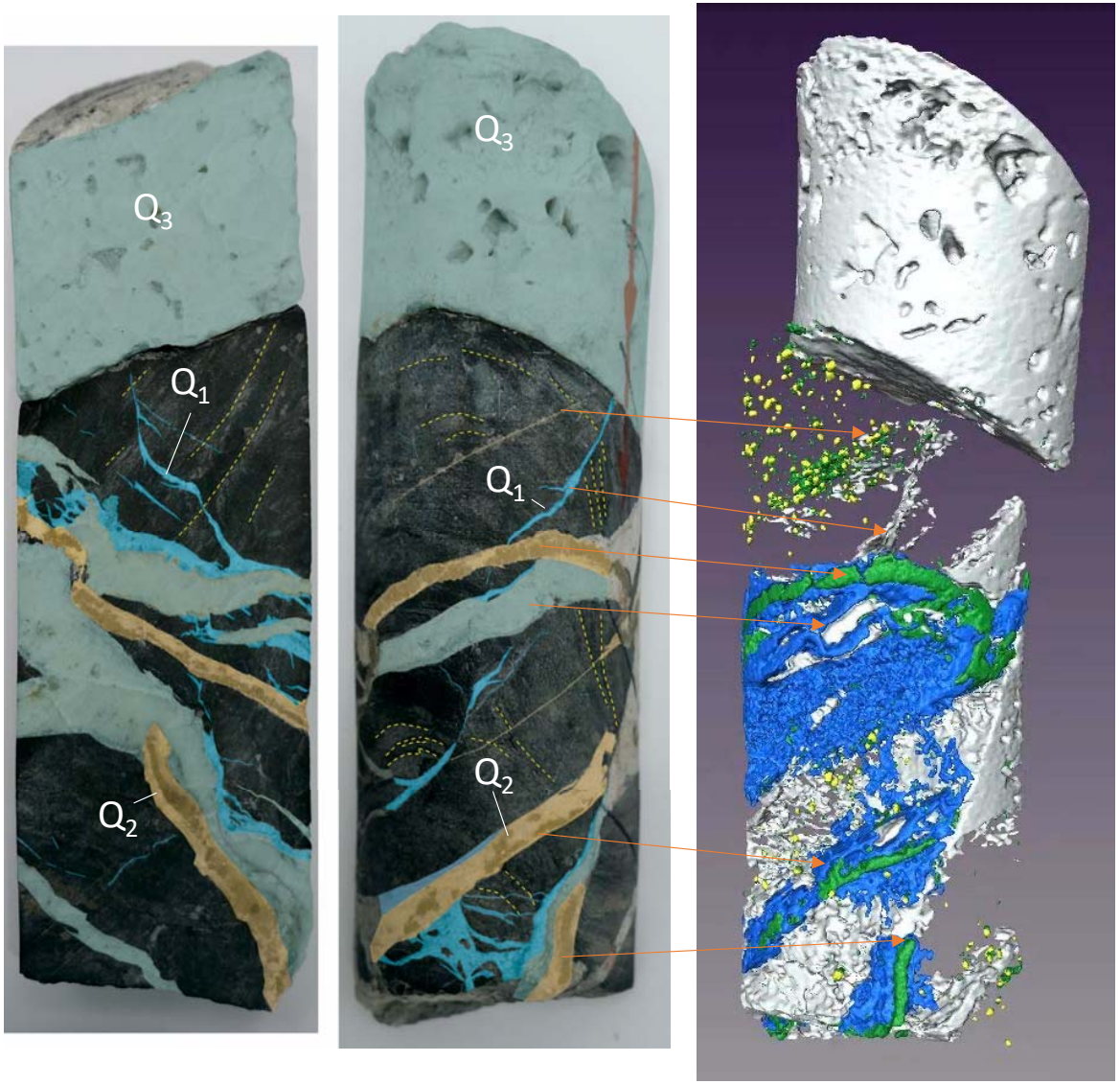
Структурно-минералогические исследования

При макроскопическом изучении керна выделено несколько генераций прожилков:

Q_1 – прожилки первой генерации кварцевого состава

Q_2 – прожилки второй генерации кварц-карбонат-пирит-арсенопиритового состава

Q_3 – прожилки третьей генерации кварцевого состава



Условные обозначения:

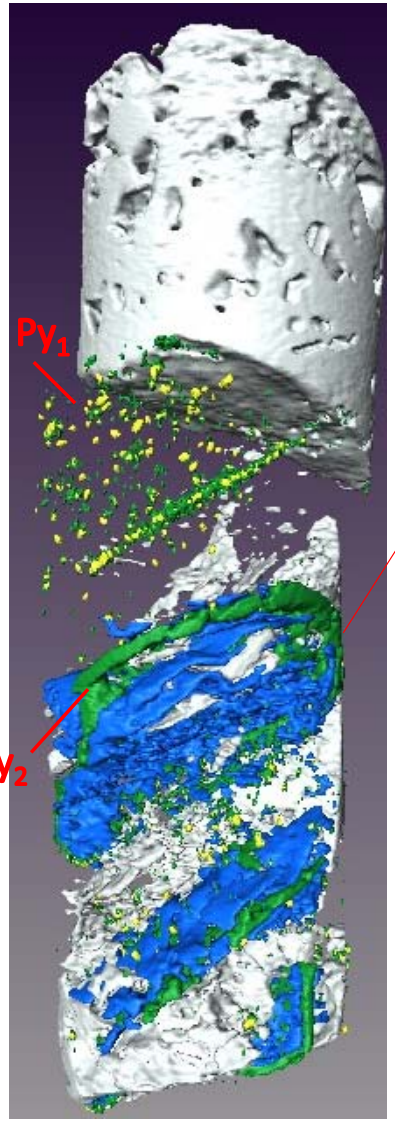
- Кварц
- Карбонаты
- Пирит
- Арсенопирит

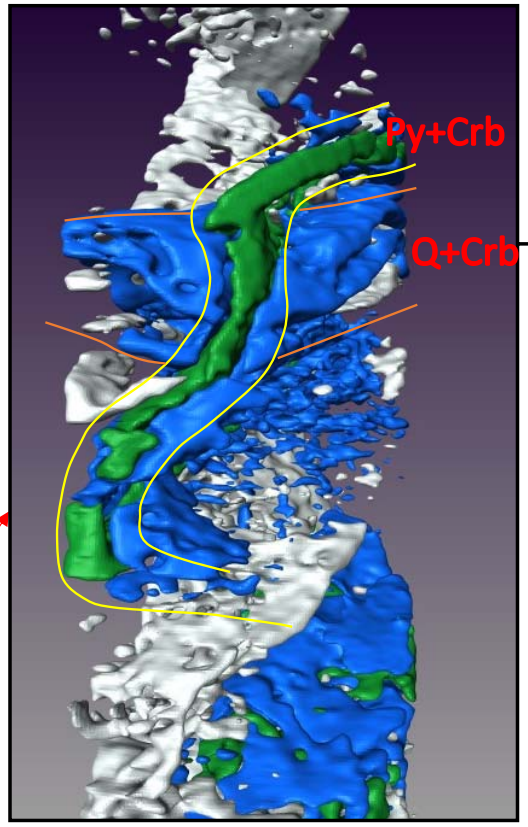
GEOEurasia 2020

Структурно-минералогические исследования

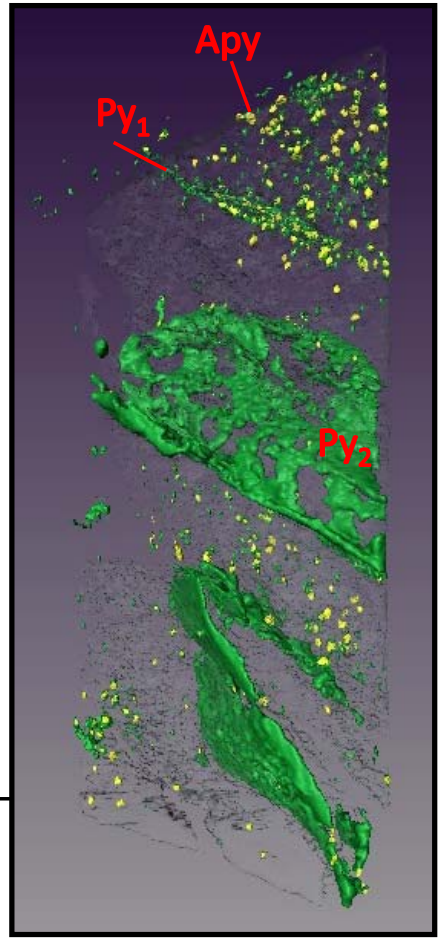
На томограмме изучаемого образца:

