

Спектральные минералогические показатели как поисковые векторы на Кутынском золоторудном месторождении (Хабаровский край)

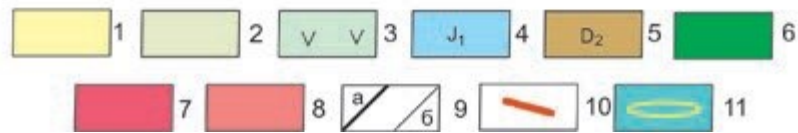
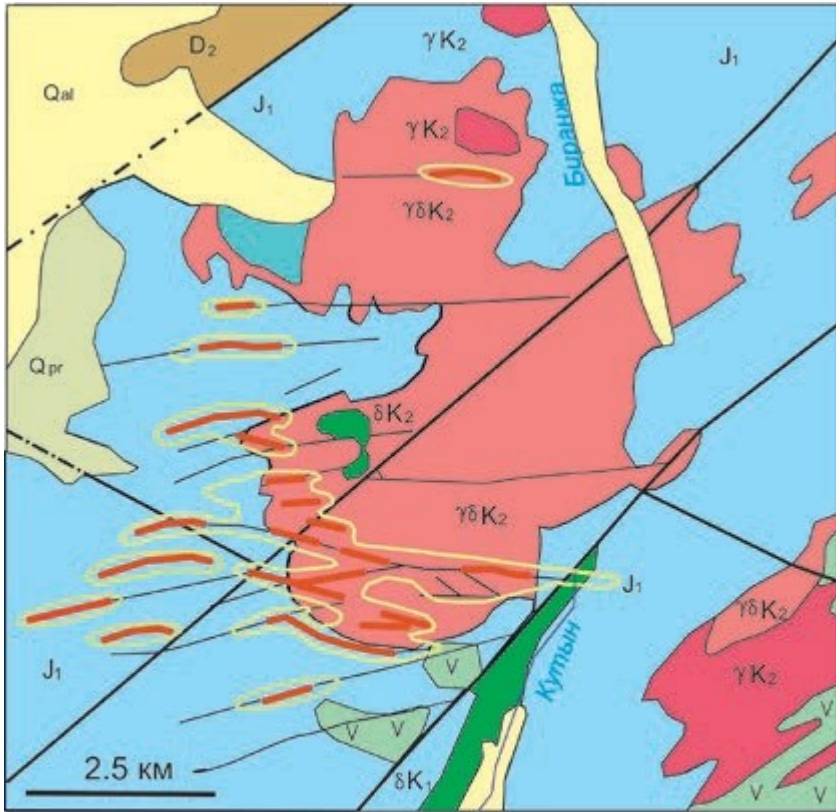
М.В. Морозов (АО «Полиметалл УК», СПбГУ), А.В. Саранчин (ФГБУ «ВИМС»), А.И. Несмеянова (ФГБУ «ВИМС»), А.В. Иоспа (ФГБУ «ВИМС»), Н.Е. Уткина (АО «Полиметалл УК»)

Москва, 22.11.2023 г.

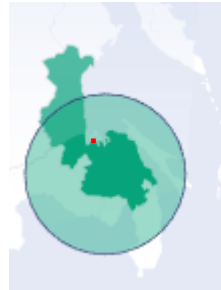
АО «Полиметалл УК», ФГБУ «ВИМС»



Кутынское месторождение: геологическая позиция



Геологическая схема Кутынского месторождения (Трушин, Кириллов, Иванов, 2020). 1 – аллювий Q, 2 – пролювий Q, 3 – вулканиты K₂, 4 – терригенные J₁, 5 – терригенные D₂, 6-8 – интрузивы K₂ (диориты и габбро-диориты, граниты, гранодиорит-порфиры), 9 – разломы, 10 – рудные зоны, 11 – березитизация.



Тугурский п-в, Хабаровский край. JORC Au 3.5 Moz, 4.3 г/т.

Специализация рудно-россыпного узла: Au-Sn (локально Ag, As, Sn, W, Bi, Pb, Zn, Cu). Модель оруденения дискуссионна.

Положение: СЗ Ульбанского террейна (аккреционного).

Структура: горст; терригенные кварцевые песчаники, алевропелиты, кремнистые отложения и седиментационные брекчии (J₁).

Инtruзия: Биранджинский массив, куполообразная, 25 км². Контроль: СВ тектонические структуры (Малых, 2014 и 2015). Интрузивные фазы:

I – габбродиориты, диориты, диоритовые порфиры,

II – кварцевые диориты, Vt-Hbl гранодиориты и гранодиорит-порфиры,

III – граниты, гранит-порфиры, дайки аплитов (Азарян и др. , 2022).

Метасоматиты и жилы: главные - серицит-гидросерицит, карбонаты (Fe!), редко – адуляр, турмалин. Ороговикование, хлоритизация, эпидотизация.

Рудные минералы: Py, Apy; Au самор. (пробность 650-750 ‰); блеклые руды, галенит, гессит (Ag₂Te), Gth, арсенаты, отмечены Cu самор., Sp, Chr, Ilm, малахит.

Золото-кварцевый малосульфидный тип (Py + Apy <10%).

T-t рамки магматизма и рудообразования

Датировки (по Азарян и др., 2022):

- гранодиориты Биранджинского массива - 90.7 ± 1.7 (U-Pb, SIMS; Zrn), 92.7 ± 0.4 млн. лет (Rb-Sr; вал и Ser),
- золотоносные кварц-карбонат-серицитовые метасоматиты - 79.3 ± 0.5 млн. лет.

Температуры образования метасоматических и рудных ассоциаций (по Азарян и др., 2022):

- ранний хлоритовый метасоматоз (по хлоритовому геотермометру Cathelineau & Nieva, 1985):

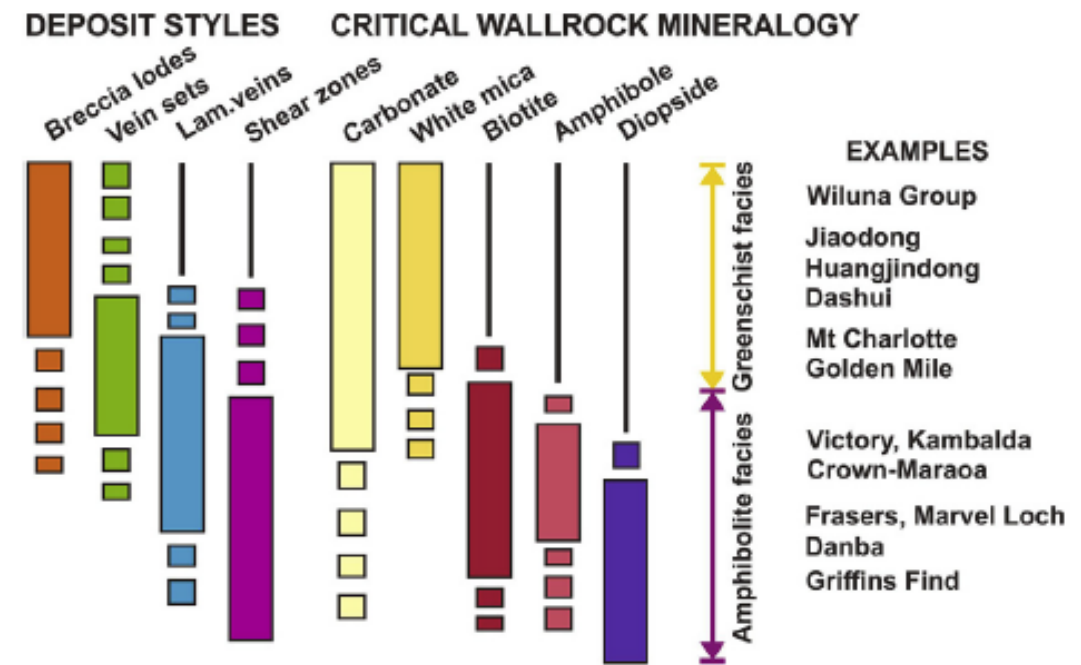
229-278 °C, средняя – **257 °C** (14 точек в эндо- и экзоконтакте)

- золото-тетраэдрит-арсенопиритовая ассоциация (по диаграмме стабильности Au – Ag – Te):

≥ 170 °C (заключительная - «теллуридная» жильная стадия).

→ **Эпизональное (150-300 °C) орогенное месторождение Au** (по Д. Гровсу, 1980, Gebre-Mariam et al., 1995), гипабиссальные глубины (<6 км).

Жилы и брекчии; светлая слюда + карбонаты; пирит.



