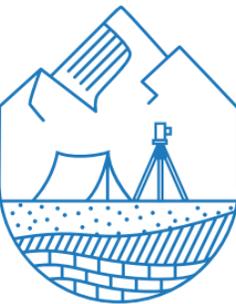


НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ПОИСКОВОЙ ГЕОЛОГИИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ И ДИАГНОСТИКА ГЛИНИСТО-СЛЮДИСТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ (ИКС) НА РАННИХ СТАДИЯХ ГРР

Саранчин А.В., Еременко Е.Г., Жунев Н.В., Несмеянова А.И. (ФГБУ «ВИМС»)

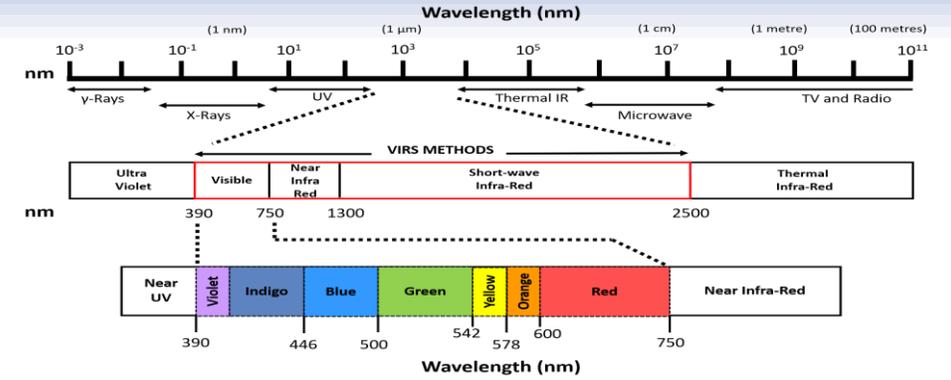


МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЙ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

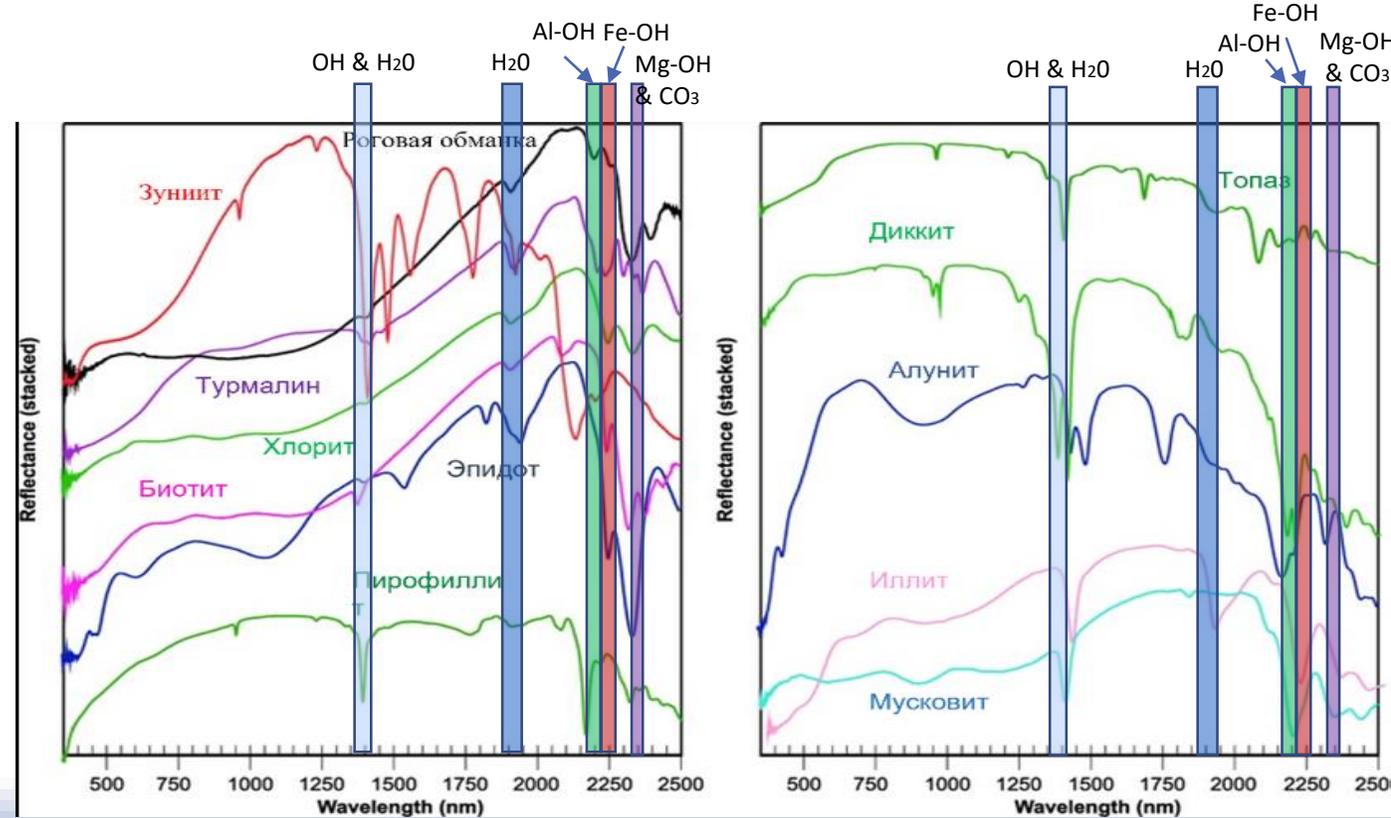
Спектральная геология основана на сборе спектральных полос отраженного или испускаемого электромагнитного излучения (ЭМИ).

Рабочие диапазоны ЭМИ:

- VIS - видимый (390- 750 нм)
- NIR - ближний инфракрасный (750 – 1300 нм)
- SWIR - коротковолновой инфракрасный (1300-2500 нм)
- TIR – тепловой инфракрасный (>2500 нм)



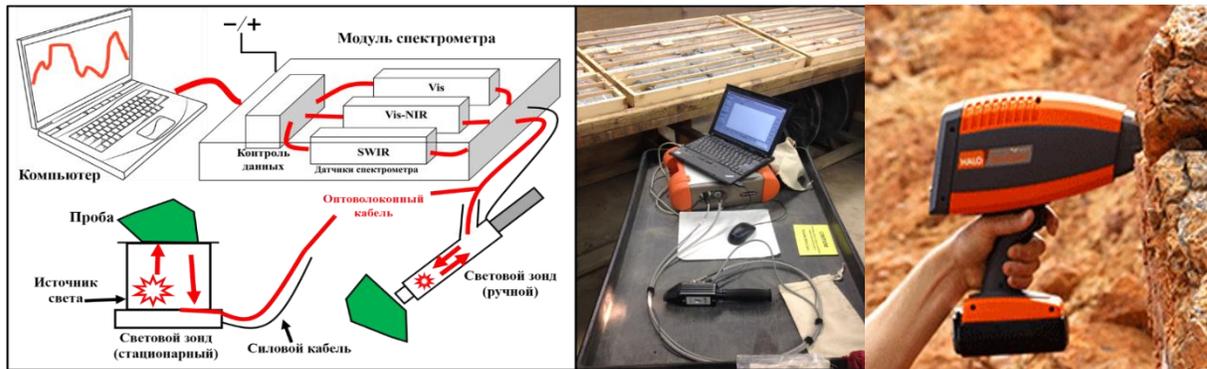
Группа Vis-NIR	Группа SWIR
Минералы группы оксида железа: гематит, гетит, ярозит, массивный магнетит	Минералы группы Al(OH): парагонит, мусковит, фенгит, иллит, пиррофиллит, каолинит, галлуазит, диксит, разновидности смектита, гиббсит, диаспор, пренит, палыгорскит
	Минералы сульфатной группы: Na и K алуниты, ярозит, гипс, эпсомит, госларит
	Минералы группы Si(OH): опаловый кремнезем и гидротермальный кварц с флюидными включениями
Минералы, содержащие редкоземельные элементы (монацит-неодим)	Аммоний содержащие минералы: NH-алунит, буддингтонит, На-иллит
	Минералы группы Fe (OH): сапонит, нонтронит
	Минералы группы Mg(OH): хлориты (Mg / Fe), биотит, флогопит, антигорит, тремолит, актинолит, тальк, роговая обманка, брусит
	Минералы карбонатной группы: кальцит, доломит, железистый доломит, магнезит, анкерит, сидерит, малахит, прочие карбонаты меди
	OH-содержащие силикаты: эпидот, клиноцоизит, цоизит, турмалин, топаз
	Минералы группы цеолитов: лаumontит, натролит, шабазит
	Отдельные массивные сульфиды: сфалерит
	Другие: кероген, битум



ИНСТРУМЕНТЫ ОПЕРАТИВНОЙ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Портативные спектрометры для точечных замеров спектра