- Выполнена детализация состава прожилков разных генераций
- Изучены в объеме пересечения разноориентированных прожилков, что позволяет уточнить и дополнить выделенные раннее генерации
- Получено детальное распределение в объеме сульфидной минерализации (пирита и арсенопирита) и золота
- Выявлены различные генерации пирита и арсенопирита, а также установлено расположение пирита с включением золота





Участок пересечения прожилков кварц-карбонатного (Q+Crb) состава прожилками карбонат-пиритового состава (Py+Crb)

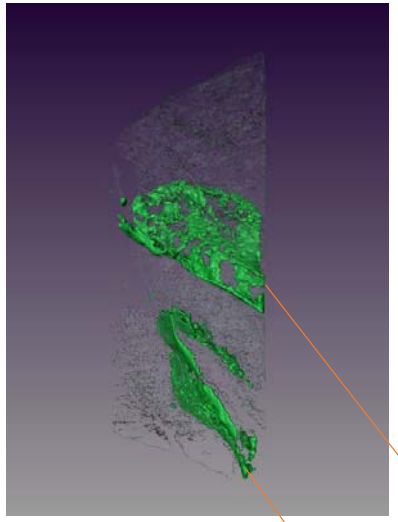


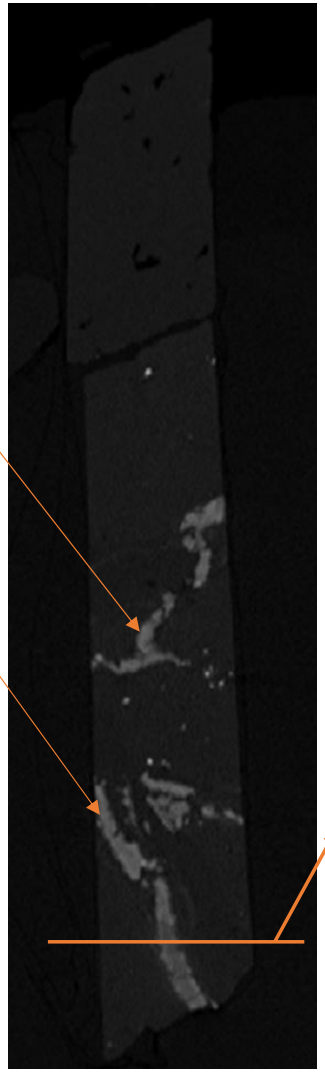
Пирит (Py_1) и арсенопирит (Apy) ранней генерации образуют неравномерные скопления в терригенно-осадочных толщах, пирит (Py_2) более поздней генерации образует прожилковидные скопления в кварц-карбонатных прожилках

Условные обозначения:

- Кварц
- Карбонаты
- Пирит
- Арсенопирит

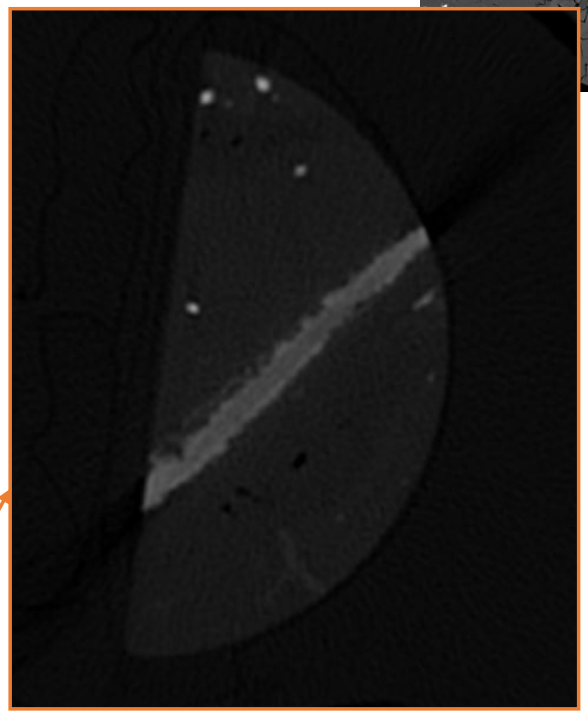
Структурно-минералогические исследования



