ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

Особенности применения мультиспектральных космических снимков для выявления рудных объектов в условиях субарктических ландшафтов

Усанова Олеся Игоревна[1], Читалин Андрей Фёдорович[2], Илюшина Полина Геннадьевна[3]

1, 2 – ООО «ИГТ-сервис»
3 – ООО «ИГТ-Скай Групп»

o.usanova@igeotech.ru

14-16 мая 2025 года

VIII Геолого-геофизическая конференция и выставка

GeoEurasia 2025

ГеоЕвразия-2025
Геологоразведочные технологии: наука и бизнес

Москва

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

Общественный совет при Роснедрах

МГРИ

Отделение наук о Земле

info@gece.moscow
www.gece.moscow

Цели и задачи

Цель работы: поиск потенциально перспективных рудных объектов в субарктической зоне Дальневосточного федерального округа по данным мультиспектральных снимков ASTER

Задачи:

- Обработка открытых данных мультиспектральных снимков ASTER с целью получения *единой мозаики* на территорию работ;
- Корректировка мозаики дополнительными *масками*;
- Решение методических проблем, связанных с используемыми картографическими материалами;
- Подбор *методики расчёта спектральных индексов* минералов, выделенных на основе полученной мозаики, уверенно маркирующих зоны распространения метасоматитов;
- Анализ спектральных индексов минералов *по территориям месторождений-эталонов* (для разных генетических типов месторождений) с целью выявления индексов, подходящих для прогноза околорудных метасоматитов;
- Анализ спектральных индексов минералов на всей территории работы *с целью поиска потенциальных перспективных рудных объектов.*