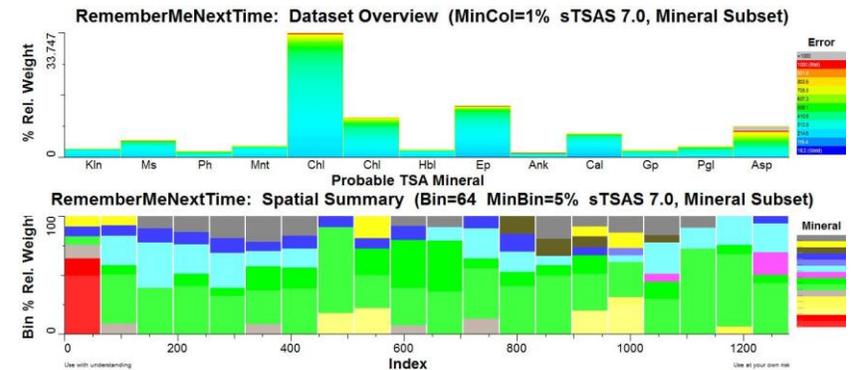
Данные спектрометры осуществляют замеры спектров диффузного отражения в диапазоне от 320 - 2500 нм (Vis-NIR-SWIR) и проводят качественный анализ по присутствию минерального вида. Анализ носит точечный характер замера – диаметр окна светового зонда с датчиками составляет 0.5 дюйма (1.27 см). Количество замеров и методические подходы могут быть максимально разнообразными и гибкими в разработке, так как замер является точечным. За время измерения (1 секунду) прибор проводит от 50 до 100 замеров спектров для сравнения, в конце замера показывая итоговый спектр диффузного отражения, при этом спектральное разрешение составляет 3-6 нм до 1000 (Vis-NIR) и 6 нм в диапазоне 1000-2500 нм (NIR-SWIR).



ПО - идентификация минеральных видов

Обработка получаемых данных прибором осуществляется с помощью ПО **TSG**. Автоматизированный алгоритм идентификации минералов основывается на параметрах более 550 эталонных спектров диффузного отражения, характеризующих более 130 различных генетически важных минералов, собранных в единую библиотеку. Измеренный спектр сравнивается со спектрами библиотеки известных минералов для поиска качественного совпадения. При наилучшем соответствии спектр вычитается из неизвестного измеренного спектра. Оставшаяся часть неизвестного спектра проходит повторный процесс обработки. Повтор обработки проводится до получения двух минеральных совпадений в диапазоне 350 – 1000 нм (Vis-NIR) и пяти совпадений в диапазоне 1000-2500 нм (SWIR).

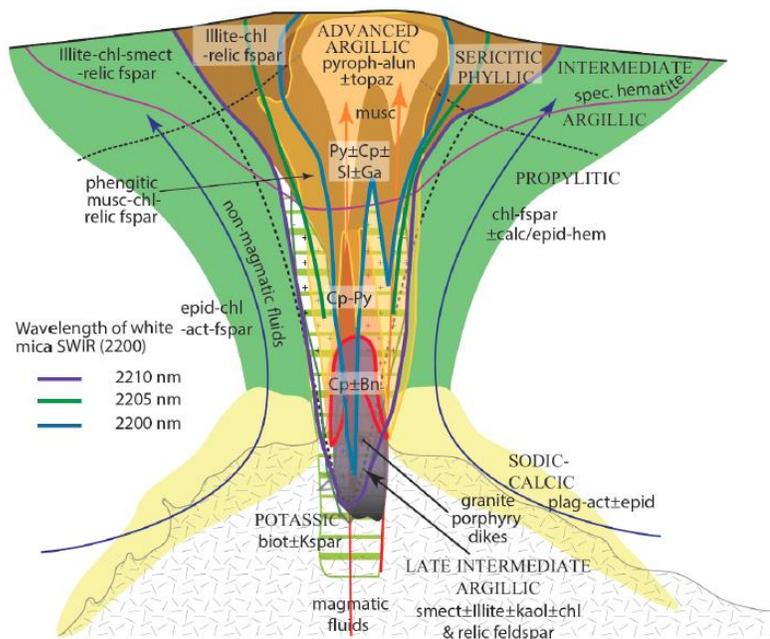
В итоговом варианте обработка предоставляет до 5 минеральных видов, диагностированных в точке замера, с данными по процентному соотношению обнаруженных в спектре минеральных видов



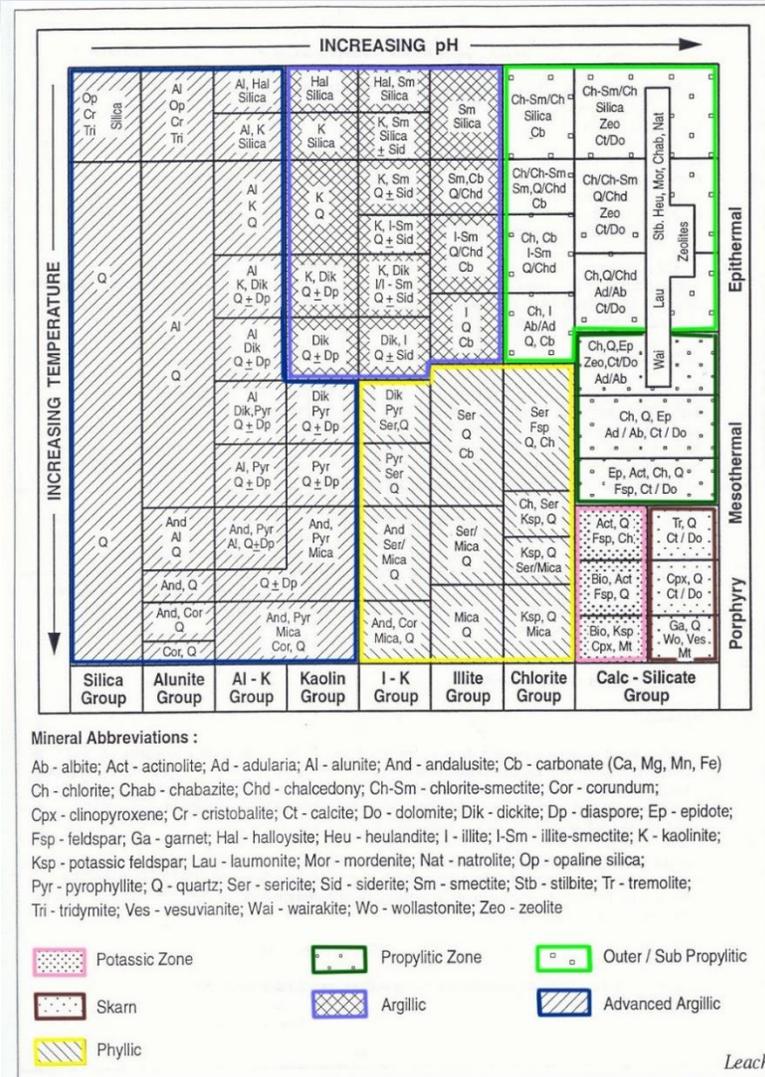
МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ОПЕРАТИВНОЙ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Минералого-геохимические методы поисков медно-порфировых месторождений на ранних этапах ГРП основаны на двух основных факторах:

- крайне высокой степени изученности
 - выдержанности геохимической и рудно-метасоматической зональности
- Согласно большинству моделей, первичные и вторичные ореолы медно-порфировых месторождений обогащены **Cu±Mo±Au** и имеют протяженность и ширину первые сотни метров - первые километры.
- Для их оторочки характерно накопление **Ag-Zn-Pb-Au-Cu-As-Sb** ассоциации, соответствующее эпitherмальной минерализации, локализующейся, как правило, в пропилитах и скарнах.



Минералого-геохимическая модель строения Находкинской порфирово-эпitherмальной системы (Баймская рудная зона) [Сидорина Ю.Н., 2015]



Типичные минеральные парагенезисы в рудно-гидротермальных системах [Corbett and Leach, 1998]

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИКС НА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОРФИРОВЫХ ОБЪЕКТАХ ПОИСКОВОЙ СТАДИИ