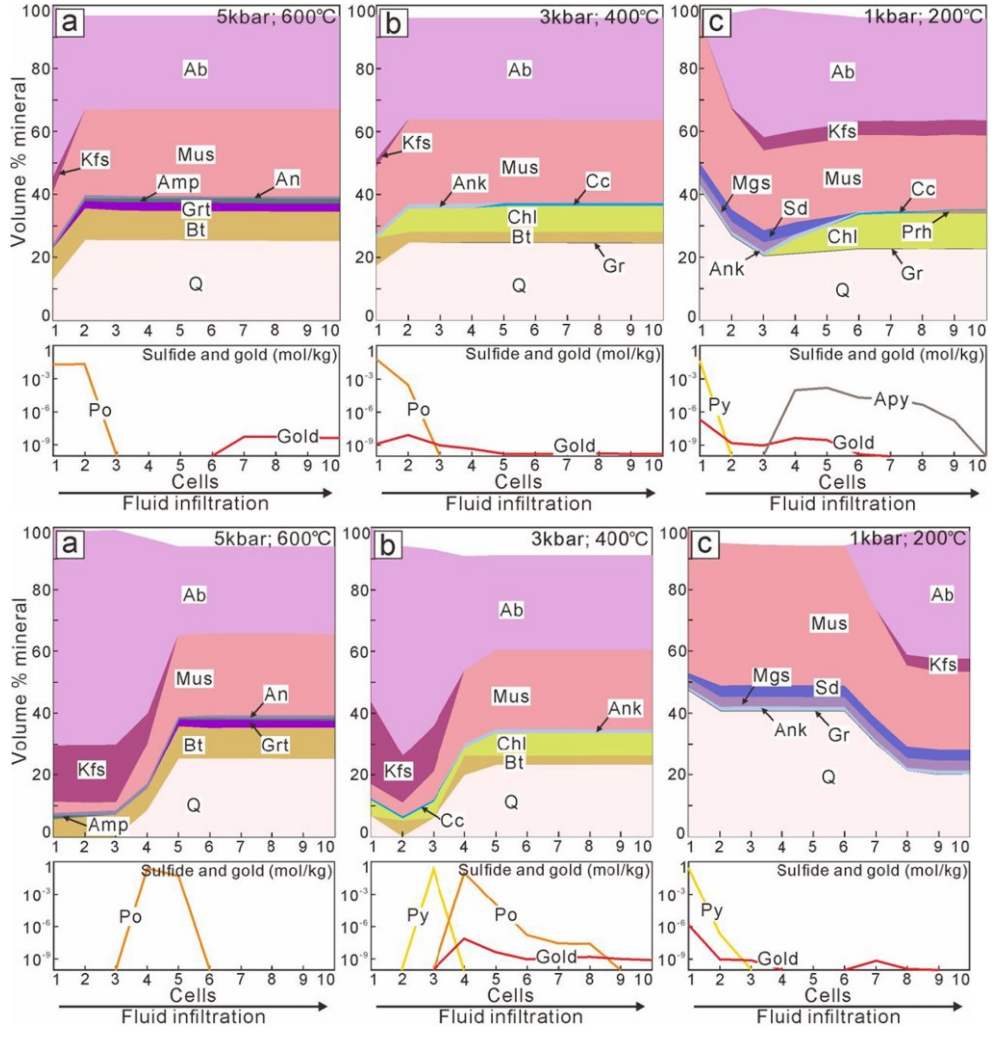
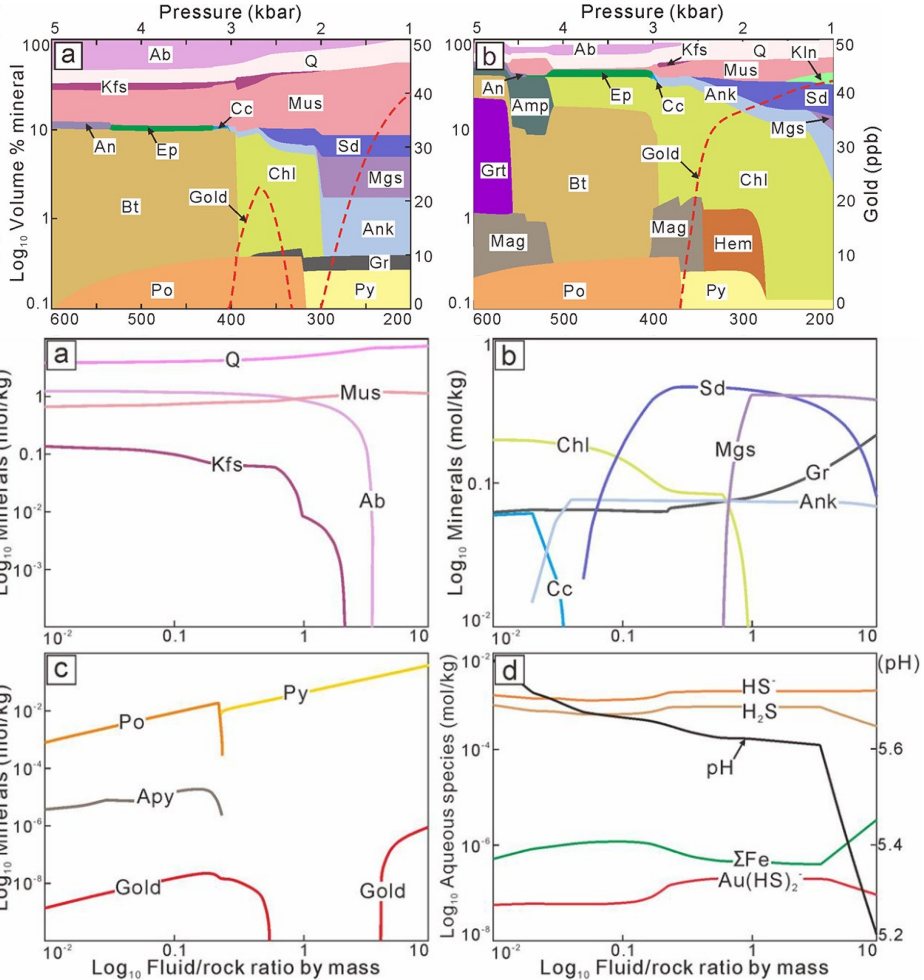
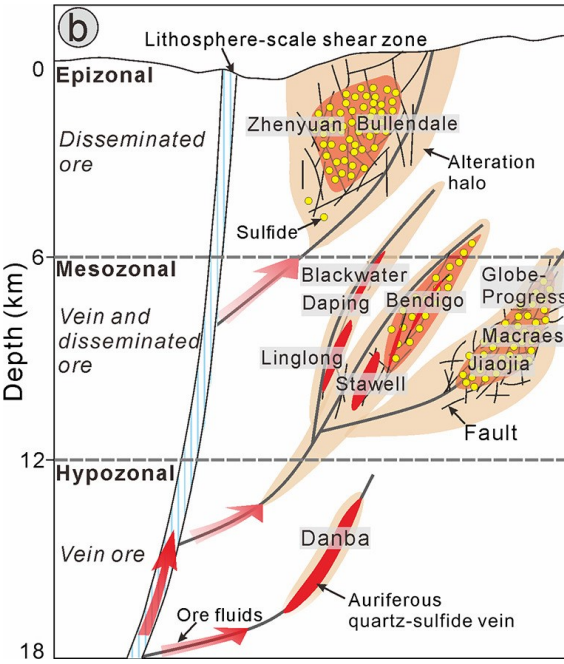
Groves et al., 2020

Рудоносные зоны и околорудный метасоматоз

9 субширотных крутопадающих зон (Геофизическая, Дельинская, Джуаты, Перевальная, Родниковая, Седловинная и др.) – зоны дробления в ореолах березитов гидросерицитовой формации.