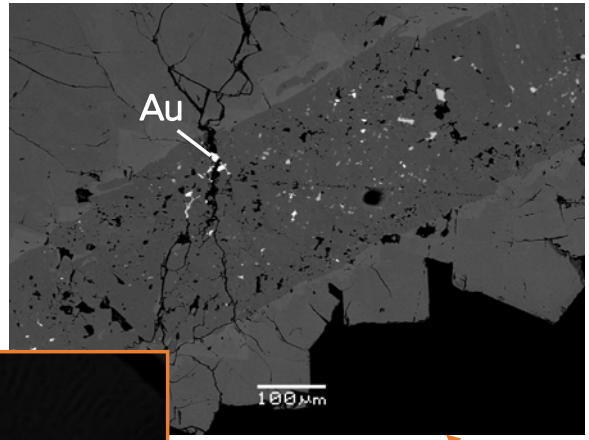


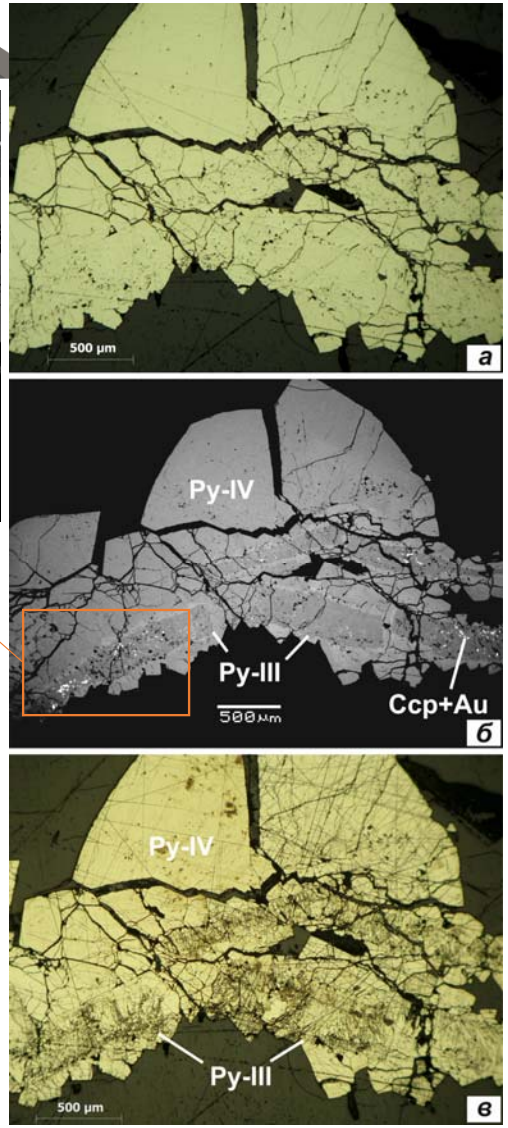
визуализатор CTvol

Установлено расположение пирита с включением золота



Рентгеноплотностной срез

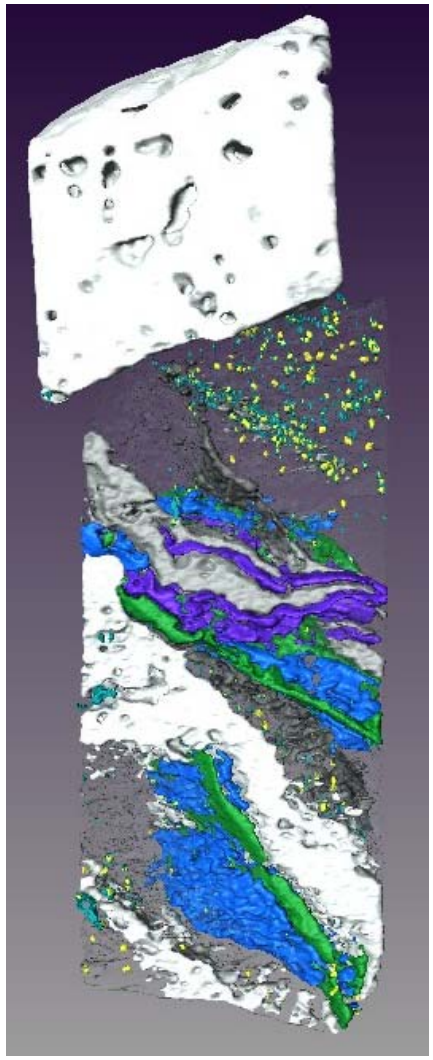




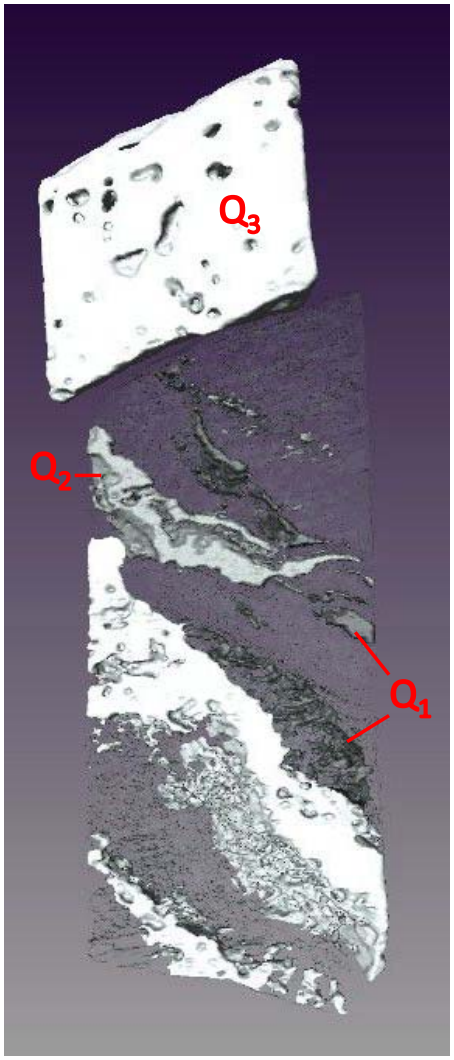
Скопление зерен пирита-III и пирита-IV: а – фото под микроскопом, б – фото в отраженных электронах, в – фото под микроскопом после структурного травления: Py-III – пирит-III, Py-IV – пирит-IV, Au – золото, Ccp – халькопирит

Чикатуева В.Ю. Минералогия золоторудного месторождения Дражное, республика Саха (Якутия)// Геология и разведка, 2019. № 5. С. 58 – 63

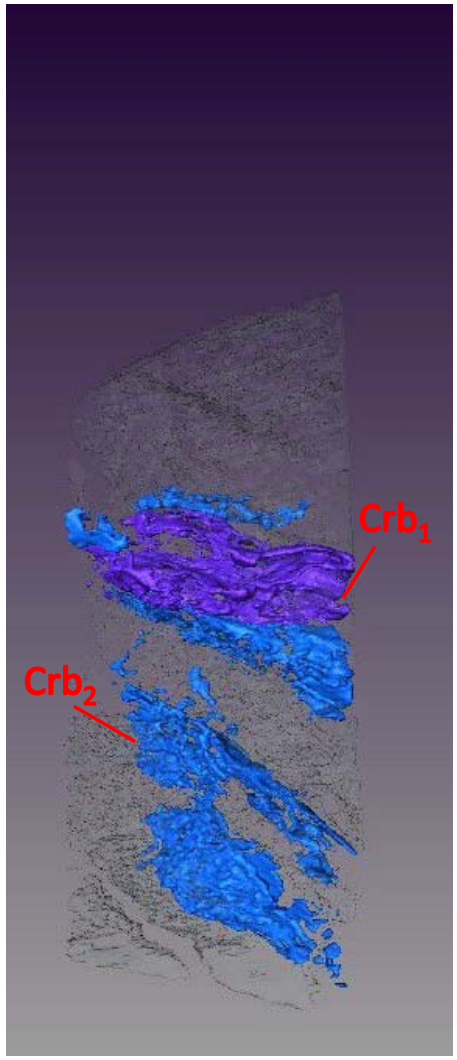
Структурно-минералогические исследования



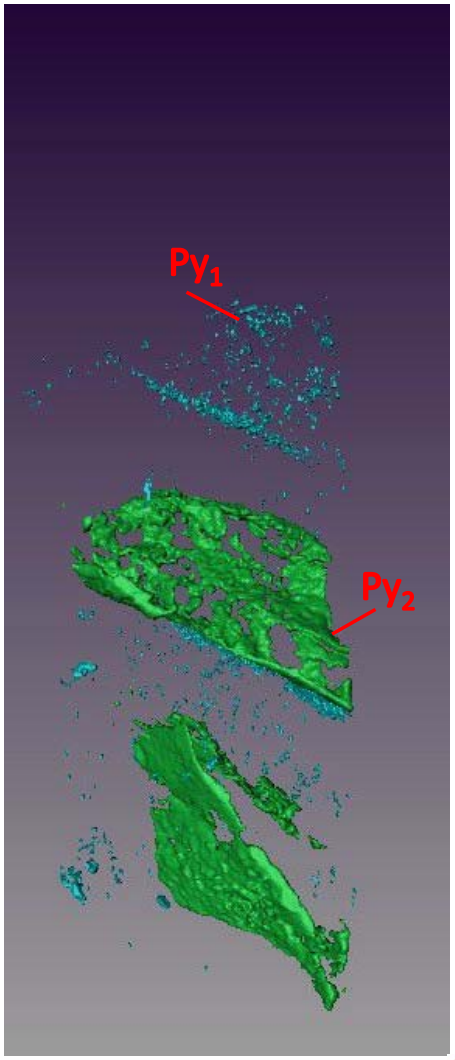
Общая модель образца (алевропесчаники убраны)



Три генерации кварца (Q)



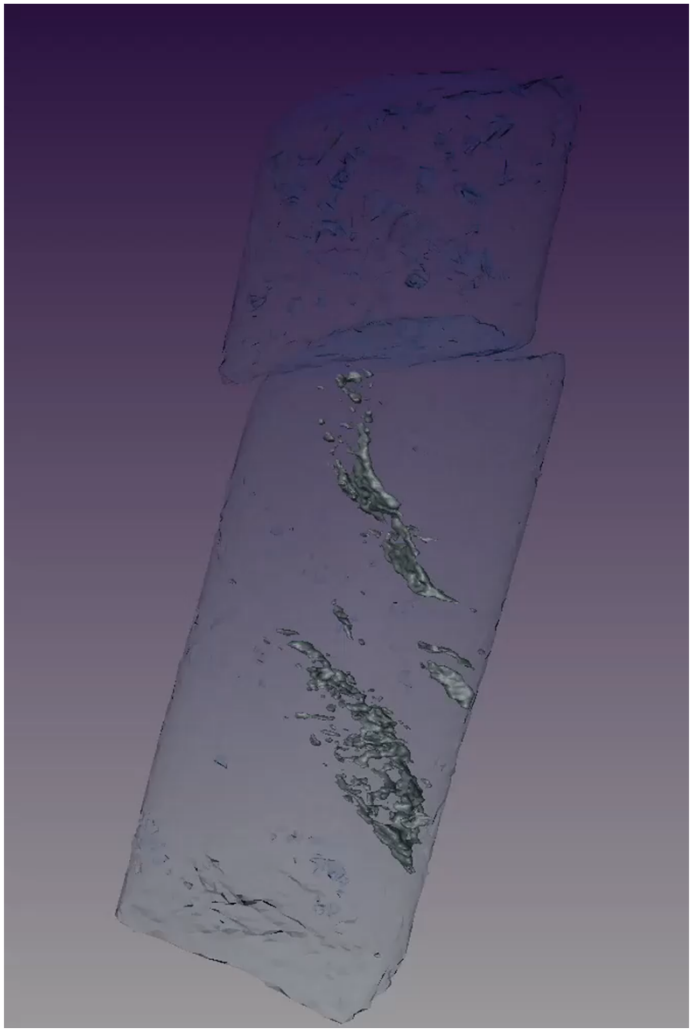
Две генерации карбонатов (Crb)