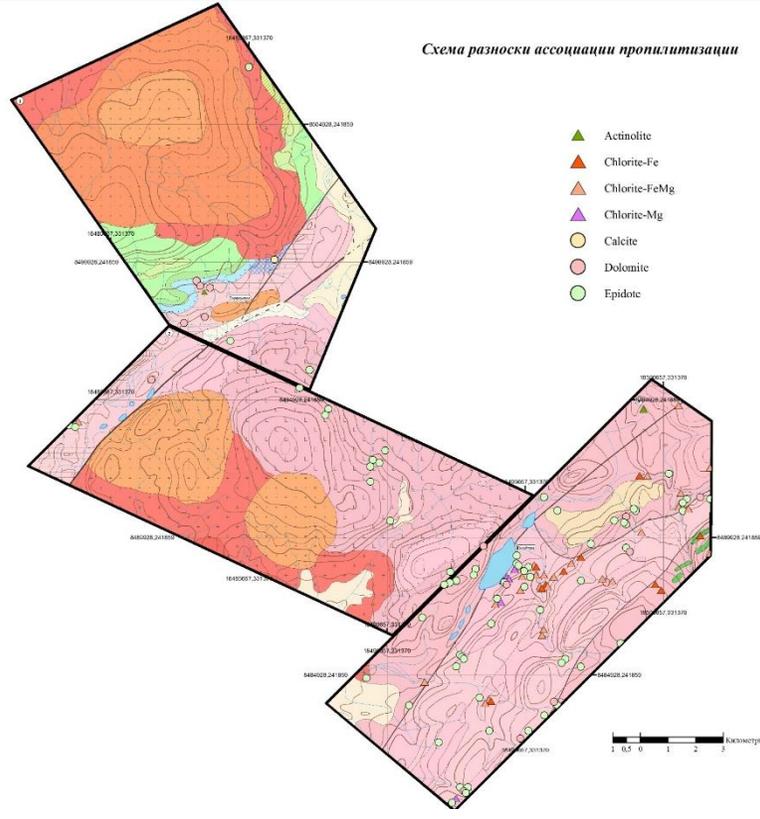
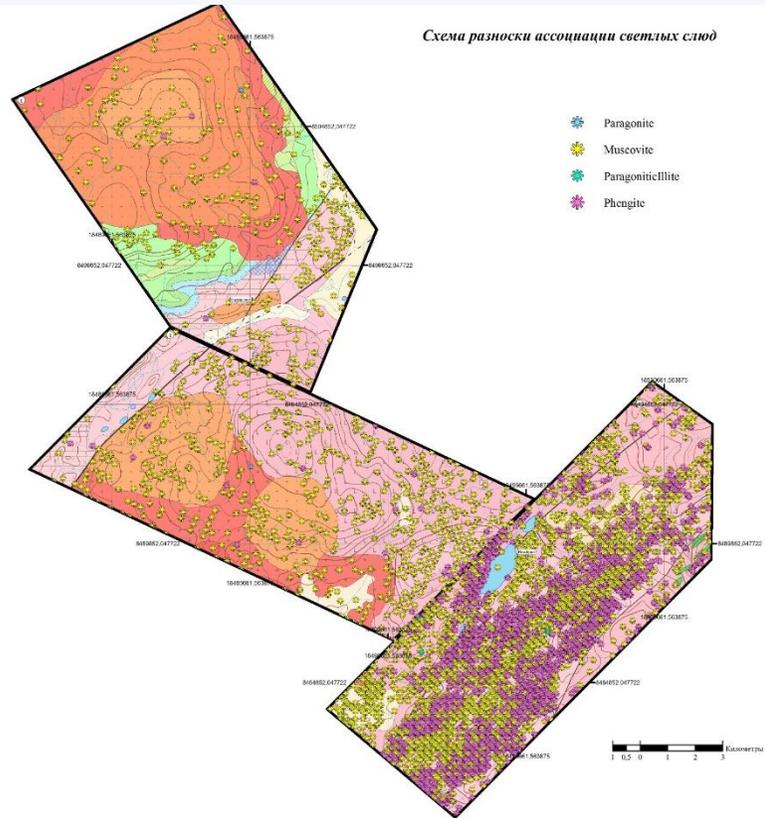
- Объект расположен на полуострове Таймыр
- На трех площадях было проведено **7806** замером спектров по рыхлым геохимическим пробам, в которых выделено **27** минеральных видов. Сеть опробования – 100 x 20 м 250 x 250 м.
- Выделены следующие группы гидротермально-метасоматических изменений:
 - **Аргиллизиты (argillic zone):** диккит, каолинит, монтмориллонит, сидерит, тальк
 - **Пропилиты (propylitic zone):** хлорит, доломит, эпидот, актинолит
- Отдельно выделены группа гетита и группа светлых слюд, включающая мусковит, фенгит, парагонит и их гидратированные разновидности (иллит, парагонитиллит). Классификация светлослюдистых минералов по формационному признаку затруднительна в виду развития мусковитизации как на подрудном уровне типичных ПЭС, так и в составе кварц-серицитовых метасоматитов (филлизитов), часто вмещающих кондиционное медно-порфировое оруденение.
- Установлено, что с возрастанием в пробах концентраций Cu и элементов-спутников увеличивается и частота встречаемости минералов, характерных для формации пропилитов – эпидота и хлорита, особенно магнезиального. В пробах, отнесенных к формации аргиллизитов, часто наблюдаются повышенные концентрации Zn и As, хотя и в целом более низкие, чем в пропилитах. Отдельно обращают на себя внимание пробы с монтмориллонитом, где также были выявлены высокие содержания меди.

№	Список минералов	Мин 1 (%)	по Мин 2 (%)	по Мин 3 (%)
1	Актинолит	1 (0,01%)	1 (0,01%)	-
2	Анкерит	12 (0,15%)	37 (0,47%)	-
3	Биотит	-	6 (0,08%)	-
4	Хлорит-Fe	8 (0,1%)	2 (0,03%)	-
5	Хлорит-FeMg	19 (0,24%)	9 (0,12%)	-
6	Хлорит-Mg	6 (0,08%)	-	-
7	Кальцит	1 (0,01%)	-	-
8	Диккит	167 (2,14%)	24 (0,31%)	-
9	Доломит	5 (0,06%)	10 (0,13%)	-
10	Эпидот	34 (0,44%)	33 (0,42%)	-
11	Ярозит	-	1 (0,01%)	-
12	Роговая обманка	31 (0,4%)	1 (0,01%)	-
13	Каолинит-PX	411 (5,27%)	12 (0,15%)	-
14	Каолинит-WX	66 (0,85%)	28 (0,36%)	-
15	Магнезит	2 (0,03%)	7 (0,09%)	-
16	Монтмориллонит	12 (0,15%)	3 (0,04%)	-
17	Мусковит	2065 (26,45%)	46 (0,59%)	-
18	Парагонит-иллит	2 (0,03%)	1 (0,01%)	-
19	Парагонит	2 (0,03%)	-	-
20	Фенгит	1221 (15,64%)	19 (0,24%)	-
21	Рибекит	7 (0,09%)	1 (0,01%)	-
22	Сидерит	41 (0,53%)	18 (0,23%)	-
23	Тальк	-	13 (0,17%)	-
24	Турмалин	1 (0,01%)	-	-
25	Турмалин-Fe	4 (0,05%)	1 (0,01%)	-
26	Цоизит	34 (0,44%)	24 (0,31%)	-
27	Гетит	-	-	552 (7,07%)
28*	Aspectral	3525 (45,16%)	-	39 (0,5%)
29*	NULL	132 (1,69%)	7509 (96,2%)	7215 (92,43%)

*- не идентифицированные спектры



СХЕМЫ-РАЗНОСКИ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Четвертичные образования

- аQ_н** Аллювий русла. Галечники, валуны песка, гравийники, алевриты. Мощность до 3 м.
- laQ_н** Озерно-аллювиальные образования первой надпойменной террасы. Пески, алевриты, гравий. Мощность до 8 м.
- lgafQ_н** Сартавский горизонт. Озерно-аллювиальные, озерно-ледниковые, ледниковые и флювиогляциальные отложения. Пески, алевриты, галька, гравий, суглинки с валунами и галькой, ледниковые суглинки, глыбы. Мощность до 10 м.
- Песчаный комплекс сублещично-гранитовый:**
 - Шоки гранит-порфирок крупно и глыбово-крупных, биотитовых, амфибол-биотитовых. Вторая фаза.
 - Граниты порфириновые средние и крупнозернистые биотитовые, амфибол-биотитовые. Первая фаза.
- Ледничковский комплекс габбро-гранодиорит-гранитовый:**
 - Граниты средне-крупнозернистые, биотитовые. Третья фаза.
- Гранодиориты средне-крупнозернистые, нередко порфириновые роговообильные-биотитовые. Вторая фаза.

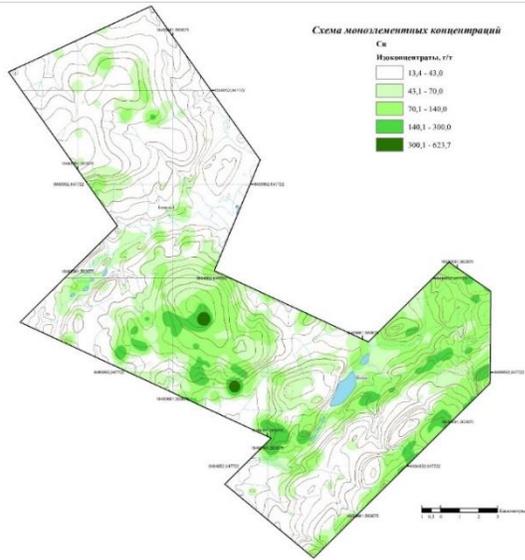
- Sy-Dyap** Устьишская свита. Аргиллиты углистые, кремнистые, алевритистые, доломиты, известняки кремнистые, фашаши, алевриты. Мощность 80-150 м.
- Su(akm)+b** Каменная и болотинская толщи объединенные. Аргиллиты углистые, алевритистые, известнякостые, известняки. Мощность 280-340 м.
- Ou(xas)+b** Астрономическая и годьовская толщи объединенные. Темноцветные алевриты, аргиллиты кремнистые, глинистые, доломиты кремнисто-глинистые. Мощность 145-175 м.
- St-Ouis** Степановская свита. Аргиллиты глинистые, углисто-глинистые, известково-глинистые, прослои и стяжения известняков. Мощности 70-80 м.
- Vsno-Caus** Нижнеостановская, гравийвороческая и усурьмашовская толщи объединенные. Доломиты, мергели, известняки, гравелины, песчаники, аргиллиты углистые. Мощность до 60 м.