Степень изменения от 45 до 100%. В эндо- и экзоконтакте интрузива не отличаются по составу. Зональность:

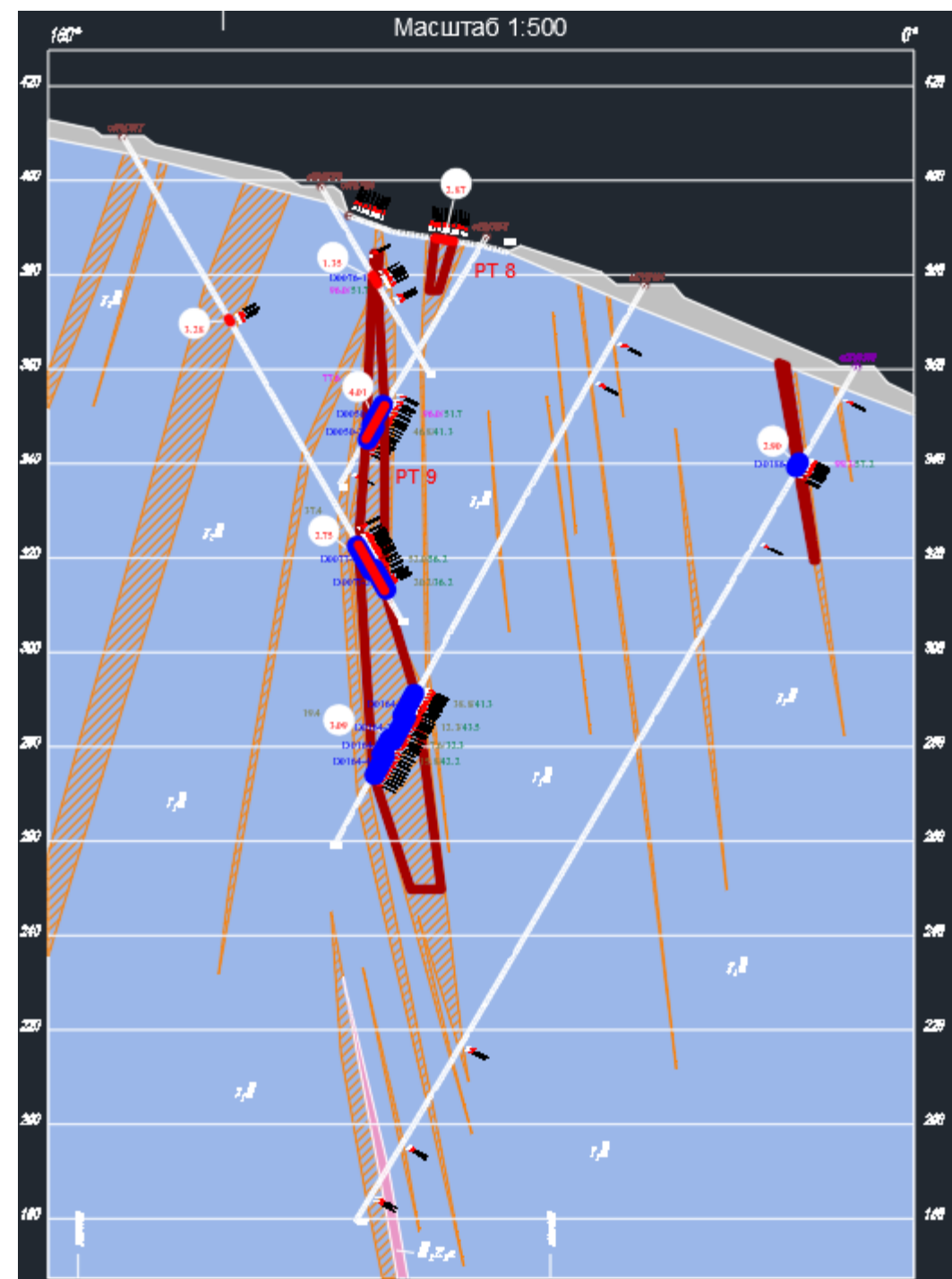
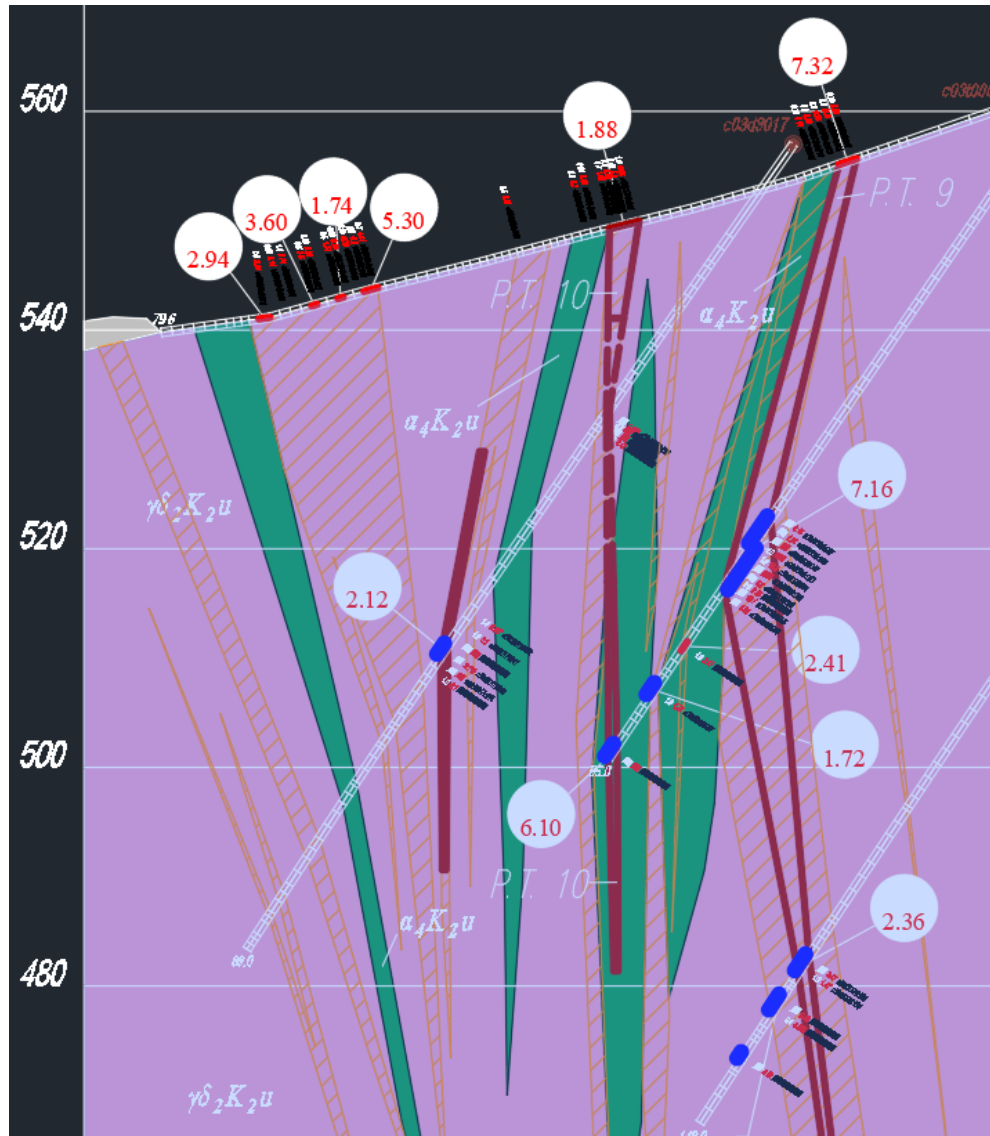
центр **Qz-Hser** → **Cabn+Ser-Hser** → **Ser+Cabn+Chl(+Ab)** периферия



Структуры и зональность рудоносных образований на орогенных месторождениях золота (Huajian Li et al., 2022)

Залегание рудных тел

Примеры разрезов через рудные тела.



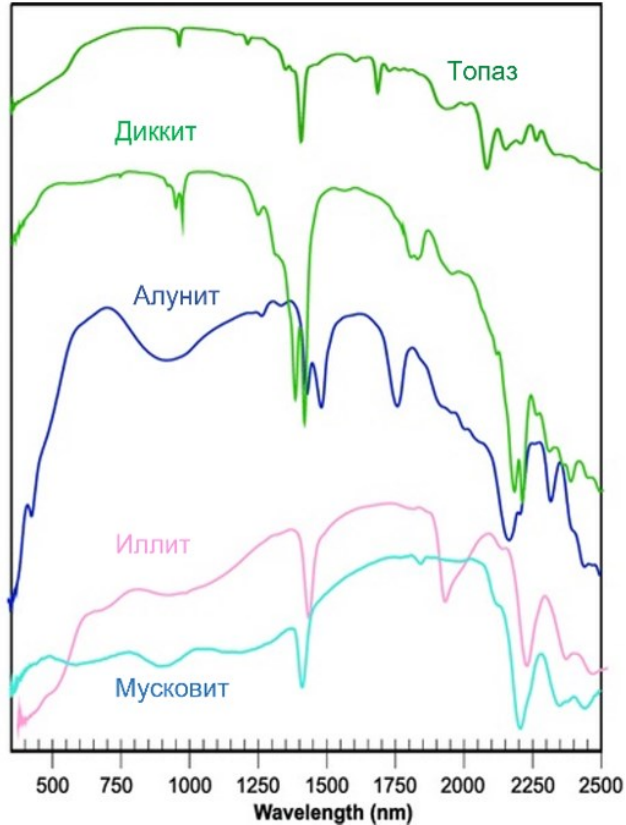
Методика работ

Объём: 6 рудных зон, 58 скважин, 12 292 пог. м. керна.