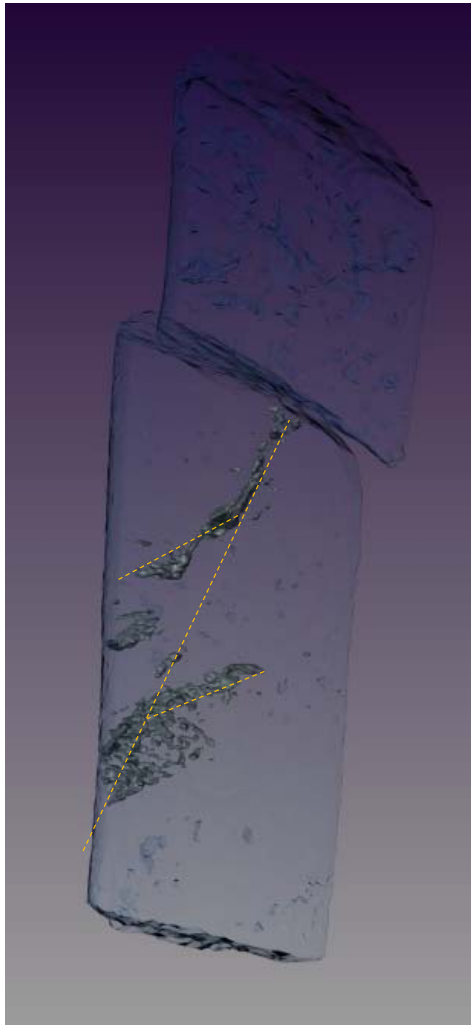


Две генерации пирита (Py)

GEO Eurasia 2020

1 этап (дорудный). Стадия 1



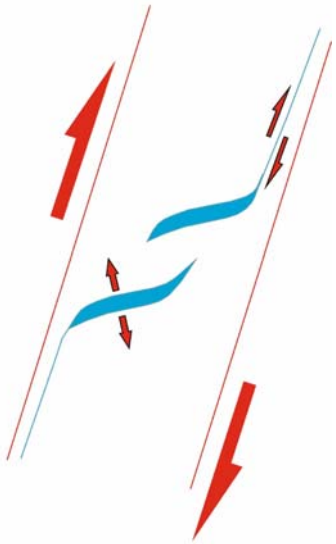


Ранняя стадия первого этапа

Формируются прожилки кварцевого состава (показаны синим цветом), заполняющие сколы и трещины отрыва.

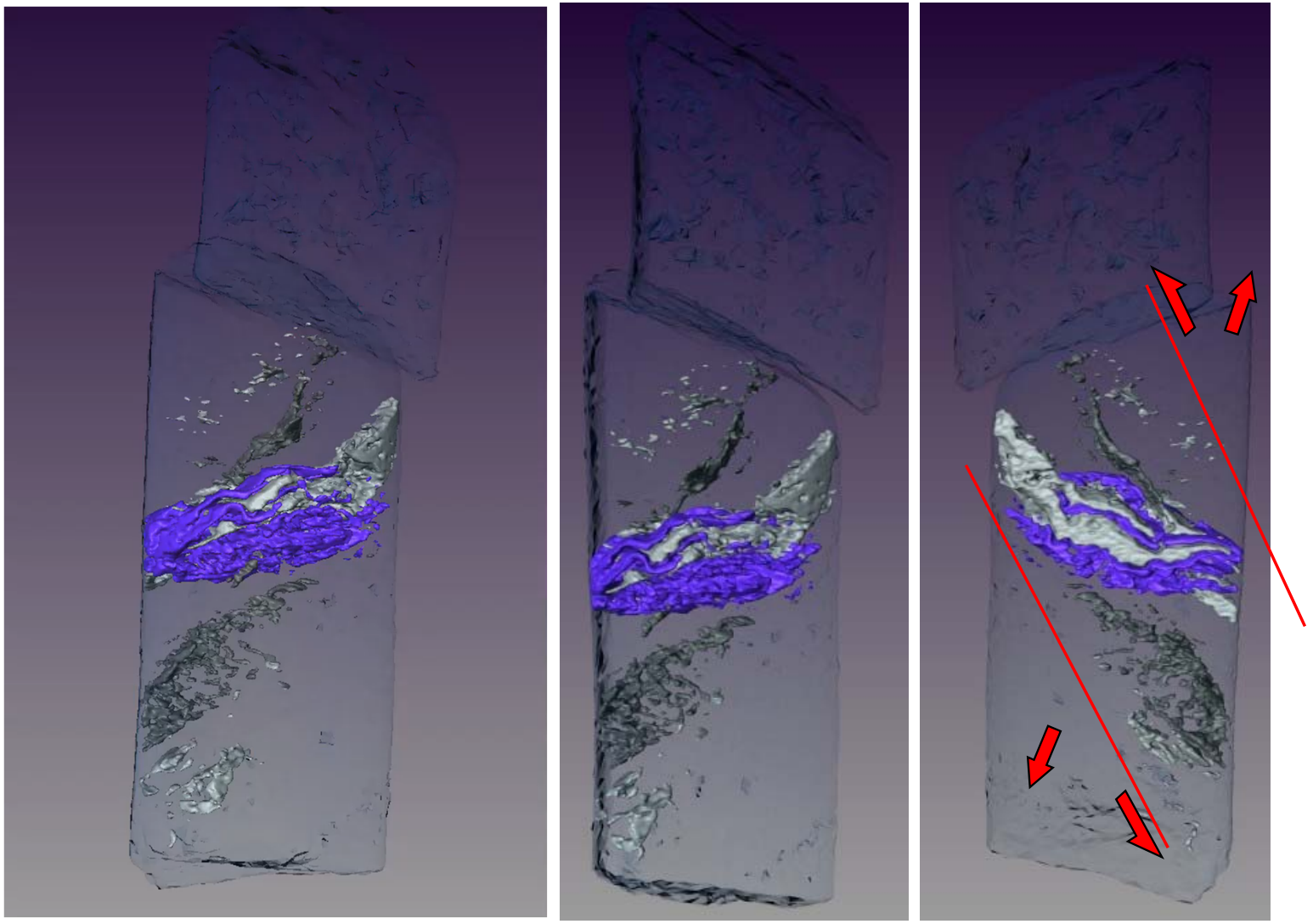
Выделяются пологие и крутопадающие трещины.

ПРЕДПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ РАННИХ ПРОЖИЛКОВ



GEOEurasia 2020

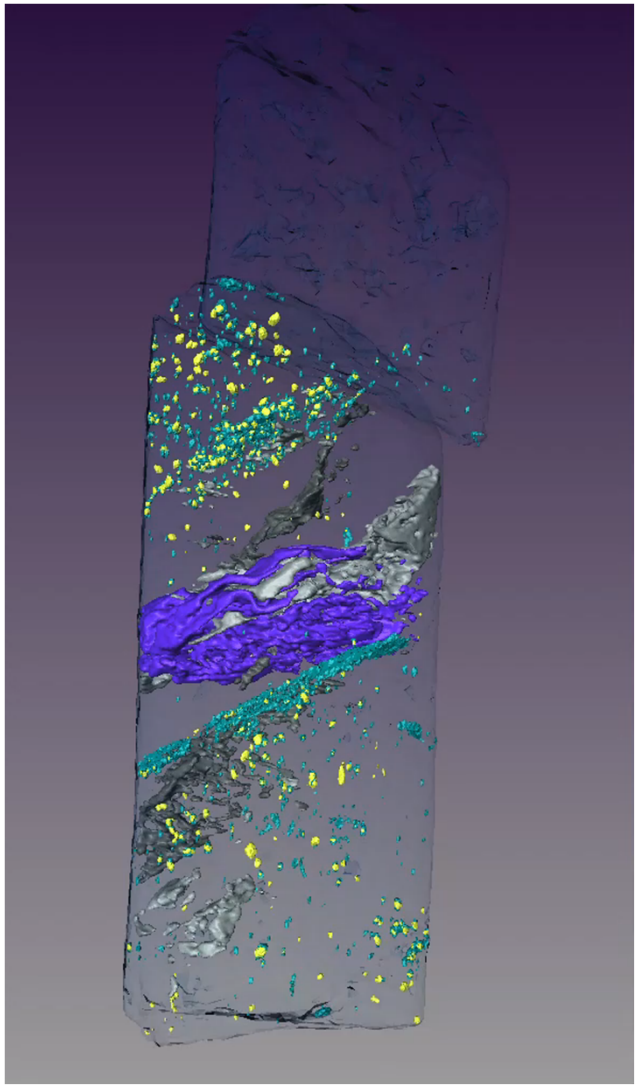
1 этап (дорудный). Стадия 2

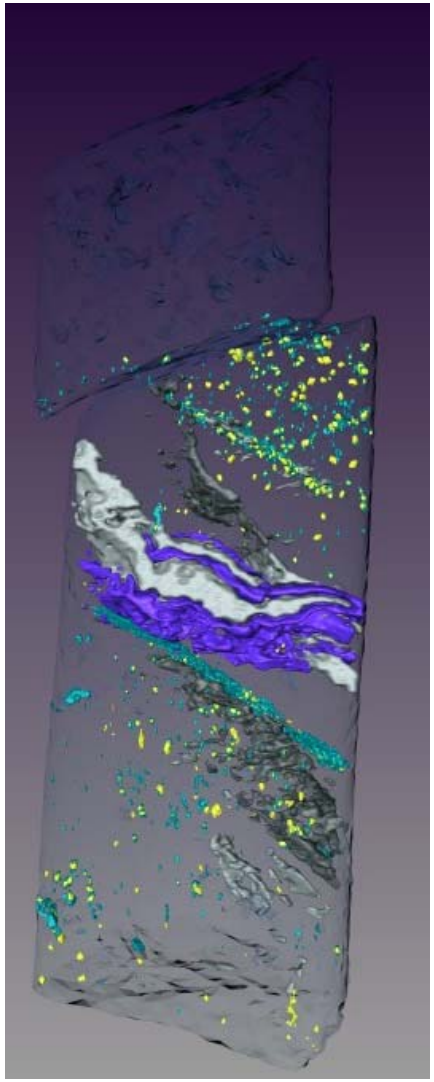


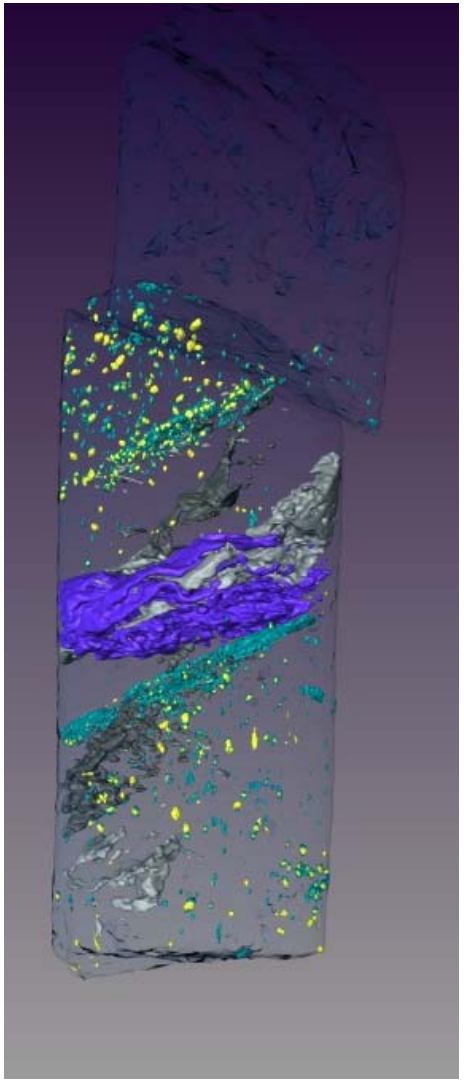
Поздняя стадия первого этапа

- На втором этапе продолжается формирование трещин и сколов в условиях надвига, при этом в наиболее «ослабленных зонах» образуются более значимые трещины отрыва, которые заполняются кварц-карбонатным материалом.
- Формирующиеся прожилки наследуют уже существующую инфраструктуру более ранних трещин скола и отрыва

2 этап (рудный). Стадия 1

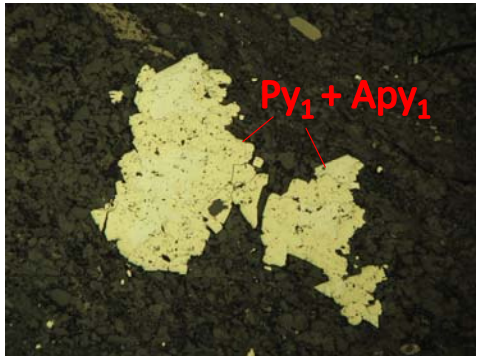






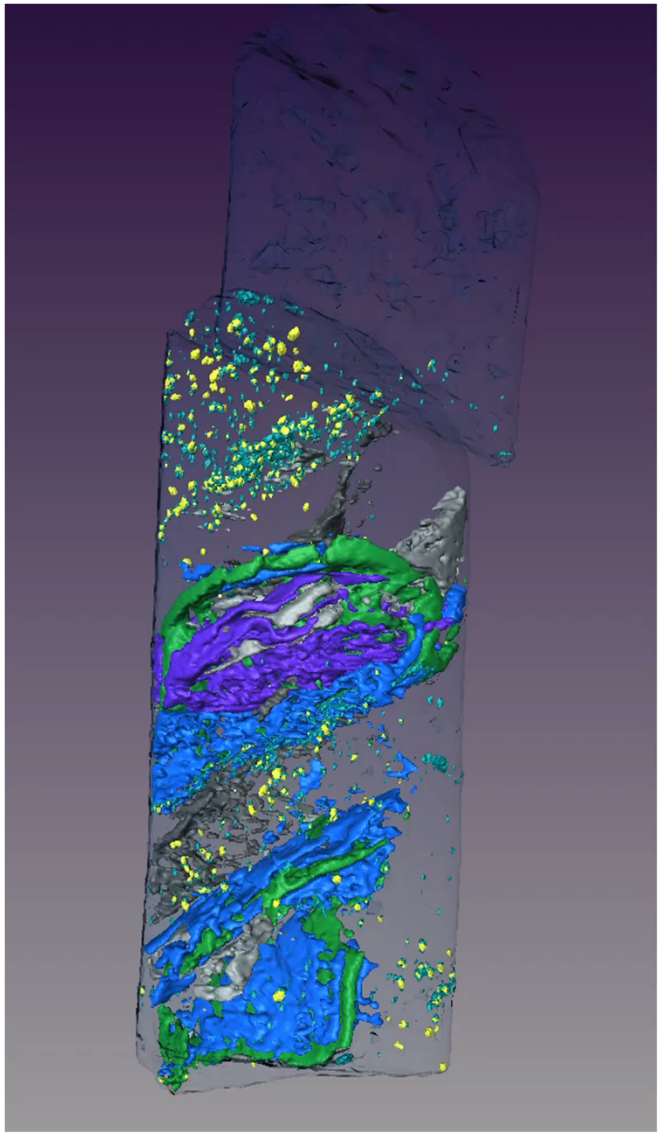
Рудный этап знаменуется образованием ранних минералов пирита и арсенопирита, формирующихся, вероятно, в результате метасоматических процессов.