- lyRxs** Сельвинский комплекс. Шоки и шаловые тела выщелачиваемых крупно-среднезернистых, двухполюшчатых, мусковит-биотитовых лейкогранитов.
- RFxk1** Колодезская свита. Метадоломиты, доломиты строматолитовые мраморизованные, мезианьезиты, брекчи доломитовые мраморизованные. Около 500 м.
- RFxst3** Верхняя подтолща. Металерниты, метаспальники зеленоватого-серые, серые, пестроокрашенные. В верхней части разреза известнякостые с прослоями метаспальников. В нижней части разреза метаспальники с прослоями метавулканитов доломитовых. Мощность до 700 м.
- RFxst4** Нижняя подтолща. В верхней части. Метарниты, металиты, метавулканыты и их туфы, метавулканолиты, метуфуралиты, метавулканолиты. В нижней части метавулканолиты и метавулканыты кварцевые с простоями метаспальников и метавулканолитов полевошпат-кварцевых. Мощность 400-600 м.
- RFxL** Дорожинская толща. Метобазальты, их туфы и разлитые по ним сланцы хлорит-кварц-альбит-шидитовые, кварц-хлорит-альбит-шидитовые. Мощность 500-700 м.
- RFu1ab** Северобарантский комплекс метагаббро-долеритовый. Силла и дайки метагаббро-долеритов

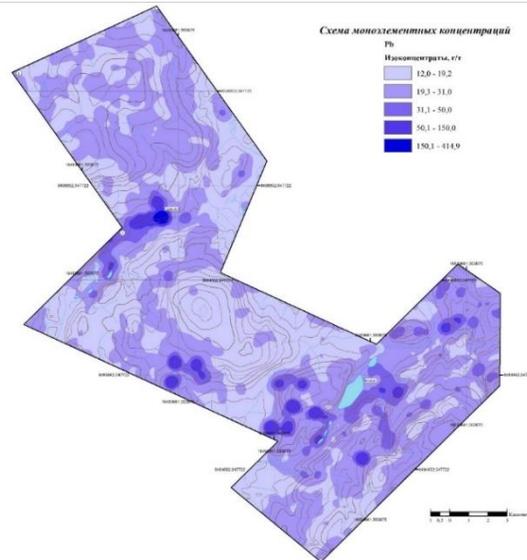
- RFu1a** Ждановская толща. Металерниты, метаспальники хлорит-слюдяно-кварцевые, иногда углеродистые, известняки алевритистые мраморизованные, сланцы по метавулканитам базальтовым. Мощность 1000-1200 м.
- RFu1ok** Октябрьская толща. Метаспальники, метавулканыты полевошпат-кварцевые. Мощность 700 м.
- AR3td** Фаддеевский метаморфический комплекс. Кристаллические сланцы, амфиболиты, мрамор, кварциты, гнейсы, метагаббро, широкосилиты.
- Геологические границы согласного залегания
- Разрывные нарушения:
 - рудокон-процирующе (Дорожинский 1-глубинный разлом):
 - а) достоверные, б) скрытые под вышележащими образованиями
 - опережающие взбросы, сбросы:
 - а) достоверные, б) скрытые под вышележащими образованиями
 - Падвиги достоверные