Общая характеристика мозаики

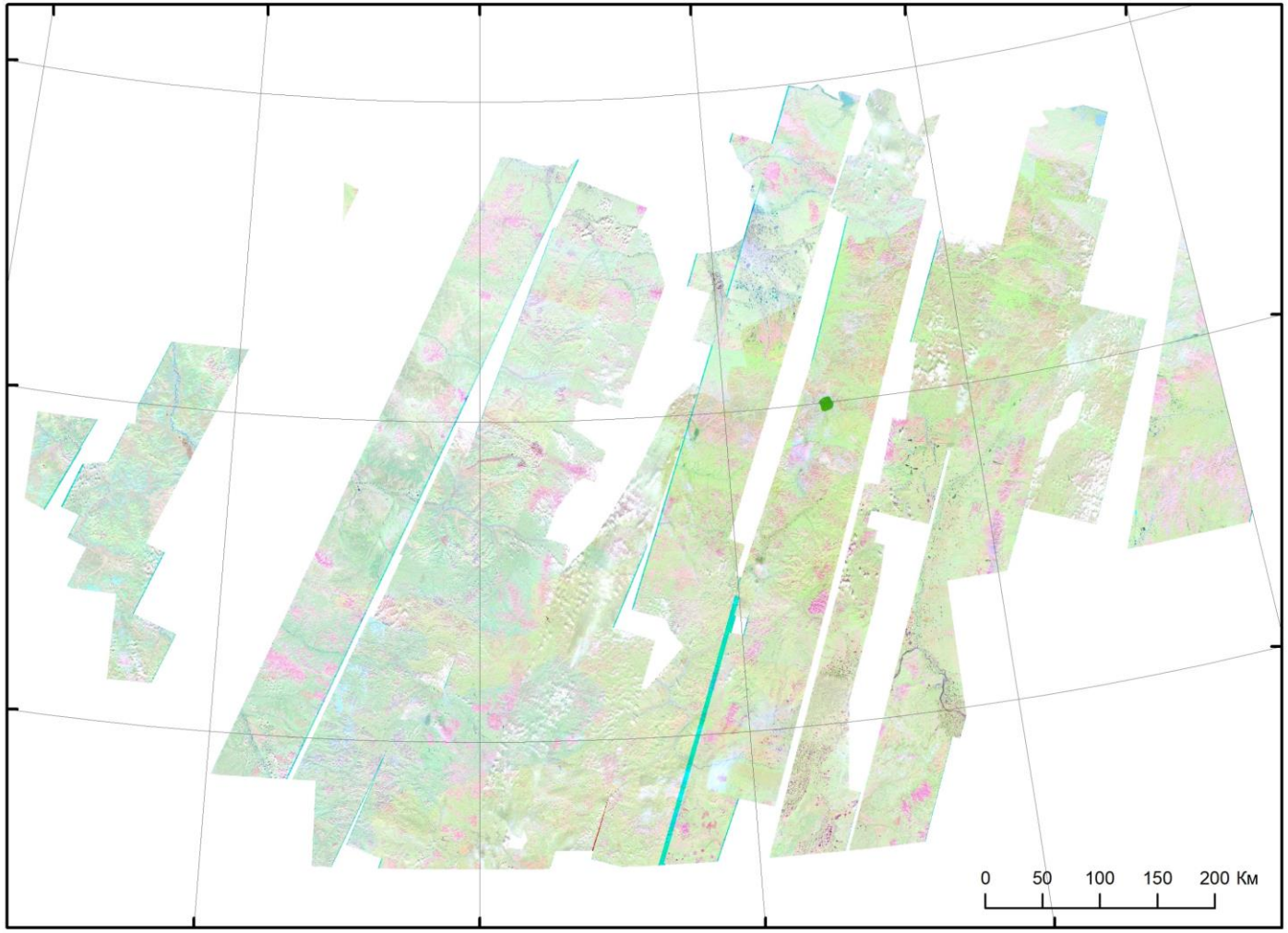


Рис. 1. Единая мозаика по территории работ в комбинации каналов ASTER 6-3-1

- Площадь работ – 600 000 км^2;
- Район работ – субарктические территории Дальневосточного федерального округа;
- Целью проекта был поиск рудных месторождений по спектральным характеристикам околорудных метасоматитов, для чего требовалось получить единую мозаику по данным мультиспектральных снимков ASTER;
- Для получения такой мозаики использовались процедуры радиометрической обработки и атмосферной коррекции.