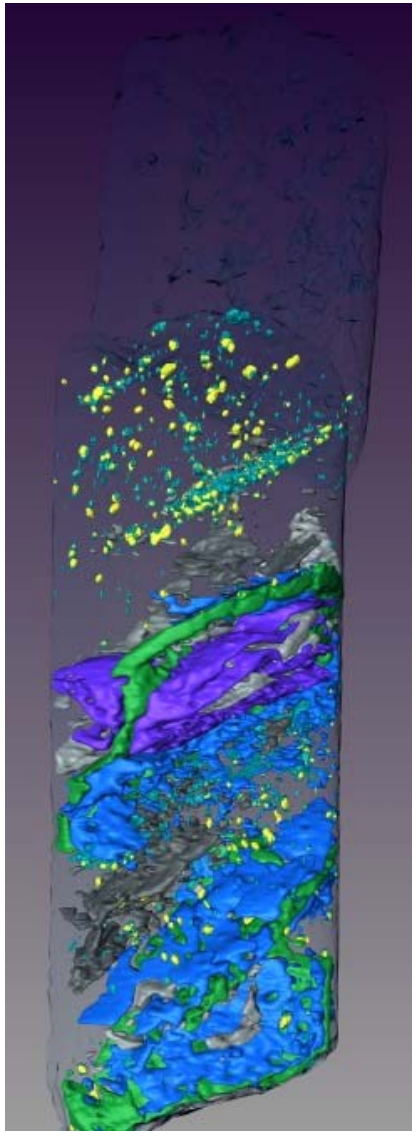
Минералы тяготеют к наиболее ослабленным зонам во вмещающих породах (кливаж, межслоевое пространство), а также заполняют инфраструктуру микротрещин (микроструктурные ловушки)

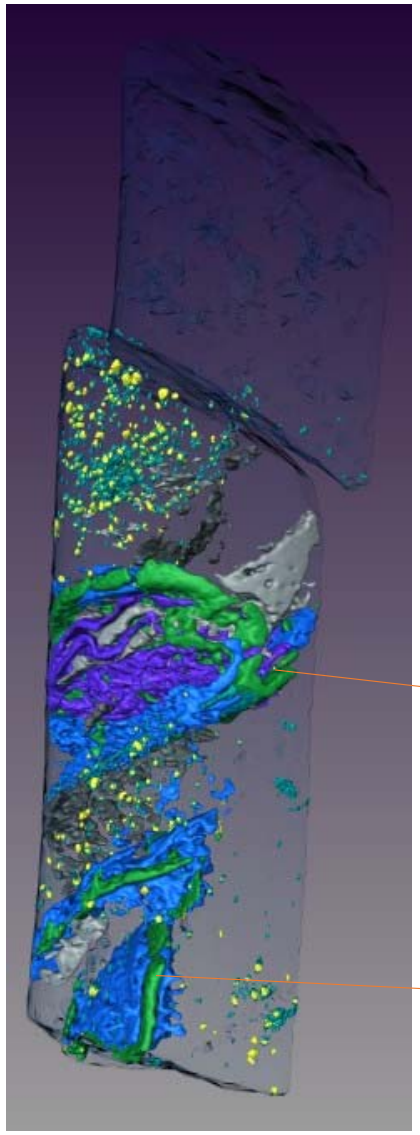


GEOEurasia 2020

2 этап (рудный). Стадия 2

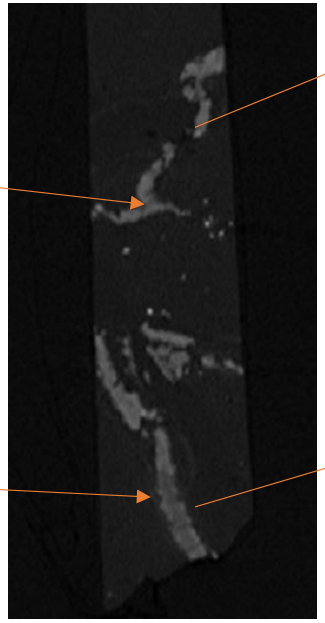






Несколько позднее, на второй стадии рудного этапа, формируются секущие кварц-карбонат-пиритовые прожилки и золото.

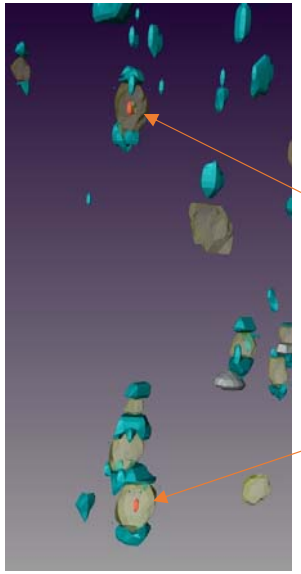
Пирит, локализованный в прожилках, содержит включения золота. Прослеживается отчетливая приуроченность пирита с включениями золота к зонам скопления ранних минералов пирита и арсенопирита (зоны интенсивного метасоматического процесса?)