СХЕМЫ-РАЗНОСКИ СОДЕРЖАНИЙ ВО ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛАХ РАССЕЙЕНИЯ

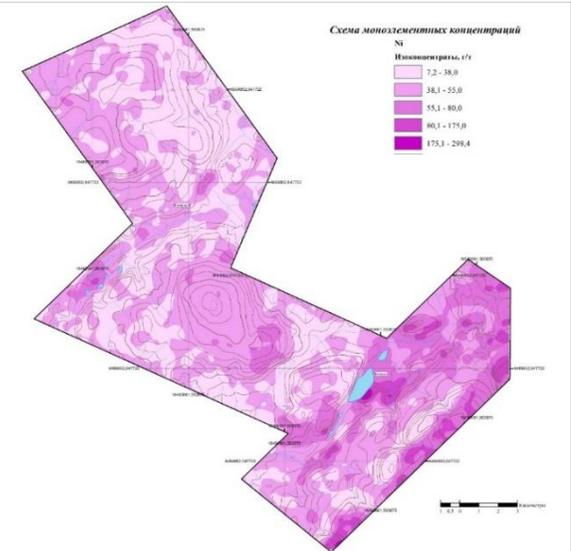
Cu



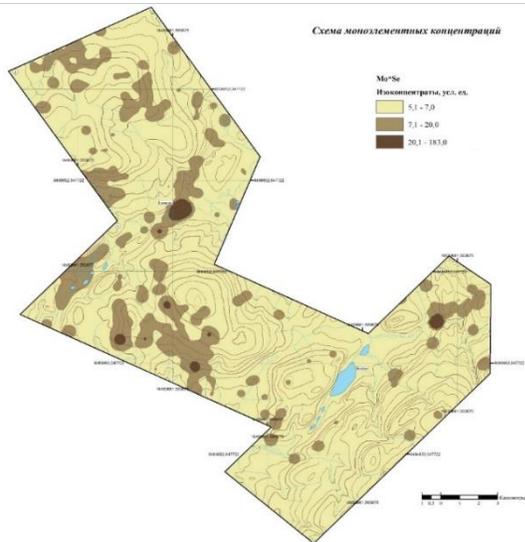
Pb



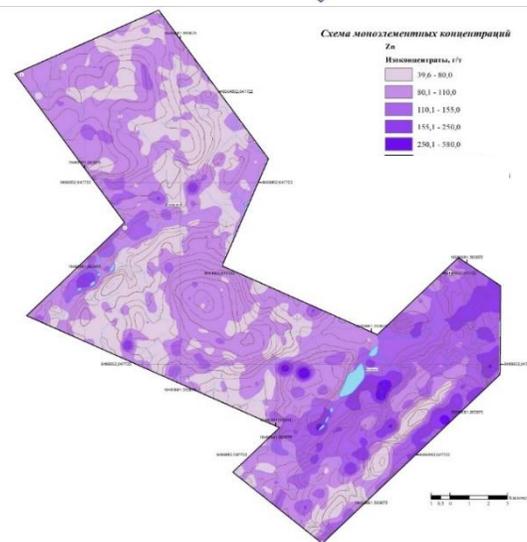
Ni



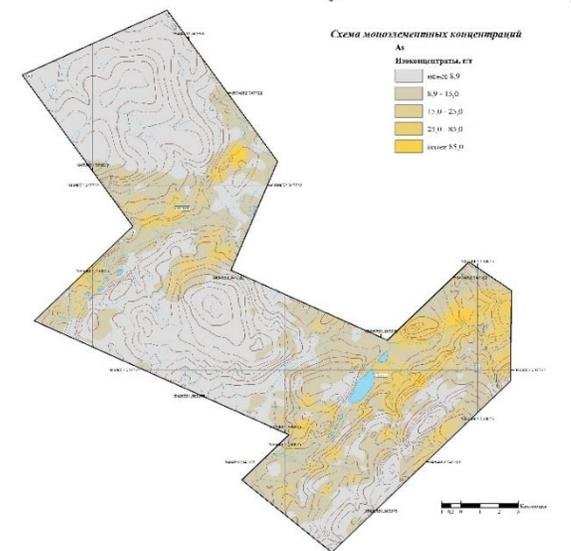
Mo*Se



Zn



As

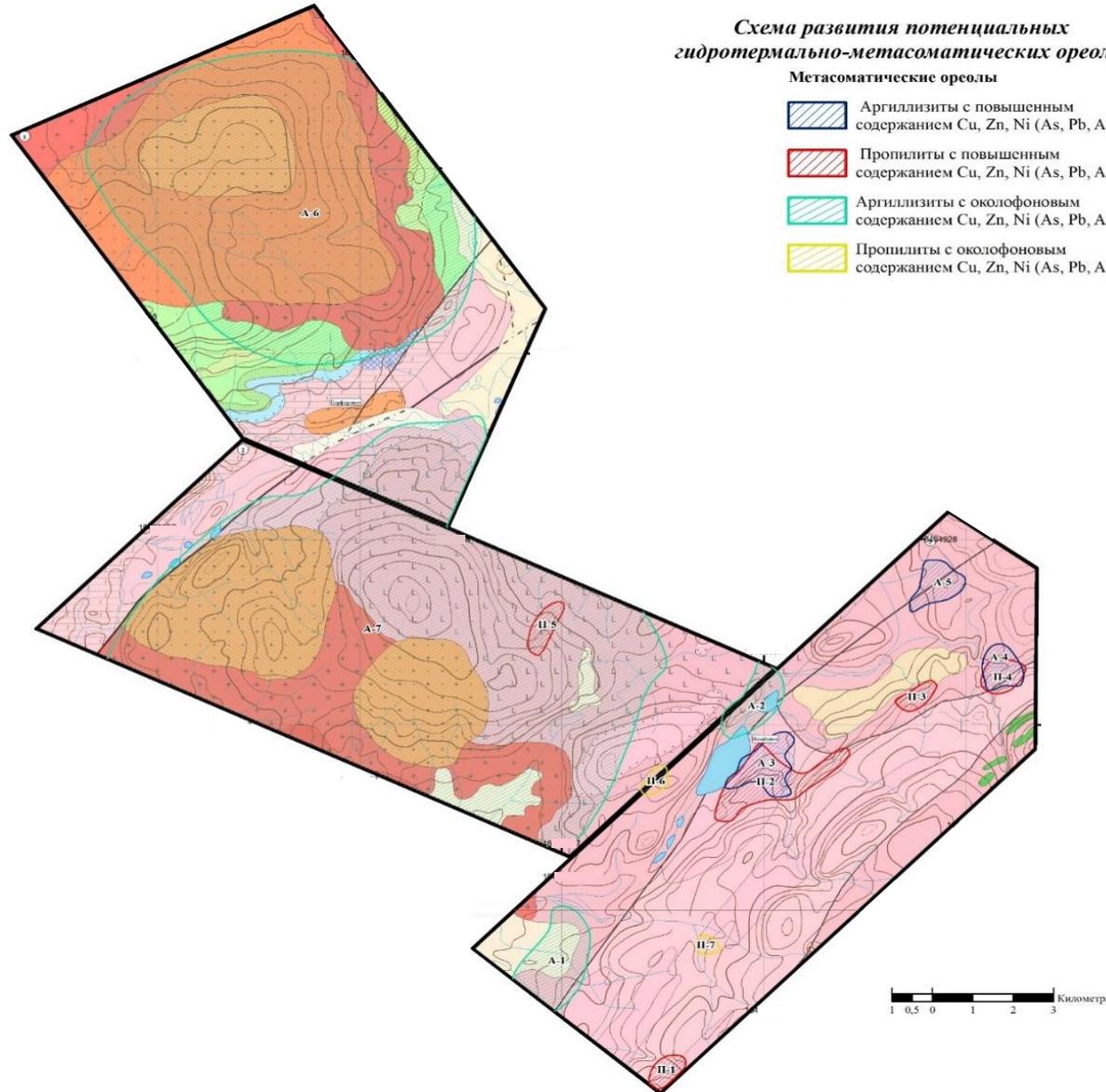


ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ, ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ НА ОБНАРУЖЕНИЕ ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Схема развития потенциальных гидротермально-метасоматических ореолов

Метасоматические ореолы

-  Аргиллизиты с повышенным содержанием Cu, Zn, Ni (As, Pb, Ag)
-  Пропилиты с повышенным содержанием Cu, Zn, Ni (As, Pb, Ag)
-  Аргиллизиты с околофоновым содержанием Cu, Zn, Ni (As, Pb, Ag)
-  Пропилиты с околофоновым содержанием Cu, Zn, Ni (As, Pb, Ag)



На участках проведения работ локализовано несколько площадей, по геохимическим и минералогическим признакам перспективных на обнаружение медно-порфировой системы, вскрытой на (суб)эпитемальном уровне эрозионного среза.

- В границе ореола пропилитов и аргиллизитов (П-2+А-3) известно (суб)эпитемальное золото-серебро-полиметаллическое рудопроявление. По данным предшественников околорудные изменения представлены средне-низко-температурными образованиями аргиллизитовой и березит-лиственитовой формации. Аргиллизиты распространены в верхних частях рудных зон с постепенным переходом к березитам на фоне увеличения количества рудной минерализации
- На Южном участке в качестве наиболее перспективных выделены участки совмещения ореолов пропилитизации, аргиллизации и вторичных геохимических аномалий Cu, Zn, As, Ni, Pb (ореолы П-2+А-3 и П-4+А-4) над метавулканогенными толщами рифея
- К объектам второй очереди отнесены ореолы с преобладанием только одного процесса гидротермально-метасоматических изменений на фоне повышенных концентраций элементов рудогенного комплекса (П-1, П-3, П-5, А-5).
- Площади выявленных ореолов от 0,5 до 2,9 кв. км

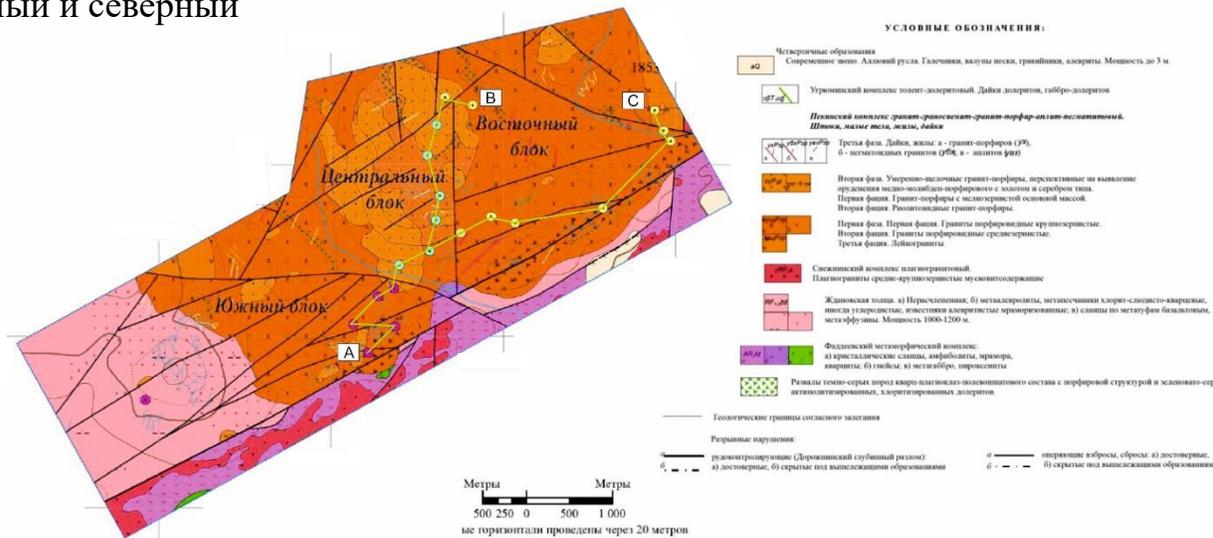
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИКС ПО КЕРНУ СКВАЖИН ПОИСКОВОЙ СТАДИИ

- В результате проведенного комплекса работ методом ИК-спектроскопии в скважинах на поисковом участке проанализировано **2060** истертых керновых проб из 21 скважины в которых было установлено **24** минеральных вида.
- Выделены следующие группы гидротермально-метасоматических изменений:
 - **Поздние аргиллизиты (late argillic zone)** - каолинит, диккит, натровый иллит;
 - **Пропилиты (propylitic zone)** - актинолит, хлорит, доломит, эпидот
- **Светлые слюды** рассмотрены отдельно с учетом их возможного сквозного нахождения во многих метасоматических ассоциациях. Также отдельно проанализировано распределение **гётита**.
- В соответствии с выявленными минералого-геохимическими особенностями участков работ можно разделить на **три тектонических блока**, разграниченных разрывными нарушениями – южный, центральный и северный

Сводная таблица идентифицированных глинисто-слюдистых минералов в керновых пробах