Маскирование

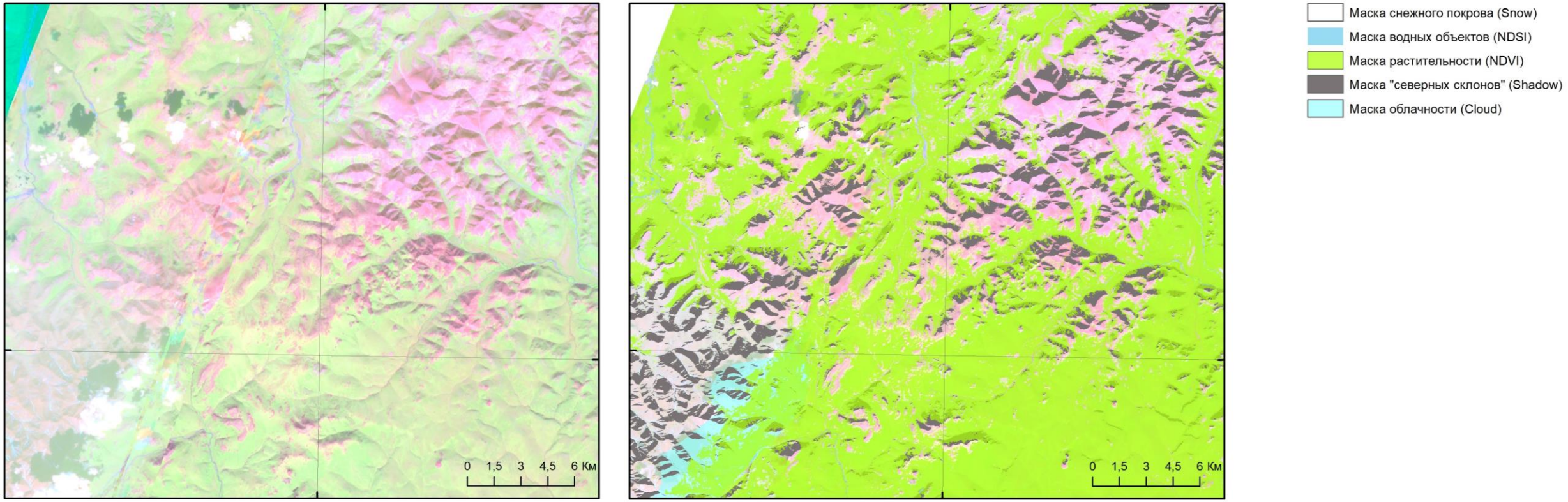


Рис. 2. Пример применения различных масок

Методические проблемы использования картографических материалов

Работа с ГГК-200:

- Было использовано порядка 80 комплектов листов ГГК-200;

Основные проблемы:

- Неполнота покрытия;
- Разные системы условных знаков;
- Разные подходы к картированию смежных листов;
- Плохо понятно, выходят ли на поверхность (=видны ли на спутниковом снимке) те или иные откартированные геологические тела.

Работа с крупномасштабными картами месторождений-эталонов:

- В работе было проанализировано 13 месторождений-эталонов;

Основные проблемы:

- Разные системы координат в картах;
- Разные системы условных знаков;
- Часть материалов секретна или недоступна по другим причинам;
- Данные по разным эталонам находятся в разном состоянии, тяжело корректно сравнить их между собой из-за разницы полноты материалов.

Разработка методики (работа с библиотеками USGS) (1)