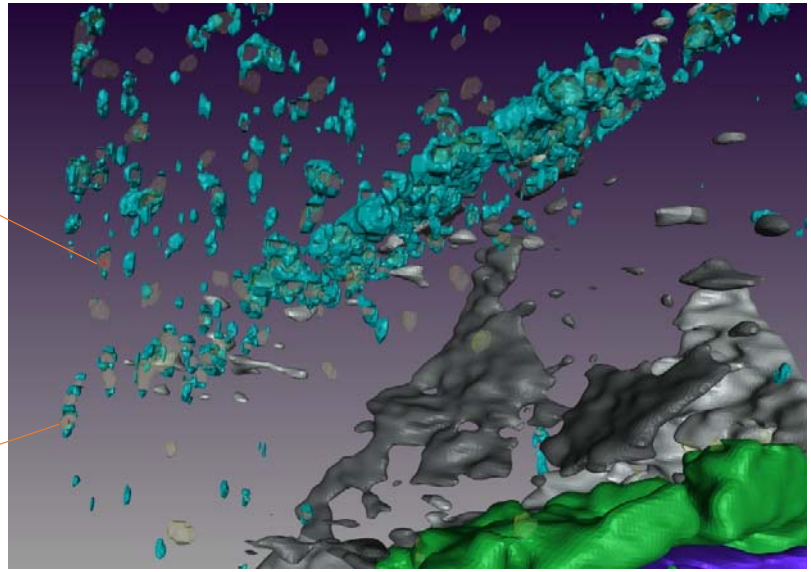


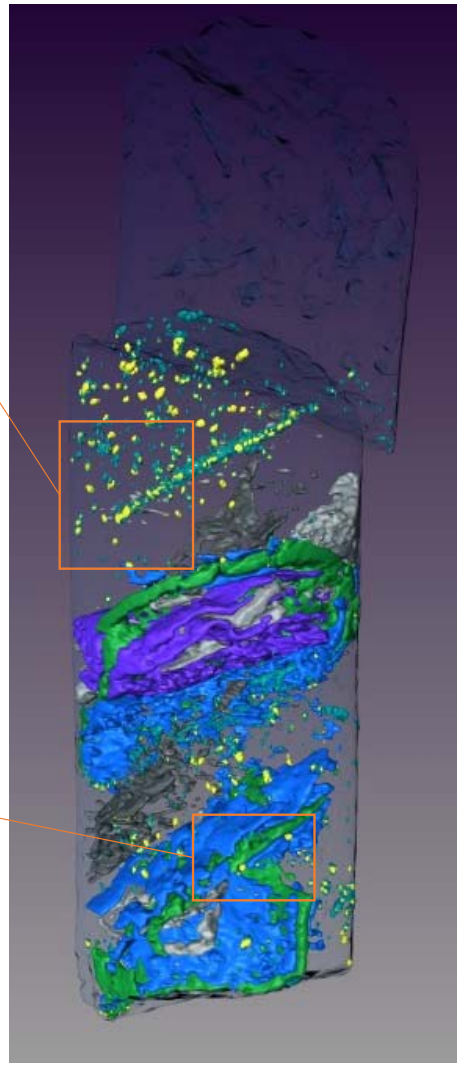
GEOEurasia 2020

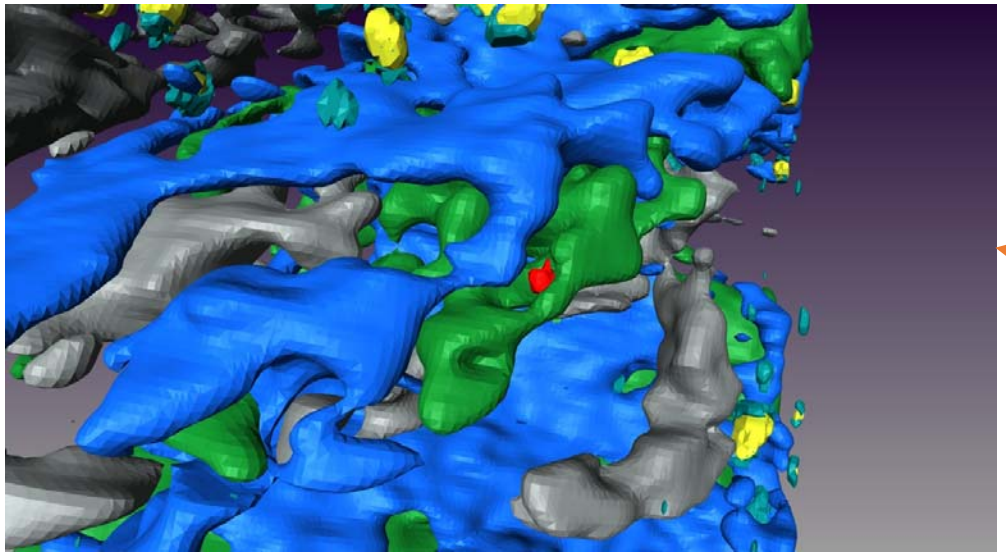
2 этап (рудный). Стадия 2

Самостоятельные выделения золота тяготеют к зонам скопления зерен ранних пирита и арсенопирита, а также локализованы в прожилках кварц-карбонат-пиритового состава





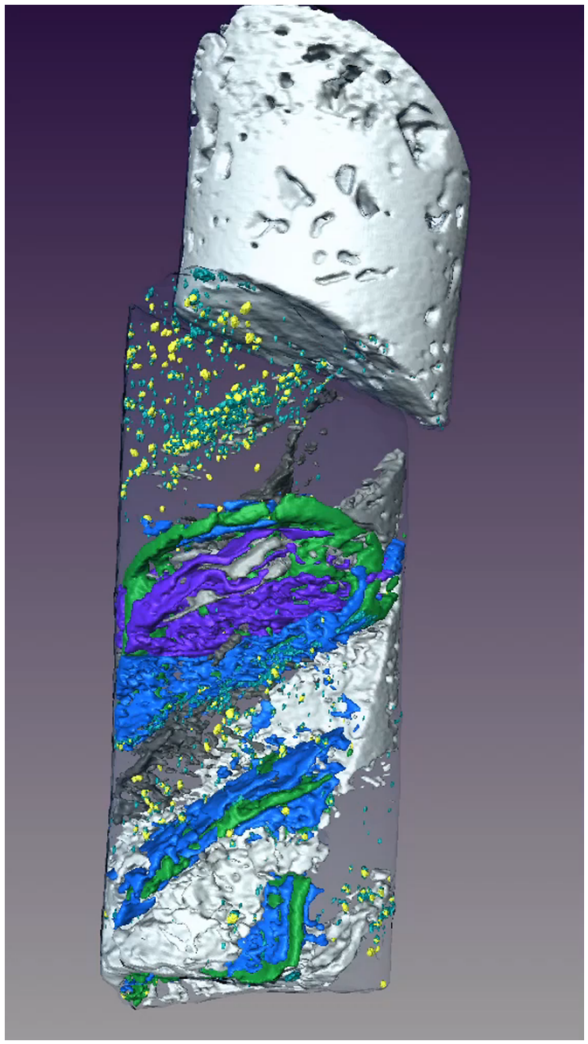


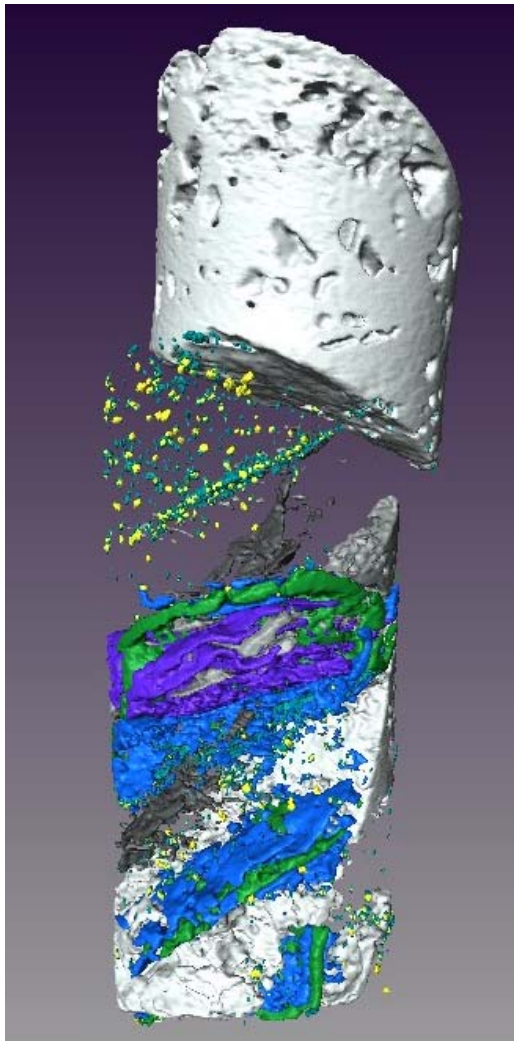


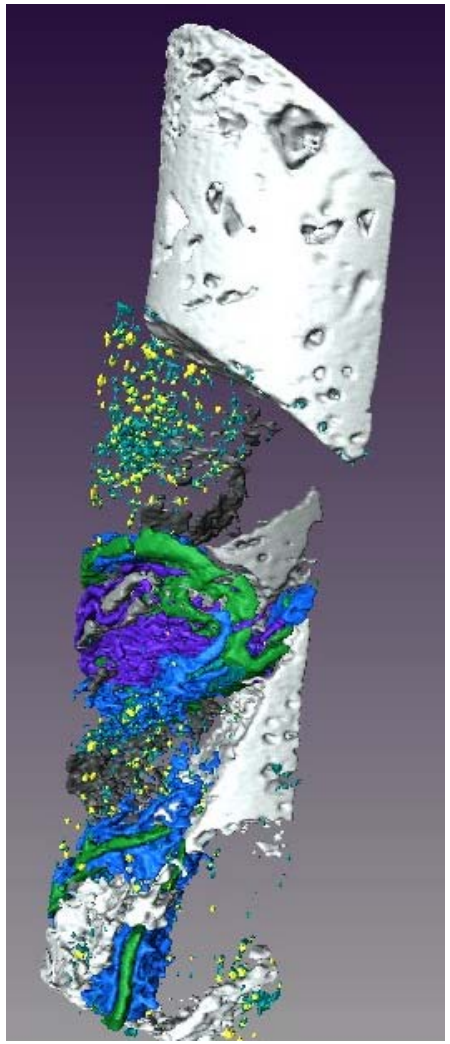
Условные обозначения:

- Пирит 1
- Пирит 2
- Арсенопирит
- Золото

2 этап (рудный). Стадия 3



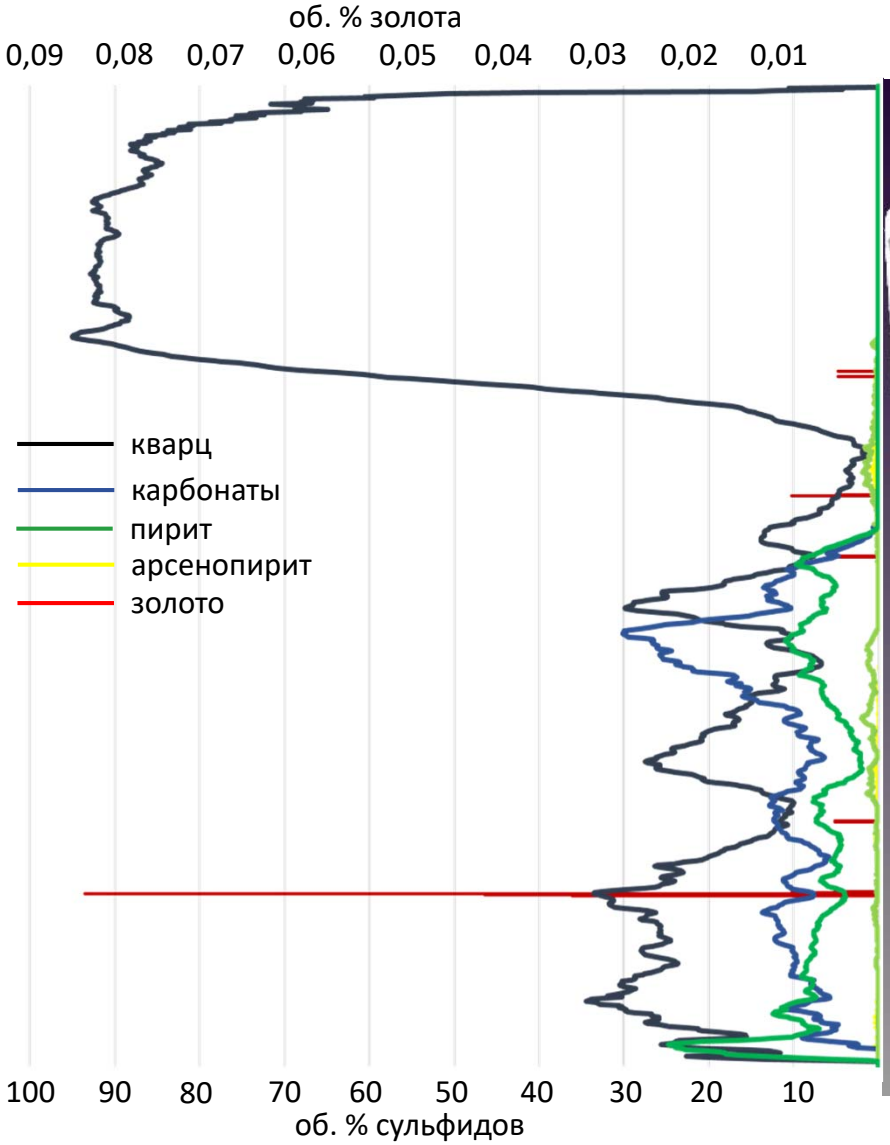


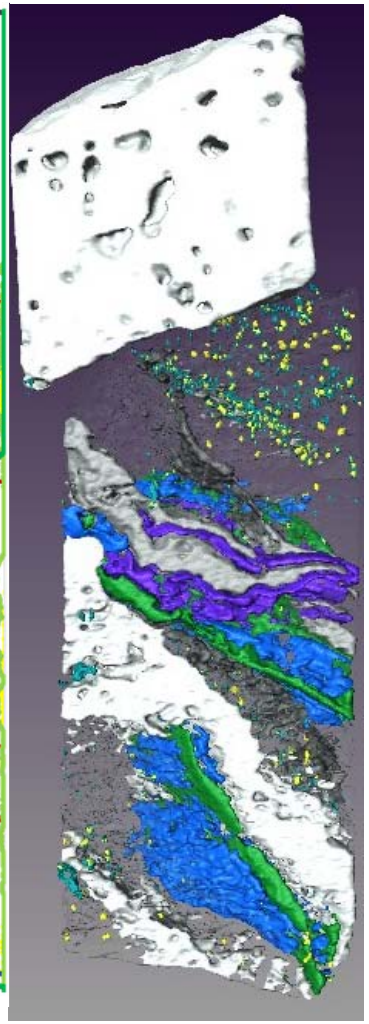


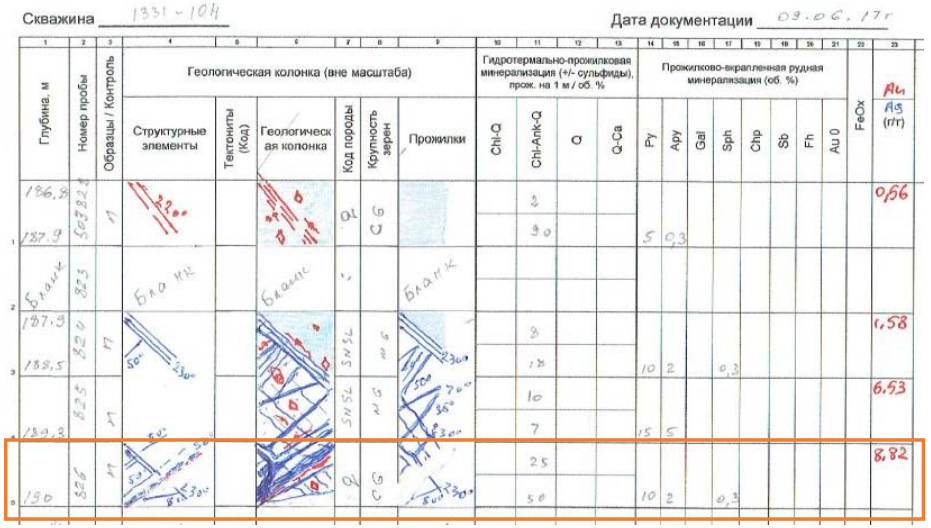
На третьей стадии рудного этапа формировались прожилки заполненные массивным кварцем (с золотом?). Прожилки либо наследуют ранее сформированные структуры либо пересекают их.

GEOEurasia 2020

Статистические данные







Фрагмент бланка геологической документации керна ИГТ

Рентгеновская микротомография керна позволяет проводить статистический анализ, что способствует:

- Детализации процентного взаимоотношения минералов;
- Установлению наличия или отсутствия взаимосвязи в пространственном распределении различных минералов и жильно-прожилковых зон различных генераций.

GEOEurasia 2020

Выводы

Возможности метода рентгеновской микротомографии в рудной геологии:

- Детальная трехмерная геолого-структурная информация;
- Высокая производительность съемки (1 метр керна в среднем за 10 минут);
- Возможность изучения взаимоотношения структурной, минералогической, геохимической и литологической моделей в объеме;
- Статистический анализ ;
- Получение пространственной информации о залегании самых золотоносных прожилков, которая напрямую может повлиять на выбор сети бурения.

Дальнейшее развитие методики:

- Осуществление увязки всех выделенных элементов сначала в декартовой системе координат (система координат программных обеспечений для работы с томограммами) с последующим пересчетом в географическую систему координат;
- Адаптация и внедрение всех полученных данных в программные продукты моделирования и подсчета запасов.

Спасибо за внимание!