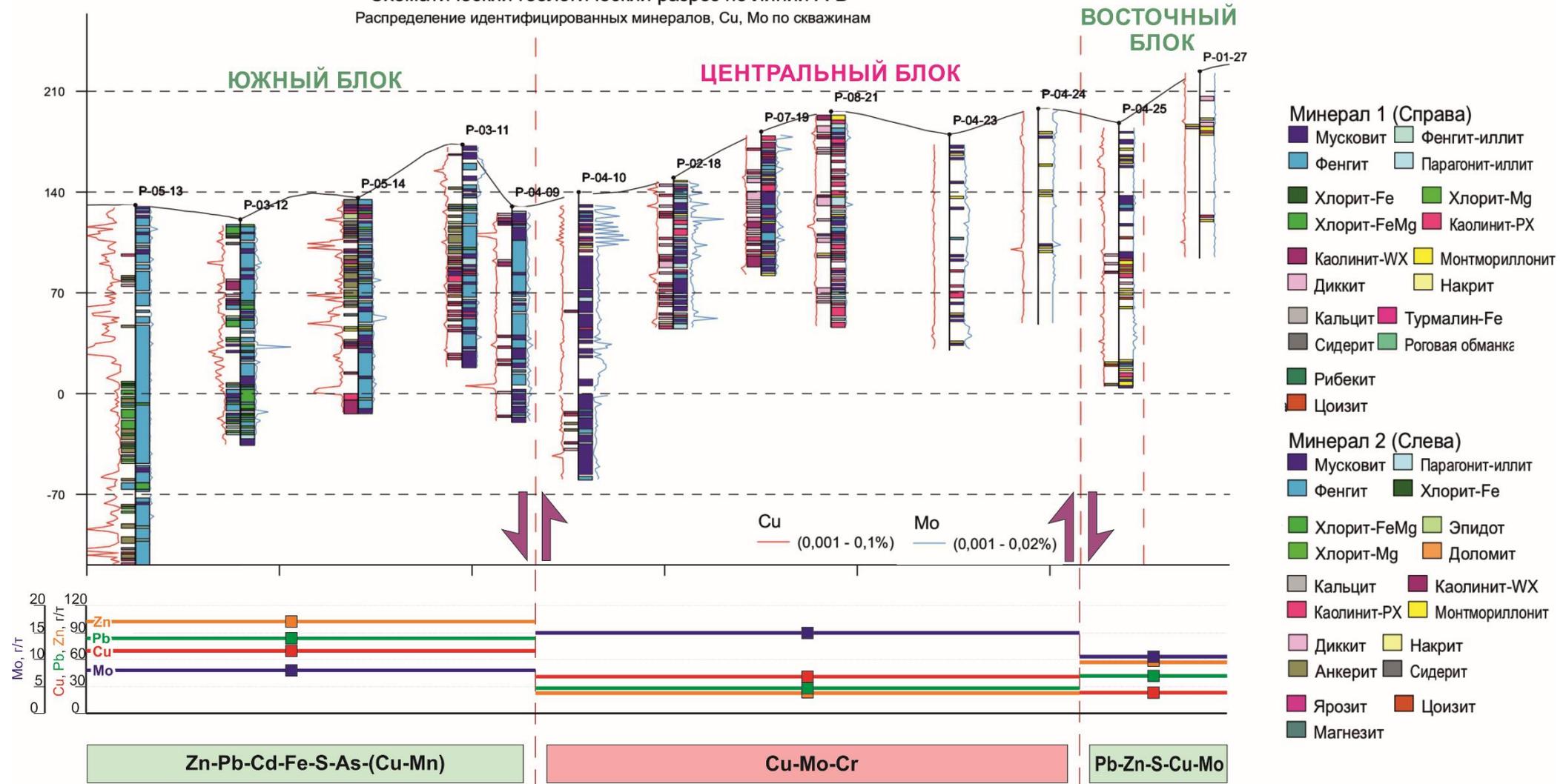
№	Список минералов	Мин 1 (%)	Мин 2 (%)	Мин 3 (%)
1	Фенгит	584 (28,35%)	18 (0,87%)	-
2	Мусковит	390 (18,93%)	20 (0,97%)	-
3	Парагонит-иллит	85 (4,13%)	5 (0,24%)	-
4	Каолинит-PX	73 (3,54%)	69 (3,35%)	-
5	Монтмориллонит	71 (3,45%)	5 (0,24%)	-
6	Хлорит-FeMg	26 (1,26%)	35 (1,7%)	-
7	Фенгит-иллит	25 (1,21%)	-	-
8	Каолинит-WX	19 (0,92%)	66 (3,2%)	-
9	Диккит	16 (0,78%)	59 (2,86%)	-
10	Кальцит	6 (0,29%)	1 (0,05%)	-
11	Хлорит-Fe	5 (0,24%)	6 (0,29%)	-
12	Сидерит	4 (0,19%)	26 (1,26%)	-
13	Цоизит	3 (0,15%)	2 (0,1%)	-
14	Хлорит-Mg	2 (0,1%)	8 (0,39%)	-
15	Роговая обманка	1 (0,05%)	-	-
16	Накрит	1 (0,05%)	1 (0,05%)	-
17	Рибекит	1 (0,05%)	-	-
18	Турмалин-Fe	1 (0,05%)	-	-
19	Анкерит	-	67 (3,25%)	-
20	Эпидот	-	7 (0,34%)	-
21	Доломит	-	1 (0,05%)	-
22	Ярозит	-	1 (0,05%)	-
23	Магнетит	-	1 (0,05%)	-
24	Гетит	-	-	414 (20,1%)
25*	Aspectral	646 (31,36%)	-	91 (4,42%)
26*	NULL	101 (4,9%)	1662 (80,68%)	1555 (75,49%)

*- не идентифицированные спектры



СХЕМЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НА ОБНАРУЖЕНИЕ ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Схематический геологический разрез по линии А-В
Распределение идентифицированных минералов, Cu, Mo по скважинам



АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

➤ Центральный блок

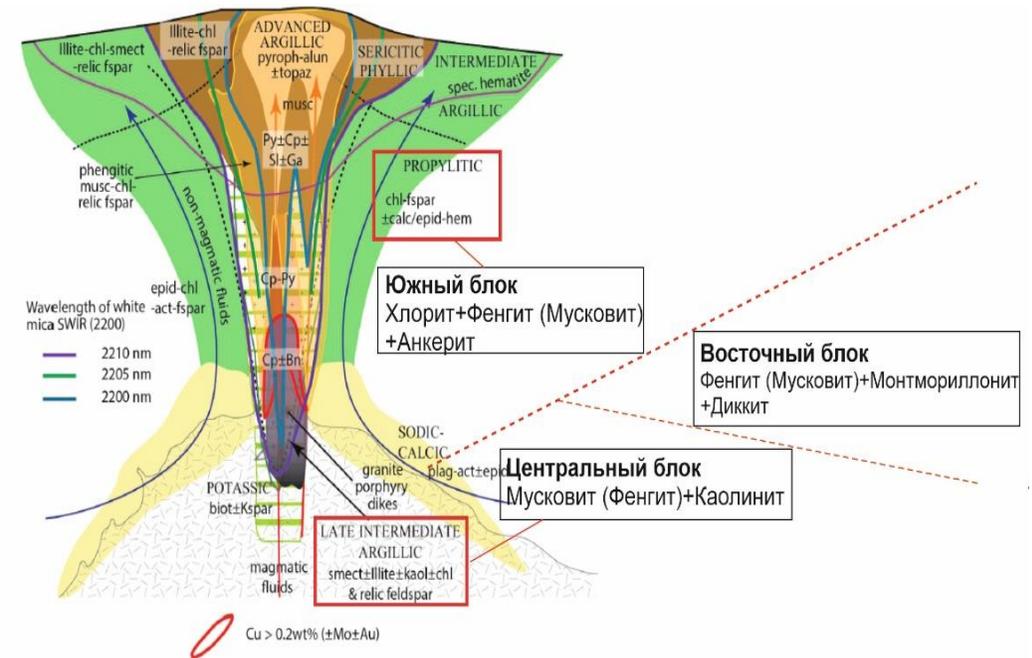
- Преобладает **Na** иллит-диккит-каолинит-мусковитовая минерализация (**поздние аргиллизитовые изменения**)
- Геохимическая ассоциация - **Mo-Cu-Cr**. Концентрации молибдена достигают рудных значений (0,025 %)
- Уровень эрозионного среза пород центрального блока определен как значительный, наиболее характерный для ниже- или подрудного уровня типичных Cu-порфировых объектов.

➤ Восточный блок

- Преобладает **диккит-монтмориллонит-хлорит-мусковит-фенгитовая** минерализация (**пропилитовые изменения**). Характерна низкотемпературная полиметаллическая ассоциация **Pb-Zn-S-Cu-Mo-(Rb-U-Fe-Cd)** с низкими средними содержаниями меди

➤ Южный блок

- Глинисто-слюдяная минерализация южного блока может быть отнесена к типичной **пропилитовой (фенгит-анкерит-хлорит + гетит)**.
- Преобладает **Zn-Pb-Cd-Fe-S-As-(Cu-Mn)** геохимическая ассоциация
- Породы блока обладают высокими пиковыми концентрациями **Cu (до 0,1%), Pb (до 1 %) и Zn (до 1%)**.
- Наибольшие средние содержания меди соответствуют пробам из интервалов распространения железистых хлоритов и фенгита часто совместно с анкеритом и сидеритом



АНАЛИЗ КОРОТКОВОЛНОВОГО ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА

Первичные данные полученные при помощи портативных спектрометров, также могут быть проанализированы на основании уникальных особенностей спектров поглощения разных минеральных видов. Основные свойства спектральных данных:

- **Кристалличность иллита (IC)** — это термин, предложенный Kübler (1967), применяемый при рентгено-дифрактометрических исследованиях, условно применяется в ИК-спектроскопии. Он выражается отношением глубины пика **2200 нм** к глубине пика поглощения около **1900 нм** (рис. 1). Значение IC можно использовать для идентификации относительной температуры образования (Yang, Z.M). Чем выше значение IC, тем меньше воды содержит минерал и выше температура образования.
- Сдвиги значений пика в полосе поглощения **2200 нм** (рис. 2а) отражает замещение Si и Al в тетраэдрической и замещение Al, Mg и Fe в октаэдрической кристаллической решетке светлых слюд. Значение пика в полосе поглощения 2200 нм уменьшается с увеличением содержания Al в решетке.
- Сдвиги значений пика в полосе поглощения **2250 нм** отражает замещение Al, Mg и Fe в октаэдре решетки хлорита. Значение пика в полосе поглощения 2250 увеличивается с увеличением содержания Fe в решетке (рис. 2б)
- Сдвиг значения пика в полосе поглощения **1480 нм** отражает замещение K и Na в решетке алунита.