Методика: оперативная оптическая спектроскопия (ООС). TerraSpec 4 Hi-Res (ASD Inc. PANalytical NIR Center, США).

ПО «The Spectral Geologist» (Spectral Geoscience Pty Ltd, Австралия).

Минеральные группы библиотеки ПО TSG в диапазоне Vis-NIR-SWIR



Минералы группы SWIR (1300-2500 nm)					
Минералы Al (OH)		Минералы Mg (OH)			
Группа	Минерал	Группа	Минерал	Группа	Минерал
Светлые слюды	Мусковит	Темные слюды	Биотит	Карбонаты	Кальцит
	Фенгит		Флогопит		Доломит
	Парагонит	Хлориты	Хлорит-Fe	Анкерит	
	Мусковитовый илли́т		Хлорит-FeMg	Магнезит	
	Фенгитовый илли́т		Хлорит-Mg		Сидерит
	Парагонитовый илли́т	Амфиболы	Тремолит	Сульфаты	К алуни́т
Каолиниты	Каолинит WX		Актинолит		Na алуни́т
		Каолинит PX	Рибекит		NH алуни́т
	Диксит		Роговая обманка		Ярозит
	Накрит				Гипс
Смектиты	Монтмориллонит			Эпидоты	Эпидот
	Нонтронит				
	Магнезианльные глины			Турмалины	Турмалин
	Пальгорскит				
	Сапонит				
	Нонтронит				
Минералы группы Vis-NIR (320-1300 nm)					
Минералы группы оксида железа: гематит, гетит, ярозит, массивный магнетит					



Примеры эталонных спектров отражения OH-содержащих минералов (Жунёв и др., 2021).

Спектральная оценка минерального состава

Вероятностное присутствие минеральных видов (корреляция с эталонными спектрами).

MIN1_STSAS	WT1_STSAS	MIN2_STSAS	WT2_STSAS	MIN3_STSAS	WT3_STSAS	ERROR_STSAS	MIN1_STSASV	WT1_STSASV	MIN2_STSASV	WT2_STSASV	ERROR_STSASV
Kaolinite-PX	0.717	Zoisite	0.283	NULL	NULL	85.402	Goethite	1	NULL	NULL	412.09
Kaolinite-PX	0.606	Muscovite	0.394	NULL	NULL	84.412	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
Kaolinite-PX	0.571	Magnesite	0.429	NULL	NULL	167.21	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
Kaolinite-PX	0.713	Hornblende	0.287	NULL	NULL	89.464	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
Kaolinite-PX	0.533	Muscovite	0.467	NULL	NULL	73.452	Goethite	1	NULL	NULL	299.18
Montmorillonite	0.614	Kaolinite-PX	0.386	NULL	NULL	47.587	Goethite	1	NULL	NULL	224.6
Kaolinite-PX	0.768	Magnesite	0.232	NULL	NULL	90.868	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
Kaolinite-PX	0.66	Montmorillonite	0.34	NULL	NULL	84.947	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
Muscoviticillite	0.576	Kaolinite-PX	0.424	NULL	NULL	84.088	Goethite	1	NULL	NULL	411.02
Kaolinite-PX	0.808	Hornblende	0.192	NULL	NULL	116.31	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

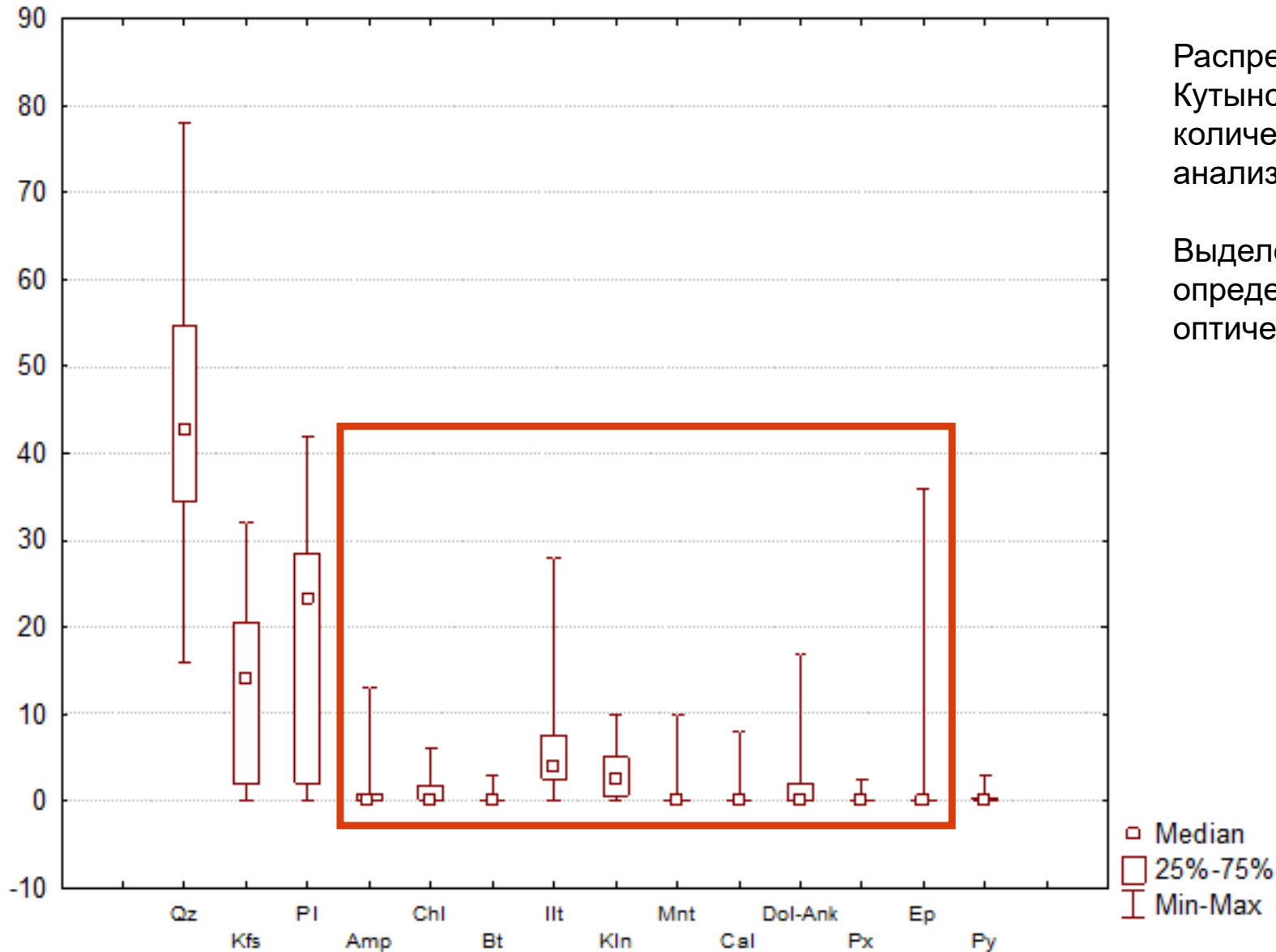
Породообразующие и рудные минералы, не имеющие спектральных признаков в измеряемой области:

- - - кварц, полевые шпаты, пирит, арсенопирит. - - -

Средний количественный минеральный состав метасоматизированных пород эндо- и экзоконтакта Биранджинского массива (% , рентгеновская дифракция, шлифы и аншлифы, всего 25 определений) →

Породы:	Песчаники			Гранодиориты		
	Мин	Медиана	Макс	Мин	Медиана	Макс
Qz	37.3	41.8	47.3	21	27	44
Kfs+Pl	2.5	5.65	16.5	2.7	30	45
Ser+Illt	12.7	26.25	41.1	5.5	12	18.2
Kln+Sme	0.3	4.55	11.1	0	0.01	16.8
Cabn	5	11	15.1	0	10.2	35
Bt	0	0	0.01	0	4	18
Chl	0	0	0.01	0	2	5
Amp	0	0	0.01	0	3	21
Tur	0	0	8	0	0	0.01
Gth+IHO	0.2	2.05	4.6	0	2.1	4
Jrs+Slft	0	0.2	1.5	0	0.01	1.2
Py+Mrc	0	0.51	2.4	0.1	0.2	2.1
Apy	0.3	0.725	2.2	0.1	0.2	0.65
Сумма		92.9			90.2	

Количественный рентгенофазовый анализ



Распределение минералов в породах Кутынского месторождения по данным количественного рентген-дифракционного анализа (РКФА).