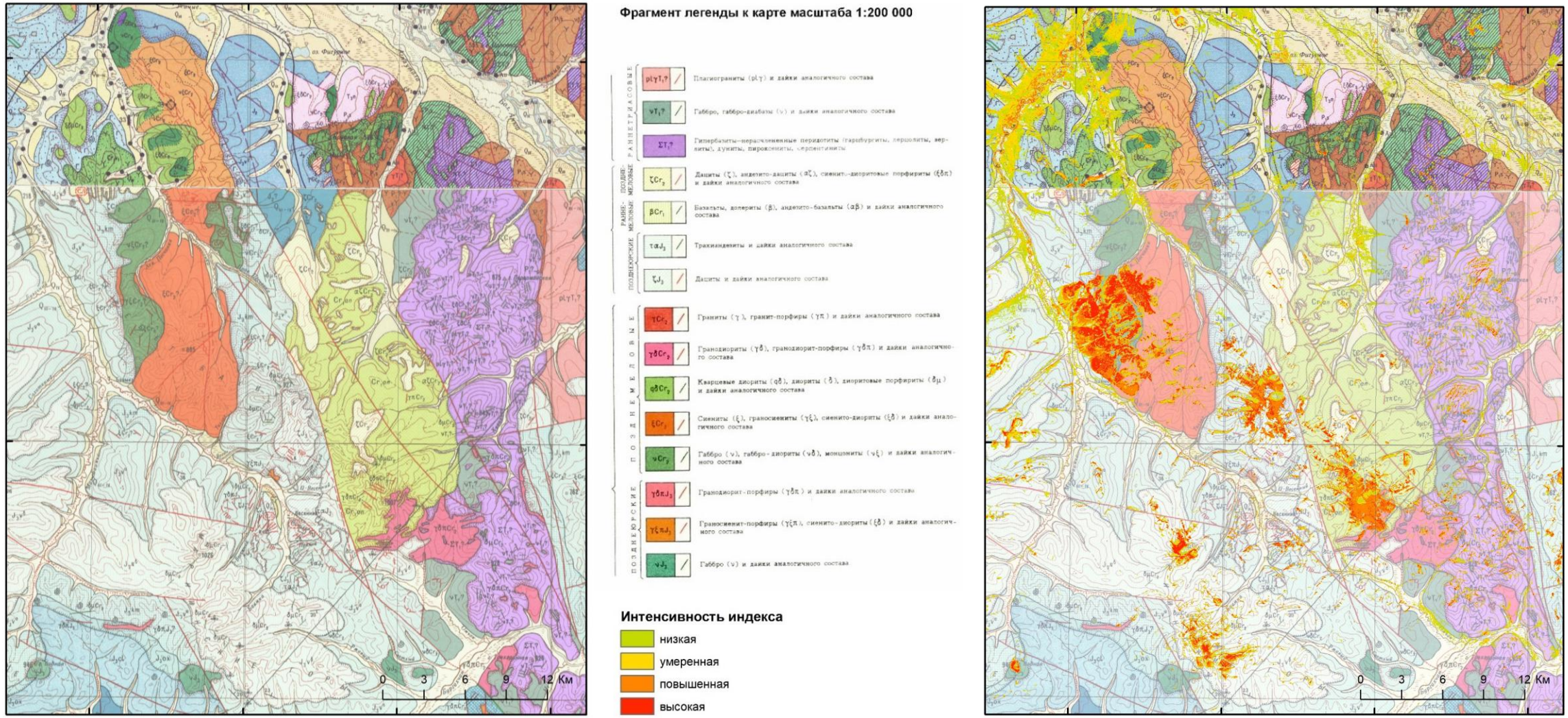


Рис. 3.Фрагмент листов геологической карты масштаба 1:200 000

Рис. 4. Индекс S07ASTER_Limestone_CU02-11A_ASDFRa_AREF

Разработка методики (работа с библиотеками USGS) (2)