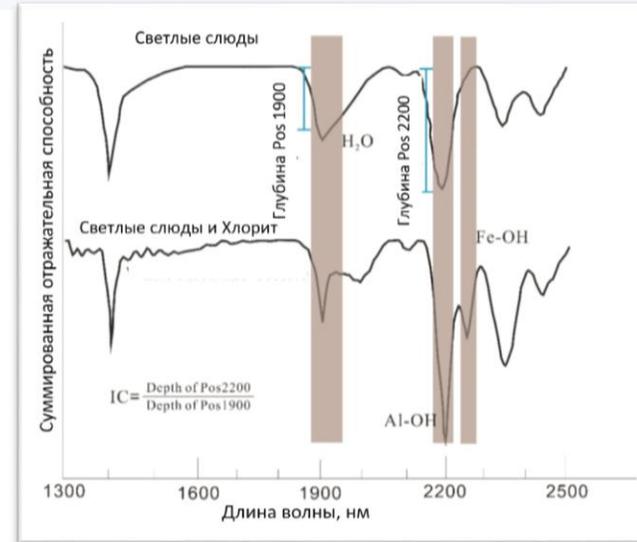


Рис. 1 Типичные спектры поглощения SWIR светлых слюд и смеси светлой слюды и хлорита, показывающие положение и глубину полос поглощения Al-OH, Mg-OH и H₂O (Yan Zhou et al, 2022)

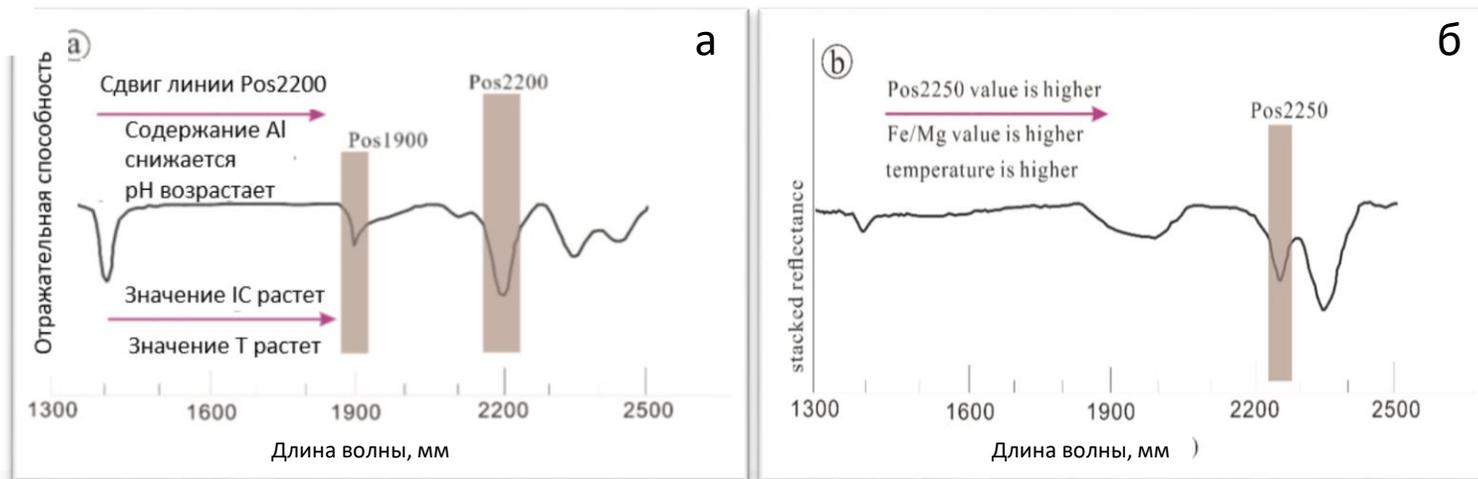
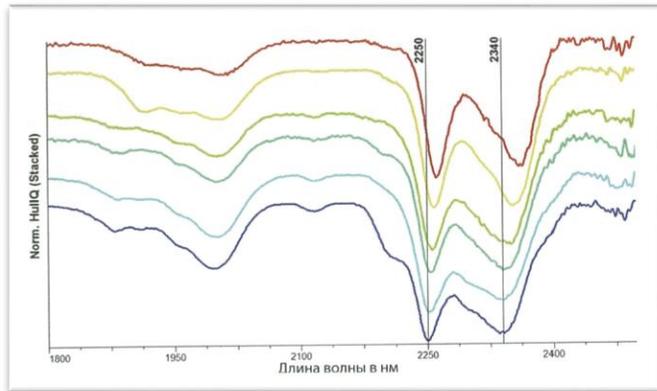
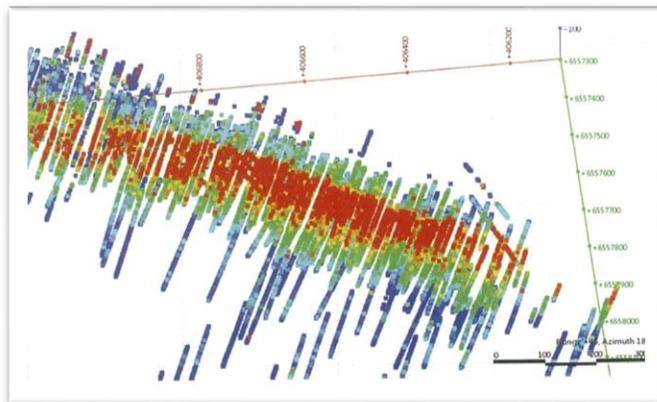


Рис. 2 Схема, показывающая корреляцию между сдвигом диагностического пика поглощения, химическим составом минералов и контролирующими факторами. (а) — корреляция значения Pos2200, содержания Al, температуры, значение pH и значение IC серицита; (б) — корреляция величины Pos2250, величины Fe/Mg и температуры хлорита (Yan Zhou et al, 2022)

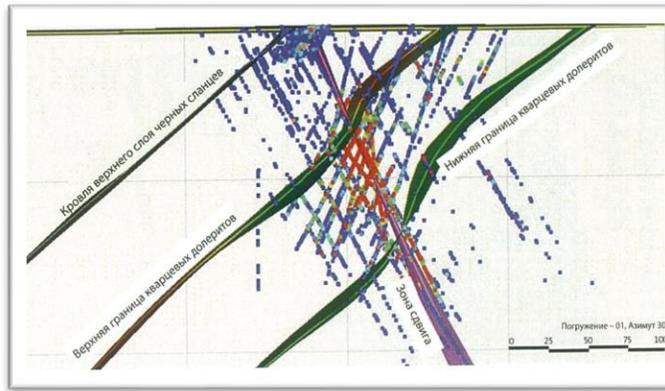
ТРЕХМЕРНОЕ ВЕКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ АУ СОЛТ-КРИК НА ОСНОВАНИИ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ



Сравнение спектров хлорита, демонстрирующих характерные полосы поглощения 2250 и 2340 нанометров. Обратите внимание на сдвиг минимума поглощения полосы 2250 нм от собственно 2250 (синий спектр) до 2260 нм (красный спектр).



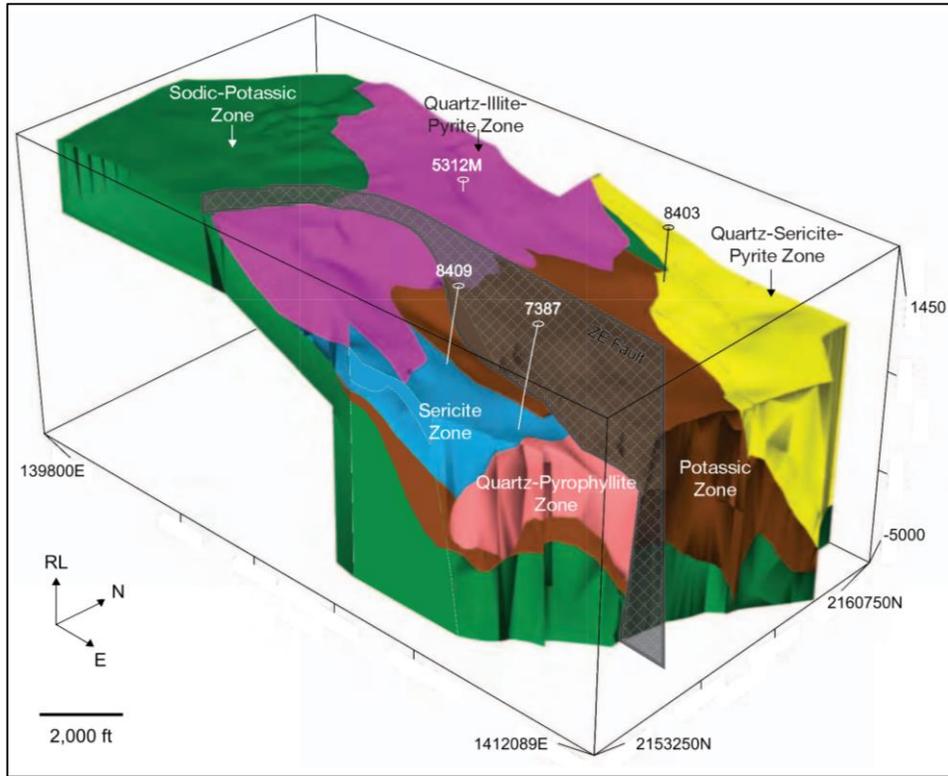
Трёхмерная картина распределения «хлоритовых» спектров золоторудного месторождения Солт-Крик. Направление взгляда соответствует падению долеритового силла Солт-Крик. Фигуративные точки окрашены в соответствии с длиной волны полосы поглощения 2250 нм, отвечающей связи Fe–ОН в КВ ИК спектре.