Выделены минеральные виды, определяемые методом оперативной оптической спектроскопии.

Встречаемость минералов в спектрах

Присутствие наиболее распространённых минеральных групп по результатам замеров керна (всего 9360 спектров).

диапазон	минералов в группе	группа минералов	Код	всего спектров	доля спектров	то же, среди минеральных сигналов
КВ-ИК	6	светлые слюды	Wmca	5783	61.8%	71.5%
КВ-ИК	3	хлориты	Chl	4136	44.2%	51.2%
КВ-ИК	3	смектиты	Sme	1461	15.6%	18.1%
КВ-ИК	4	каолиниты	Knd	1012	10.8%	12.5%
КВ-ИК	5	карбонаты	Cabn	919	9.8%	11.4%
КВ-ИК	3	турмалины	Tur	376	4.0%	4.7%
КВ-ИК	3	амфиболы	Amp	232	2.5%	2.9%
КВ-ИК	2	эпидот-цоизит	Ep-Zo	144	1.5%	1.8%
КВ-ИК	1	биотит-флогопит	Bt-Phl	122	1.3%	1.5%
вид-БИК	1	гётит	Gth	1096	11.7%	13.6%

Примечания. КВ-ИК – коротковолновый инфракрасный, вид-БИК – видимый – ближний инфракрасный спектральные диапазоны. Светлые слюды включают в себя также соответствующие разновидности иллита.

Сходимость спектральных и дифракционных оценок

Образец	РКФА (минерал >30%)	РКФА (>10%)	ООС	HARD	Ит / РКФА	Wmca / ООС
к-004	Kln 38%, Ит 31% (Σ69%)	Dol-Ank 23%	Ms 100%	18% (Kln ≡ Ит ≡ Ms)	+	+ IC-пригоден
к-006	Ит 48%	Dol-Ank 28% Amp 17%	Ms-Ит 100%	35% (Ит) × Amp, × Dol-Ank	+	+ IC-пригоден
к-009	Amp 62% 29%		Ms 33%, Mg- 49%	× Amp 26%	■	+
к-010	Ит 62%, Chl 31% (Σ93%)		«неспектральный» замер; по керну – Mnt 52%, Bt 26%	9% (Ит ≡ Mnt) 9% (Bt ≡ Chl)	+	■
к-011	Kln 40% Cal 40%	Ит 15%	Kln-WX 100%	29% (Kln ≡ Ит) × Cal	+	■
к-012	Ит 38% Dol-Ank 34%	Kln 20%	Ms 64% Sd 36%	5% (Kln ≡ Ит ≡ Ms) 3% (карбонаты)	+	+
к-014	Ep 75% –	– Mnt 13%	Ep 46% и Rbk 28% или Phl 23% и Sd 57% Sap 27% или Mnt 21%	24% (Ep) 24% или 35%	■	■
к-015	Ит 93%		Ms 100%	4%	+	+
к-016	■ 42% Kln 33%	Ит 25%	FeMg- 70 или 53% Ms-Ит 30% или Ph-Ит 47%	12 или 25% 11 или 32%	+	+
к-020	Ит 96%		Ms-Ит 70%, Mnt 30% (Σ100%)	2% (Mnt ≡ Ит)	+	+
к-023	Kln 57%, Ит 29% (Σ86%) ■	Dol-Ank 14%	■ FeMg-Chl 100%	× (Kln ≡ Ит) –	+	■
к-024	Ит 88%	Kln 13%	Ph-Ит или Ph 100%	6% (Ит ≡ Ph)	+	+ IC-пригоден
к-025	Kln 33%, Ит 33% (Σ66%) Dol-Ank 33%		Ms-Ит 100% или – Sd – или 100%	21% или – – или 51% (карбонаты)	+	+
к-028	Kln 50% Bt 50%		Ms 24% Fe-Chl 76%	35% (Kln ≡ Ms) Bt ≡ Chl ?	■	+
к-030	Ит 30% – –	Kln 25% Dol-Ank 20% ■ 15%	Mnt 48%, Ms-Ит 33% (Σ81%) или Ms-Ит 65% Kln-WX 18% или – FeMg-Chl – или 35%	37-54% (Ит ≡ Mnt ≡ Kln) × Dol-Ank 40%	+	+
к-033	– Ит 40%	Amp 23% Kln 29%	FeMg-Chl 54% Ms 46%	× Amp 7% или 20% (Ит ≡ Ms)	+	+
к-035	Ит 50%, Kln 38% (Σ88%) –	Amp 13%	Ms-Ит 56% FeMg-Chl 45%	22% (Kln ≡ Ит) – (Amp ≡ Chl ?)	+	+
к-037	Bt 60% Kln 40%		Fe-Chl 60% (среднее по 2 замерам) Ms или Ms-Ит 40% (среднее по 2 замерам)	0% (Bt ≡ Chl ?) 0% (Ит ≡ Ms ≡ Kln)	■	+
к-039	Ит 65%	Cal 24% Dol-Ank 12%	Pg 52% (среднее по 2 замерам) Mnt 48% (среднее по 2 замерам)	13-21% (Mnt ≡ Ит ≡ Pg) × Cal, Dol-Ank	+	+
к-042	Mnt 44%, Ит 36% (Σ80%)	Kln 13%	Ms 100%	4 или 11% (Ит ≡ Mnt ≡ Ms)	+	+ IC-пригоден

IC (index of crystallinity) – показатель «кристалличности» иллита (см. слайд 11)

HARD (half absolute relative difference, «относительное значение половины абсолютного расхождения») - относительное линейное отклонение в паре измерений «рядовая проба – контрольная проба»

Надёжность спектрального определения хлорита

Хлорит избыточно определяется в спектрах ООС. Завышение приблизительно двукратное.

Образец	РКФА	ООС по образцам для РКФА (ООСр)	ООС по керну (ООСк)
к-009	Chl 29%	Mg-Chl 49%	Mg-Chl 74%
к-010	Chl 31%	«неспектральный» замер	– (Bt 26%)
к-016	Chl 42%	FeMg-Chl 70 или 53%	–
к-023	–	FeMg-Chl 100%	FeMg-Chl 77%
к-028	–	Fe-Chl 76%	Fe-Chl 32%
к-030	Chl 15%	FeMg-Chl – или 35%	FeMg-Chl 29%
к-033	–	FeMg-Chl 54%	FeMg-Chl 65%
к-035	–	FeMg-Chl 45%	–
к-037	–	Fe-Chl 60% (среднее по 2 замерам)	FeMg-Chl 48%

«Прямые» спектральные индексы: «кристалличность»