Рис. 5. Индекс Kaol.5+MuscCU91-250A_ AMX13_ASDNGb_AREF

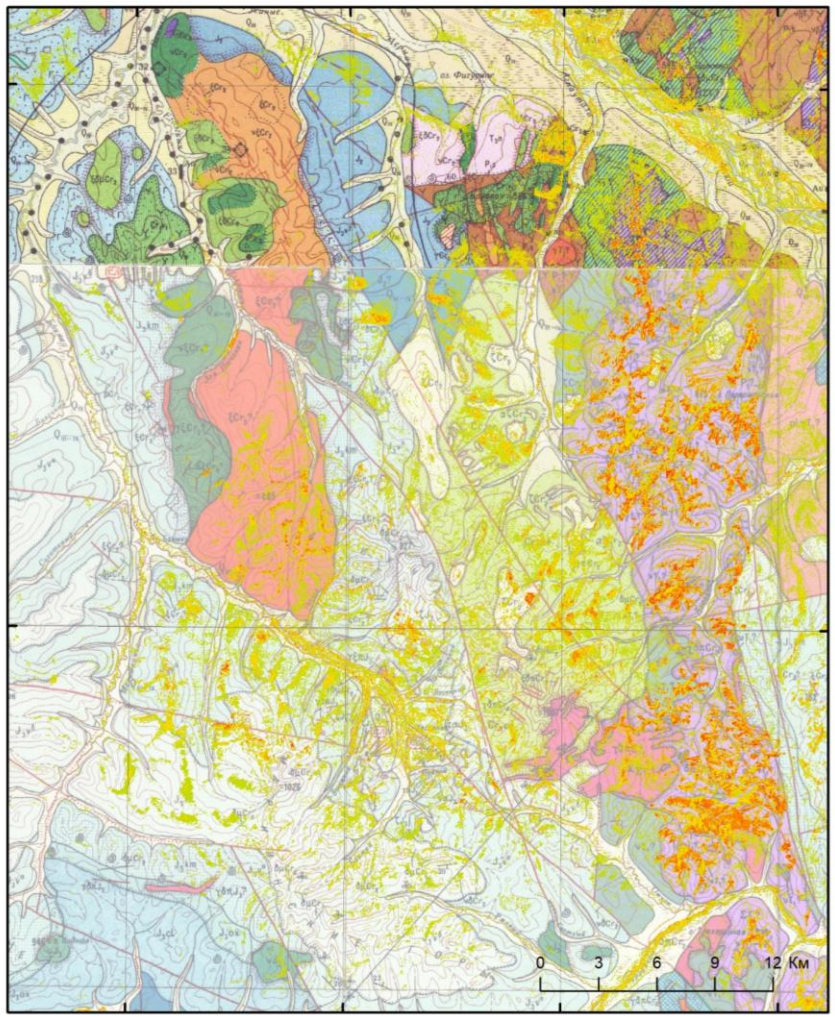


Рис. 6. Индекс S07ASTER_Calcite_ HS48.3B_BECKa_AREF

Интенсивность индекса

- низкая
- умеренная
- повышенная
- высокая

Разработка методики (расчёт спектральных индексов)

Спутник	Минеральная группа	Индекс (сокращение)	Индекс (расшифровка)
ASTER	**Аргиллизитовые**	AlKaolPyr	Индекс алунита/каолинита/пирофиллита
		Kaolinitic	Индекс каолинита
	Глинистый	Clay	Индекс глинистых минералов
	Филлизитовые	Muscovite	Индекс мусковита
		Phengitic	Индекс фенгита
		Ser/Musc/Il/Sm	Индекс серицита/мусковита/иллита/смектита
	Кремнистые	BDI SiO2	Индекс базового содержания оксида кремния
		Siliceous Rock	Индекс кремнистых пород
		QRR	Индекс обогащённых кварцем пород
		SiO2	Индекс оксида кремния
	Карбонатные	Carbonate	Индекс карбонатов
		Dolomite	Индекс доломита
	Пропилитовые	Amphibole	Индекс амфибола
		Amphibole/MgOH	Индекс амфибола/гидроксида магния
		Carb/Chl/Ep	Индекс карбоната/хлорита/эпидота
		Ep/Chl/Amph	Индекс эпидота/хлорита/амфибола
	Железистые	Ferric Oxides	Индекс оксидов трёхвалентного (окисного) железа, индекс Fe_2O_3
		Ferrous Iron	Индекс двухвалентного (закисного) железа, индекс Fe^{2+}
		Ferric Iron 3+	Индекс трёхвалентного (окисного) железа, индекс Fe^{3+}
		Ferrous Silicates	Индекс железистых силикатов
		Laterite	Индекс латерита
		Ferric Hydroxides	Индекс гидроксидов железа