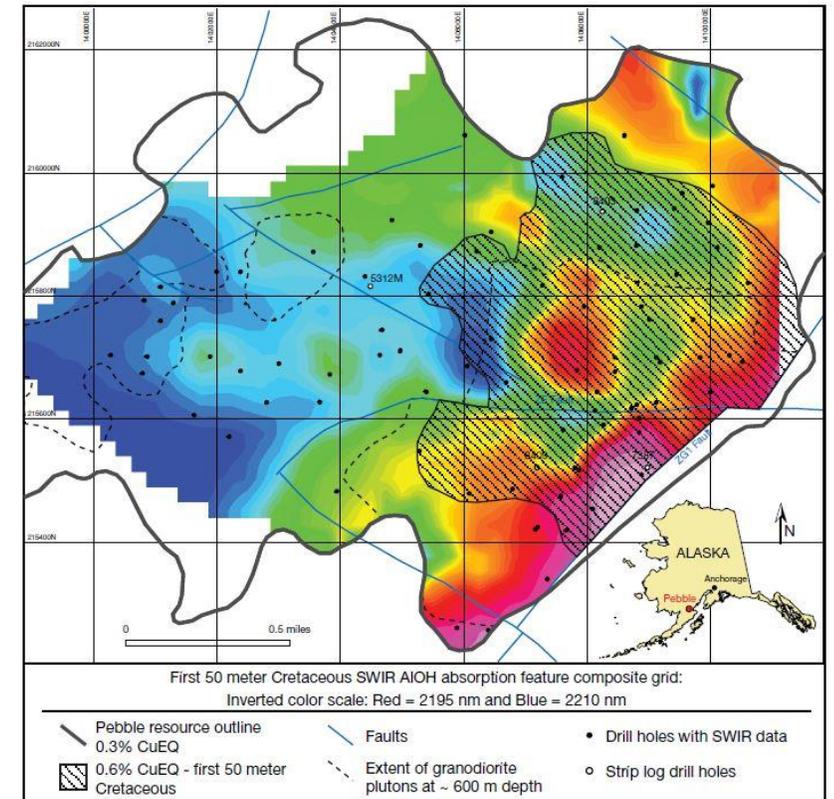
Разрез месторождения Солт-Крик, показывающий верхнюю и нижнюю границы блока фракционированного кварцевого долерита и смоделированную сдвиговую зону. Точки керновых проб окрашены по содержаниям золота: синие < 0.2, красные > 2.0 ppm.

На месторождении Солт-Крик по изменениям длин волн в хлоритах моделировались верхние и нижние границы длинноволновой области, соответствующие стратифицированным кварцевым долеритам. Сдвиговое смещение полосы поглощения отражает контроль минерализации в пределах интрузии (Halley, 2013)

ТРЕХМЕРНОЕ ВЕКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ AU-CU ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕББЛ НА ОСНОВАНИИ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ



Трехмерная модель гидротермальных изменений, Pebble, Аляска, основана на объединении геологической документации скважин и 3900 точек спектральных данных, собранных из 150 скважин, охватывающих все типы гидротермальных изменений и типы минерализации в вертикальном диапазоне 1700 м в пределах и в непосредственной близости от месторождения Pebble (Harraden et al., 2013)



План-карта с градиентной заливкой значений характеристик сдвига полосы поглощения Al-OH (теплые цвета представляют более низкие значения). Пунктирные границы показывают латеральную протяженность плутона на глубине. Содержания меди 0,3 и 0,6% обозначены жирной серой линией и черной штриховкой соответственно.

Самые богатые на Au и Cu рудные тела месторождения находятся в восточном плутоне и совпадают с низкими значениями в полосе поглощения Al-OH в пиррофиллите и сериците.

Значения Al-OH можно использовать в качестве инструмента векторизации для дальнейшей разведки.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИРА (LING ZUO ET AL. 2022)

Месторождение	Полоса поглощения	Проксимальная минерализация	Автор	Месторождение	Полоса поглощения	Проксимальная минерализация	Автор
Тулу, Cu- порфировое	Al-OH; Fe-OH	Pos2200<2206; Pos2250: long	Yang et al. (2005)	Izok Lake, VMS	Al-OH; Fe-OH	Pos2200: long; Pos2250: long	Laakso et al. (2015)
Тулу, Cu- порфировое	Fe-OH	Pos2250: 2260–2265	Lian et al. (2005)	Honghai, VMS	Al-OH	Pos2200: short	Huang et al. (2018)
Niansun, Cu- порфировое	Al-OH; H2O	Pos2200<2203; IC>1.6	Yang et al.(2012)	Tonglvshan, Cu-Fe-Au скарновое	Fe-OH	Pos2250: long	Li et al. (2020)
Pebble, Cu-Au-Mo порфировое	Al-OH	Pos2200<2210	Harraden et al. (2013)	Tonglvshan, скарновое	Fe-OH	Pos2250>2253	Zhang et al. (2017)
Xinan, Cu-Mo - порфировое	Al-OH; H2O	Pos2200>2203; IC>2.1	Xu et al. (2017)	Jiguanzui, Cu-Au скарновое	Al-OH; Fe-OH	Pos2200>2209; Pos2250: long	Tian et al. (2019)
Xiaokelehe, Cu-Mo - порфировое	Fe-OH; H2O	Pos2250>2245; IC<0.8	Feng et al. (2019)	Tonglvshan, Cu-Fe-Au скарновое	Al-OH; Fe-OH; Sub-Al-OH	Pos2200>2212 or <2202; Pos2250>2250; Pos2170>2170	Zhang et al. (2020)
Tongshankou, Cu-Mo порфирово-скарновое	Fe-OH	Pos2250>2251	Han et al. (2018)	Edong, Cu-Mo-W скарн-порфировое	Al-OH; Fe-OH; Sub-Al-OH	Pos2250>2253; Pos2170>2170; Pos2200>2212 or <2202	Chen et al. (2019)
Fukeshan, Cu- порфировое	Al-OH; H2O	IC: large	Li et al. (2020a)	Zhengguang, Au-Zn эпитеpmальное	Al-OH; H2O	Pos2200: long; IC>2.0	Wang et al. (2021)
Demingding Cu-Mo - порфировое	Al-OH; H2O	Pos2200<2205; IC>1.0	Ren et al. (2020)	Sinongduo, Ag-Pb-Zn эпитеpmальное (low sulfidation)	Al-OH; H2O	IC: 0.7–1.0	Guo et al. (2020)
Laowangou, Au- порфировое	Al-OH	Pos2200>2210; IC>1.2	Xiao et al. (2021)	Gangcha, Au (минерализованные зоны)	Al-OH; H2O	IC: 5.5–5.7	Peng et al.(2016)
Qulong, Cu-Mo - порфировое	Fe-OH	Pos2250: long	Xue et al. (2021)	Ganzhuershande, Ag-Pb-Zn (минерализованные зоны)	Al-OH; H2O	IC: large	Liu and Liu (2016)
Rosebery, VMS	Al-OH	Pos2200<2200	Herrmann et al. (2001)	Xincheng, Au	Al-OH; H2O	Pos2200 ≠ 2205; IC>1.2	Shao et al. (2021)
Myra Falls, VMS	Al-OH; Fe-OH	Pos2200<2204; Pos2250: 2238–2252	Jones et al. (2005)				

Pos2200 (nm): Al-OH положение линии поглощения, Pos2250 (nm): Fe-OH положение линии поглощения, Pos2170 (nm): Sub Al-OH положение линии поглощения; IC: кристалличность иллита

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Минералы, идентифицированные методом ИКС, позволяют выявлять гидротермально-метасоматическую зональность на ранних стадиях ГРР. Наиболее широко методика применяется для медно-порфировых месторождений, характеризующихся выдержанной минералого-геохимической зональностью.
- Методика ИК-спектроскопии применима как для кернового материала, так и для литохимических проб.
- Дополнительную полезную информацию дает комплексирование результатов ИК-спектроскопии с опробованием первичных и вторичных ореолов.
- Дальнейший шаг в практическом применении особенностей глинисто-гидросланцевых минералов предполагает исследование уникальных спектральных параметров для 3D векторизации рудно-магматической системы от флангов к центру и определение корреляции между содержанием полезных компонентов и кристаллохимическими особенностями минералов индикаторов.