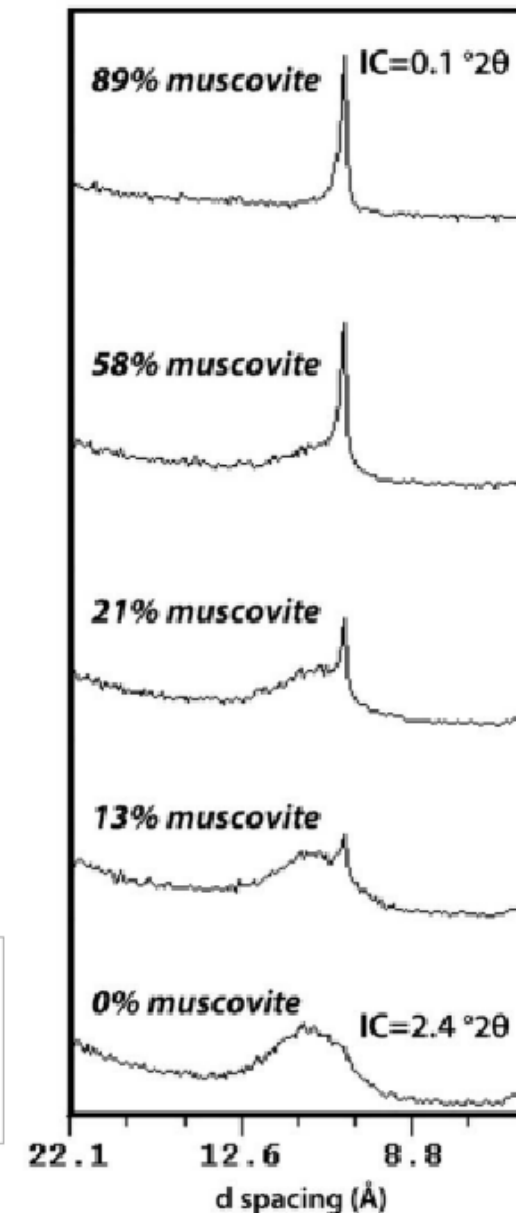
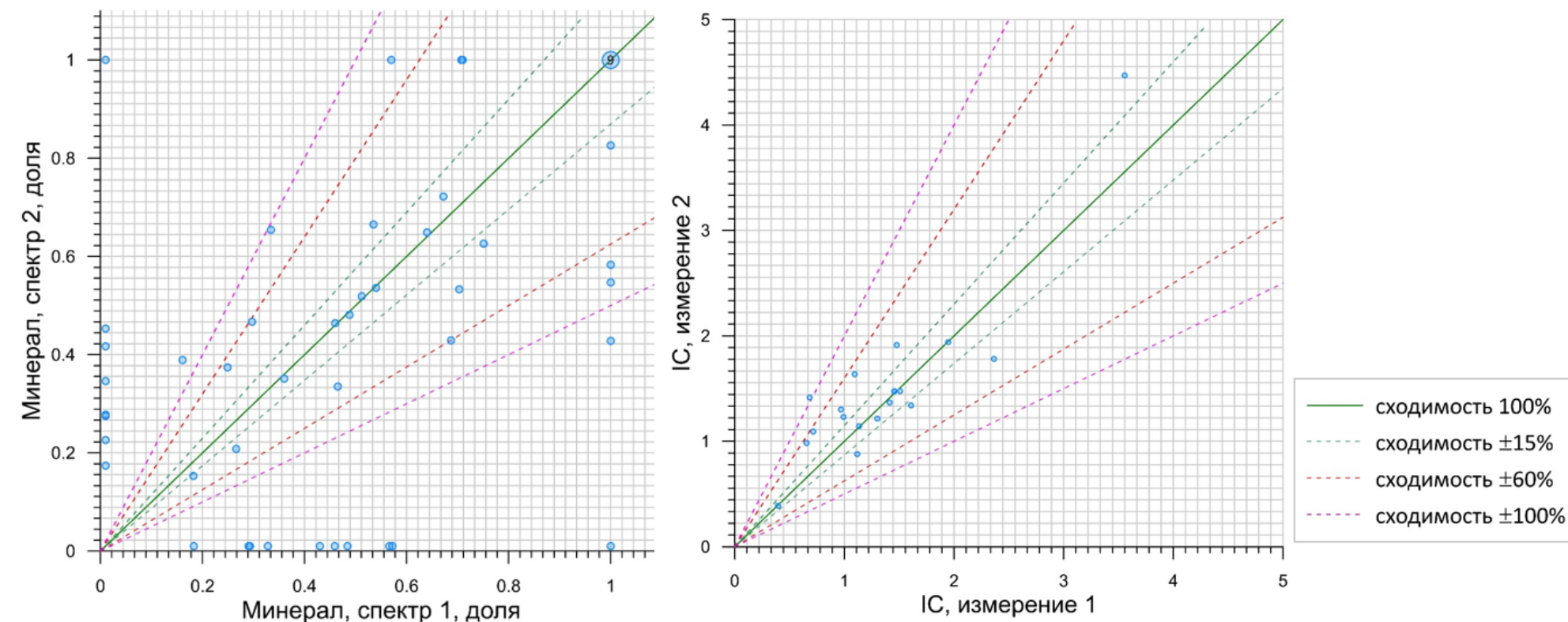
Показатели «кристалличности» светлых слюд (серицит-иллит) и каолинита.

IC – index of crystallinity (показатель «кристалличности» иллитовых слюд).

Изначально – измеряется как полуширина широкой полосы рефлекса иллитового 1-нм-слоя (уширение = иллитизация мусковита) (Verdel et al., 2011, рис. справа).

Аналогичное поведение спектральной полосы в ИК-диапазоне пересчитывается в IC.

Сходимость «прямого» показателя (IC) заметно выше «минеральных» сходимостей:



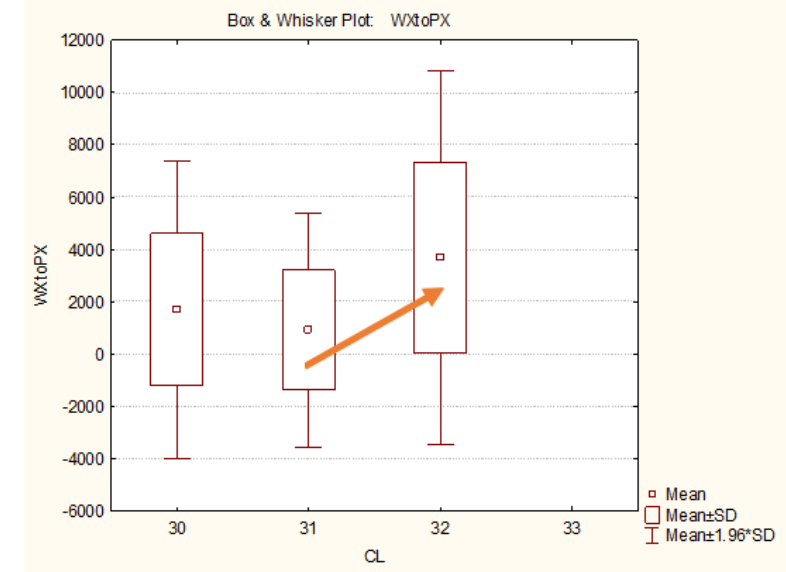
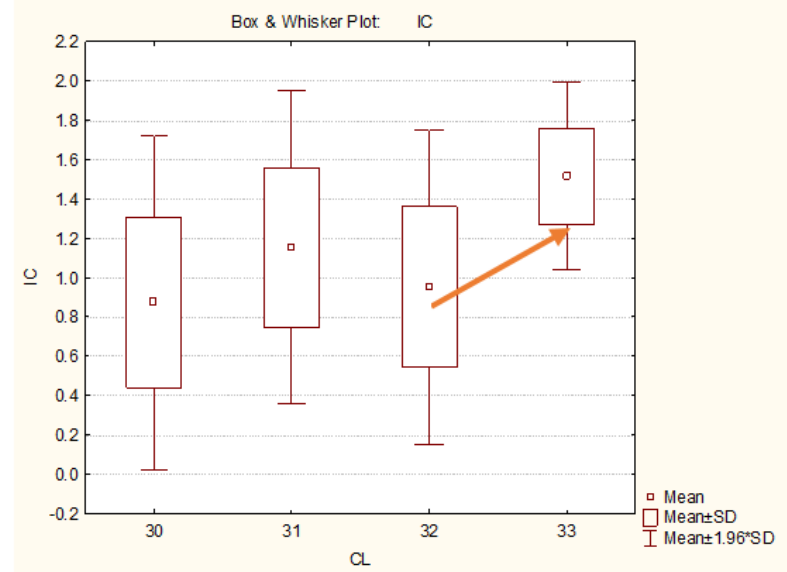
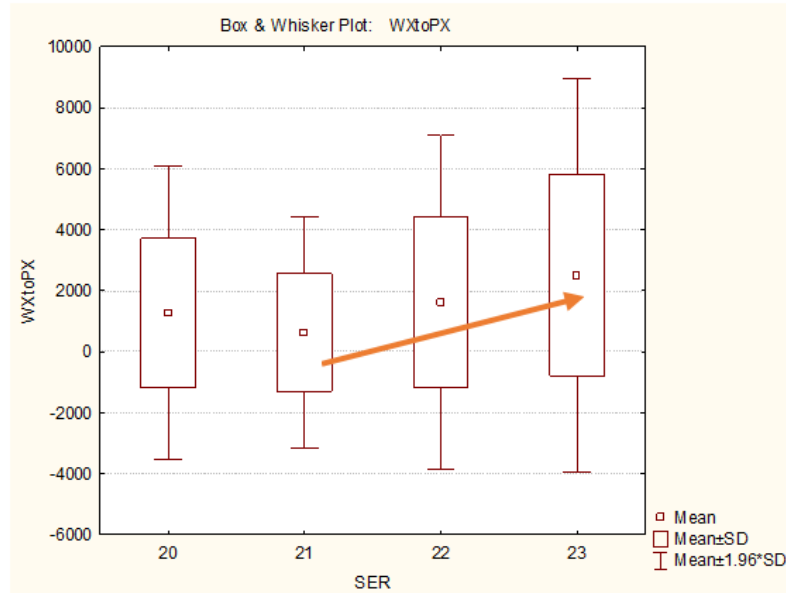
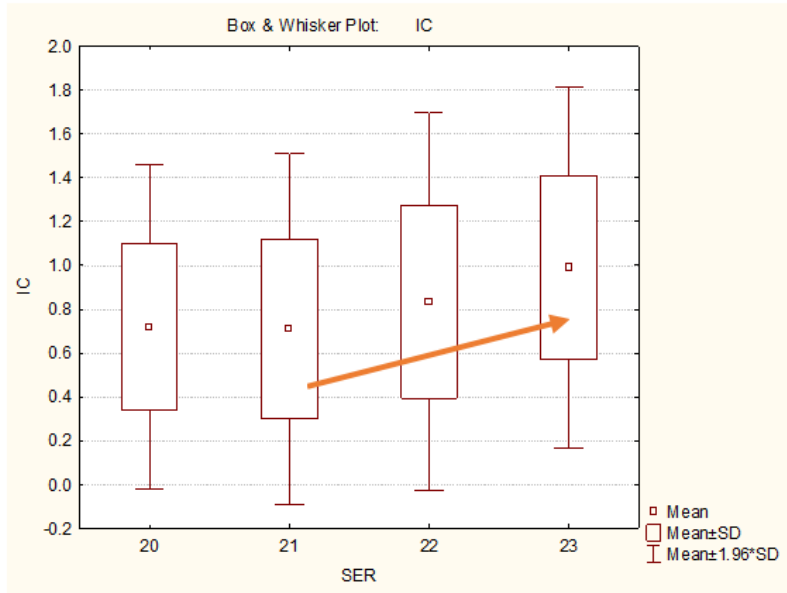
Минеральные показатели как векторы метасоматоза

Порода	Распространённость минералов, %	
	Неизменённая	Метасоматит
Андезит	Chl 59.2 ↑ Sme 27.9 ↑	Ms + Ms-Ilt 72.9 ↑ Ph + Ph-Ilt 17.6 ↑ Kln-WX 5.3 ↑
Ms-Ilt / Ms	–	0.63
Ms-Ilt + Ms / Chl	0.0	17.5 ↑
Kln-WX / Kln-PX	–	∞ ↑
<i>интервал, м</i>	78.6	9.5
Песчаник	Chl 46.0 ↑ Sme 20.4 ↑ Ms + Ms-Ilt 19.8	Ms + Ms-Ilt 52.1 ↑ Chl 31.2 Sme 5.7
Ms-Ilt / Ms	1.00	1.35 ↑
Ms-Ilt + Ms / Chl	0.4	1.7 ↑
Kln-WX / Kln-PX	0.18	2.00 ↑
<i>интервал, м</i>	4333.4	2038.1
Гранодиорит	Chl 50.8 ↑ Ms + Ms-Ilt 24.2 Sme 8.1 ↑	Ms + Ms-Ilt 52.2 ↑ Chl 30.6 Sme 6.4
Ms-Ilt / Ms	0.49	2.81 ↑
Ms-Ilt + Ms / Chl	0.5	1.7 ↑
Kln-WX / Kln-PX	0.13	2.13 ↑
<i>интервал, м</i>	4933.4	756.7
Гранодиорит-порфир	Chl 57.0 Ms + Ms-Ilt 22.2 Kln-PX 8.3 ↑	Chl 66.7 ↑ (слабо) Ms + Ms-Ilt 33.3 ↑
Ms-Ilt / Ms	2.33	–
Ms-Ilt + Ms / Chl	0.4	0.5 ↑
Kln-WX / Kln-PX	0.25	–
<i>интервал, м</i>	53.5	3

Вид изменений	Степень изменений	Проб	Встречаемость минерала в спектрах ООС, %				
			Ms	Ms-Ilt	Sme	Knd	Chl
Окварцевание	Высокая	33	45%	36%	12%	39%	6%
	Средняя	99	70%	47%	27%	30%	24%
	Низкая	2245	66%	43%	14%	14%	42%
	Любая	2377	66%	43%	15%	15%	41%
	отсутствует	5709	66%	28%	19%	11%	55%
«Серицитизация»	Высокая	3727	66%	46%	14%	13%	43%
	Средняя	1519	67%	23%	22%	8%	63%
	Низкая	2406	65%	19%	21%	13%	57%
	любая	7652	66%	33%	18%	12%	51%
	отсутствует	434	68%	28%	19%	15%	50%
«Хлоритизация»	Высокая	16	38%	38%	0%	0%	75%
	Средняя	109	83%	61%	16%	25%	45%
	Низкая	192	67%	38%	13%	13%	48%
	любая	317	71%	46%	13%	16%	49%
	отсутствует	7769	66%	32%	18%	12%	51%
«Ороговикование»	Высокая	40	90%	18%	10%	5%	83%
	Средняя	186	73%	17%	21%	7%	67%
	Низкая	225	74%	40%	7%	7%	66%
	любая	451	75%	28%	13%	7%	68%
	отсутствует	7635	65%	33%	18%	13%	50%

Примечания. Виды изменений приведены в соответствии с документацией керна. Полу жирным выделены изменения, при которых породе при описании керна присваивается обозначение «метасоматит» (высокая степень серицитизации, а также окварцевание и «хлоритизация»). Цветом выделены изменения встречаемости минералов относительно пород без признаков вторичных изменений данного вида, если они равны или превышают 5% (**красным** – увеличение, **синим** – уменьшение встречаемости минерала).

Серицитизация / хлоритизация vs кристалличность



Визуально диагностированные изменения:

SER – серицитизация (коды «2n»)

CL – хлоритизация (коды «3n»)

Соответствующие степени изменений (n):

23, 33 – высокая

22, 32 – средняя

21, 31 – низкая

20, 30 – изменения не зафиксированы

IC – индекс кристалличности $I_{lt} - M_s$

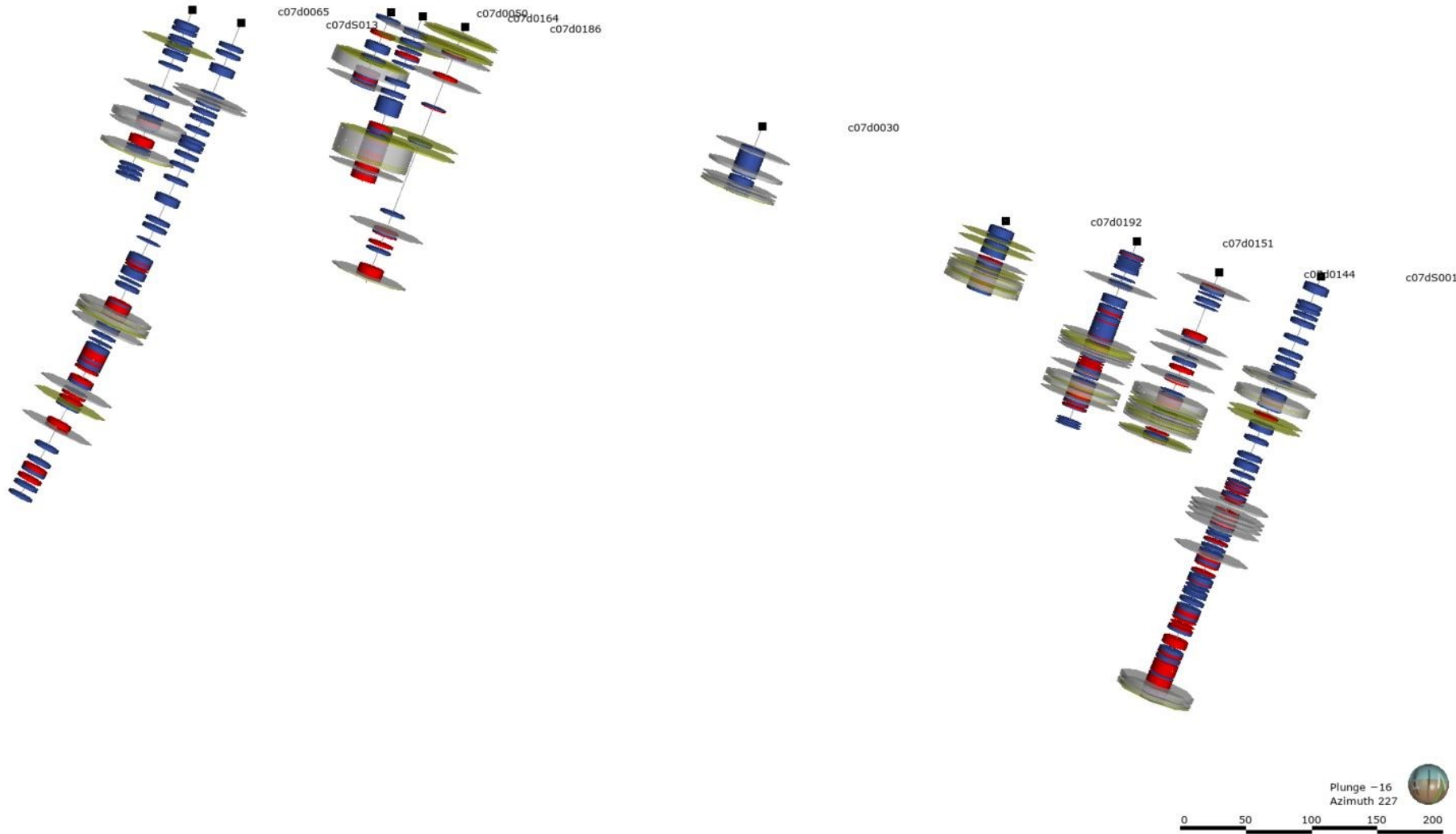
WXtoPX – отношение спектрального присутствия каолинита высокой кристалличности (WX) к каолиниту низкой кристалличности (PX)

Mean – среднее арифметическое

SD – стандартное отклонение

Индекс кристалличности иллита как рудный вектор

Пространственная корреляция IC и рудных содержаний.



Диски маленького диаметра:
синий цвет- IC <1;
красный цвет IC >1.

Диски большого диаметра:
зеленый цвет- Au <0.5;
серый – Au > 0.5.

Индекс кристалличности иллита как рудный вектор

Пространственная корреляция IC и рудных содержаний.

NUMBER	AREA	IDHOLE	AUint>3 (разрыв<=1м)	AUint found	AUint not found	эффективность
14	Geophysic	c03d3006	2	0	2	0%
2	Geophysic	c03d3024	2	2	0	100%
4	Geophysic	c03d3046	1	1	0	100%
1	Geophysic	c03d3059	1	1	0	100%
25	Geophysic	c03d3083	1	1	0	100%
26	Geophysic	c03d3086	2	2	0	100%
24	Geophysic	c03d3089	2	2	0	100%
15	Geophysic	c03d3201	5	5	0	100%
35	Geophysic	c03d3203	7	7	0	100%
33	Geophysic	c03d3231	2	2	0	100%
36	Geophysic	c03d3236	0	0	0	
48	Geophysic	c03dS035	4	4	0	100%
45	Geophysic	c03dS054	0	0	0	
52	Geophysic	c03dS064	2	0	2	0%
23	Perevalnaya	c04d2025	1	1	0	100%
32	Perevalnaya	c04d2065	2	2	0	100%
17	Rodnikovaya	c04d3021	1	1	0	100%
13	Rodnikovaya	c04d3028	4	4	0	100%
22	Rodnikovaya	c04d3030	3	3	0	100%
29	Rodnikovaya	c04d3033	2	2	0	100%
7	Rodnikovaya	c04d3080	2	2	0	100%
51	Rodnikovaya	c04dS052	2	2	0	100%
49	Perevalnaya	c04dS053	4	4	0	100%
47	Sedlovinnaya	c05d2017	4	4	0	100%
50	Sedlovinnaya	c05d2019	3	3	0	100%
46	Sedlovinnaya	c05d2020	0	0	0	
44	Sedlovinnaya	c05d2022	1	1	0	100%
40	Sedlovinnaya	c05d2029	2	2	0	100%
42	Sedlovinnaya	c05d2034	5	5	0	100%
38	Sedlovinnaya	c05d2055	1	1	0	100%
56	Sedlovinnaya	c05dS033	7	7	0	100%
54	Sedlovinnaya	c05dS051	12	12	0	100%
53	Sedlovinnaya	c05dS061	5	5	0	100%
39	Djuaty	c06d2818	0	0	0	
43	Djuaty	c06d2849	2	1	1	50%
11	Djuaty	c06d2854	2	2	0	100%
34	Djuaty	c06d2878	0	0	0	
16	Djuaty	c06d2884	3	3	0	100%
3	Djuaty	c06d2948	1	1	0	100%
12	Djuaty	c06d2949	2	2	0	100%
10	Djuaty	c06d2953	4	4	0	100%
55	Djuaty	c06dS021	2	2	0	100%

6	Delyinskaya	c07d0030	1	1	0	100%
9	Delyinskaya	c07d0050	1	1	0	100%
31	Delyinskaya	c07d0065	3	2	1	67%
30	Delyinskaya	c07d0144	3	3	0	100%
37	Delyinskaya	c07d0151	2	2	0	100%
28	Delyinskaya	c07d0164	5	5	0	100%
41	Delyinskaya	c07d0186	1	1	0	100%
18	Delyinskaya	c07d0190	1	1	0	100%
8	Delyinskaya	c07d0192	3	3	0	100%
19	Delyinskaya	c07d0197	2	2	0	100%
21	Delyinskaya	c07d0203	2	0	2	0%
27	Delyinskaya	c07d0231	2	2	0	100%
57	Delyinskaya	c07dS001	2	2	0	100%
58	Delyinskaya	c07dS013	1	1	0	100%
5	Rodnikovaya	c21d1382502	1	0	1	0%
20	Rodnikovaya	c21d5310504	3	3	0	100%
			141	132	9	94%

Выделение рудных интервалов по борту **3 г/т Au**.

Минимальное граничное значение **IC = 0.85**.

Эффективность – процент попадания рудных интервалов в десятиметровую «зону влияния» IC.

Выводы

1. Минералогическая зональность на Кутынском м-и может рассматриваться в рамках модели эпизонального орогенного месторождения.
2. Главный вектор изменений – иллитизация/аргиллизация. Метасоматоз экзо- и эндоконтакта различаются количественно.
3. Лучше воспроизводится не мономинеральное картирование, а картирование по группам минералов или по «прямым» спектральным показателям. Информативны светлые слюды и глинистые минералы. Показатель IC наиболее объективен.
4. Хлорит определяется «качественно», он характерен для менее изменённых пород, как и смектиты. Явного вектора «от руды» хлорит не демонстрирует.
5. «Кристалличность» каолинита (отношение $Kln-WX / Kln-PX$) от неизменённых пород к метасоматитам растёт в 11-17 раз.
6. Полевая диагностика пород как «метасоматитов» недостаточно надёжна, в отличие от балльной оценки степени изменений (серицитизация и др.). Целесообразно перекодирование интервалов и ориентировка на спектральное присутствие иллита.
7. Индексы кристалличности, будучи оперативно измеряемыми, являются единственными выявленными перспективными векторами на золотое оруденение на Кутынском месторождении. Количественная оценка их эффективности должна быть уточнена. Ранняя стадия работ! Слепое оруденение – потенциально, но требуется заверка.

Использованные аббревиатуры минералов и их групп

Ab – альбит	Pg – парагонит
Amp – амфибол	Ph – фенгит
An – анортит	Ph-Ilт – фенгитовый иллит
Ank – анкерит	Phl – флогопит
Apy – арсенопирит	Pl – плагиоклаз
Bt – биотит	Po – пирротин
Calc – карбонаты	Prh – пренит
Cal, Cc – кальцит	Px – пироксен
Dol – доломит	Py – пирит
Ep – эпидот	Rbk – рибекит
Hbl – роговая обманка	Qz, Q – кварц
Chl – хлорит (Fe-Chl = железистый, FeMg-Chl = железо-магнезиальный, Mg-Chl = магнезиальный)	Sap – сапонит
Chr – хромит	Sd – сидерит
Gr – графит	Ser – серицит
Grt – гранат	Sift – сульфаты
Gth – гётит	Sme – смектит
Hem – гематит	Sp – сфалерит
Hser – гидросерицит	Tur – турмалин
HO – гидроксиды железа	Wmca – светлая слюда
Ilm – ильменит	Zo – цоизит
Ilт – иллит	Zrn – циркон
Jrs – ярозит	
Kln – каолинит (PX = низкой кристалличности, WX = высокой кристалличности)	
Kind – кандит	
Kfs – калишпат	
Mag – магнетит	
Mgs – магнезит	
Mrc – марказит	
Mnt – монтмориллонит	
Ms, Mus – мусковит	
Ms-Ilт – мусковитовый иллит	

Спасибо за внимание!

М.В. Морозов (АО «Полиметалл УК», Санкт-Петербургский государственный университет)

А.В. Саранчин (ФГБУ «ВИМС»)

А.И. Несмеянова (ФГБУ «ВИМС»)

А.В. Иоспа (ФГБУ «ВИМС»)

Н.Е. Уткина (АО «Полиметалл УК»)