Табл.1. Используемые индексы ASTER, распределённые по минеральным группам

Работа с месторождениями-эталонами

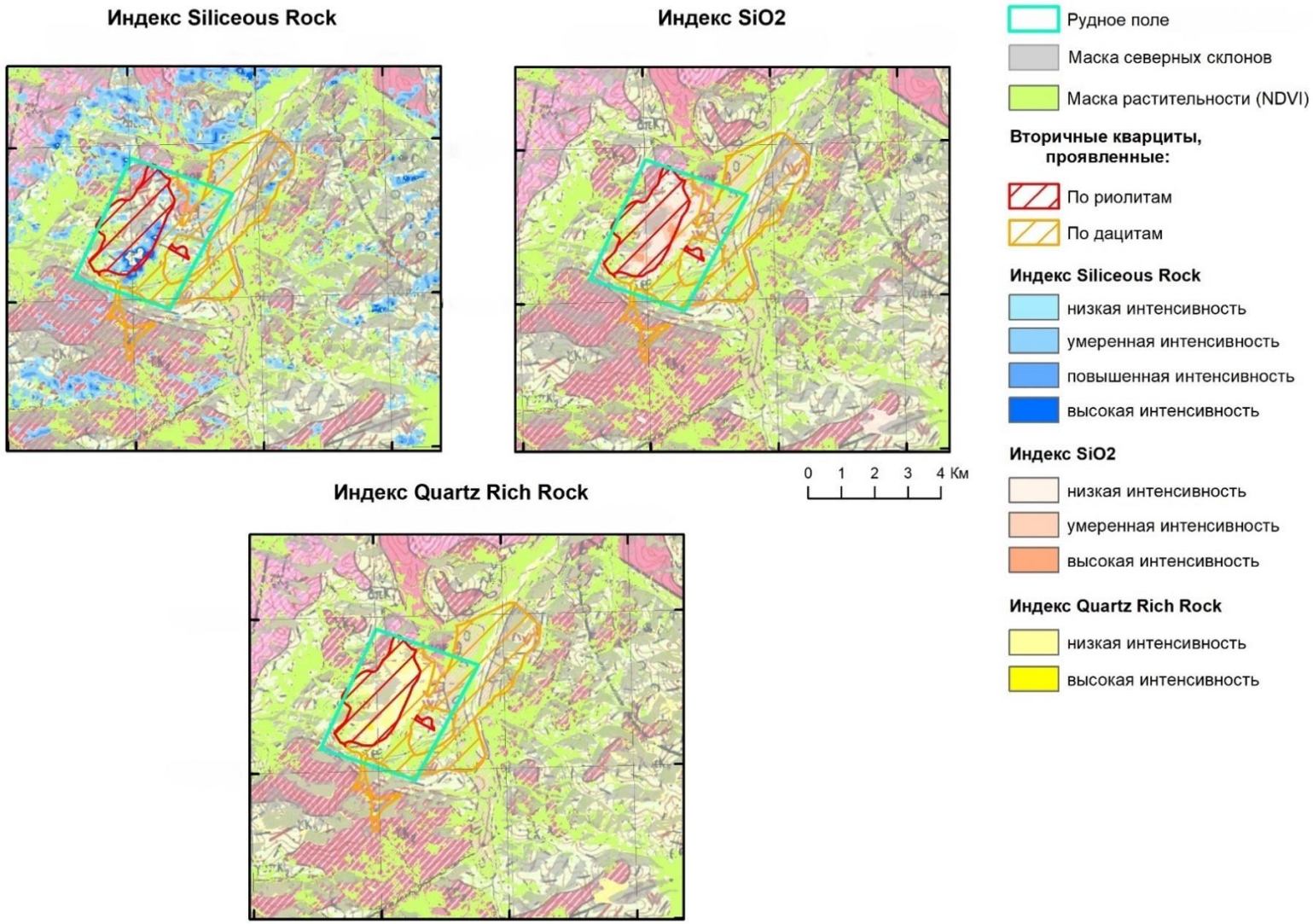


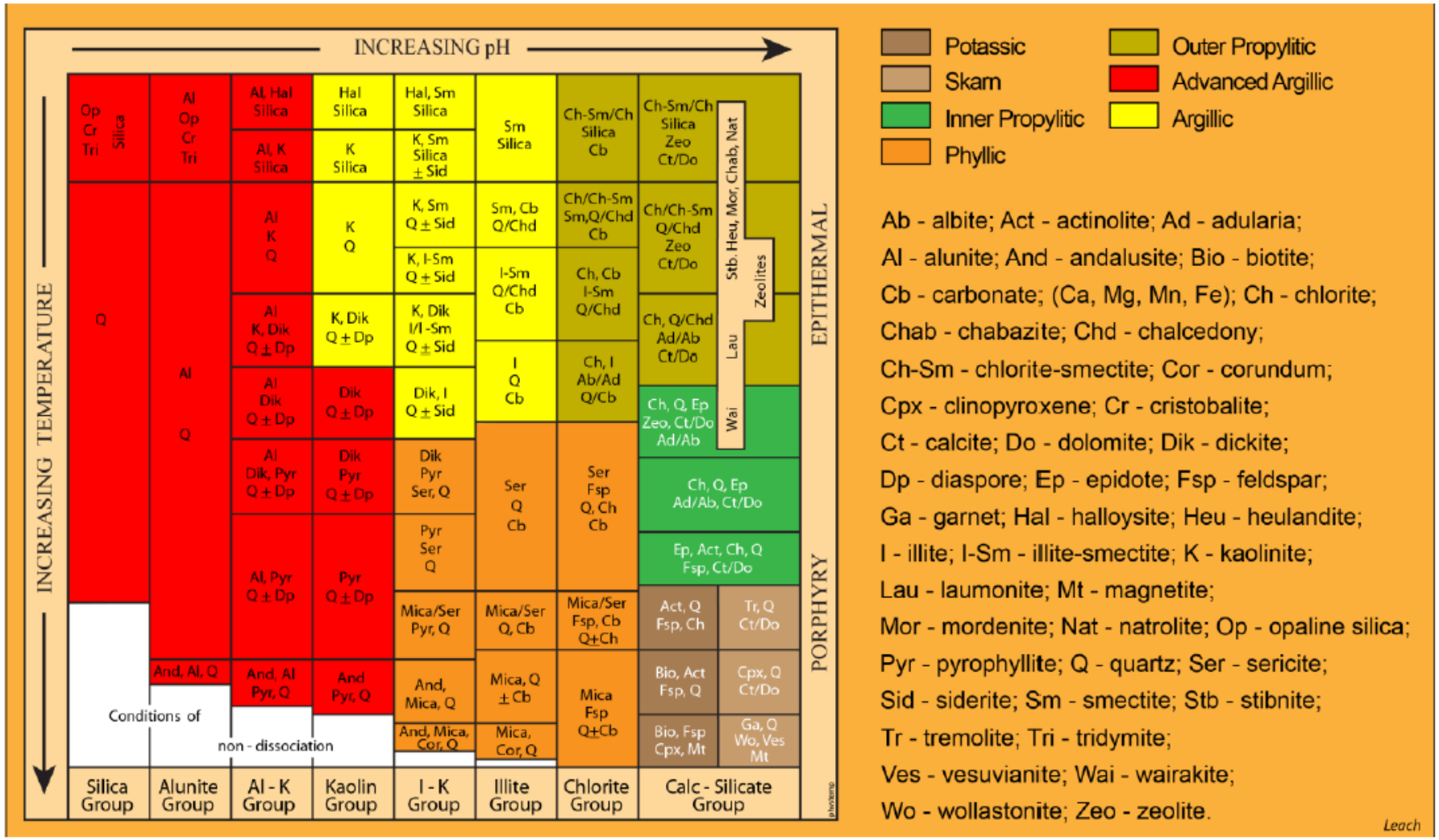
Рис. 7. Распределение индексов кремнистой группы на территории месторождения-эталона эпитермального HS-типа.

Работа с месторождениями-эталонами

Тип	Эталон	Степень обнажённости	Количество сработавших индексов ASTER				
			Неприменимые	Ограниченно применимые	Неоднозначное срабатывание	Применимые	Всего индексов проявлено
Медно-порфировые	1	10-20%	1	5	6	0	12
	2	50-60%	1	3	2	2	8
	3	25%	9	1	0	4	14
Эпитермальные LS	4	70-80%	нет покрытия ASTER				0
	5	более 90%	8	5	1	0	14
	6	25%	10	0	7	0	17
Эпитермальные HS	7	40%	6	3	0	6	15
	8	50%	7	2	2	2	13
	9	70-75%	5	0	9	5	19
Малосульф Au-Q	10	До 80% в СВ части, до 20% в 3 части	7	0	0	0	7
	11	до 20%	6	1	2	0	9
Прочие	12	60%	4	5	2	5	16
	13	60%	5	1	3	0	9

Табл.2. Количество сработавших индексов ASTER в зависимости от типа и степени обнажённости эталона

Разработка методики (сопоставление минеральных индексов и метасоматитов)

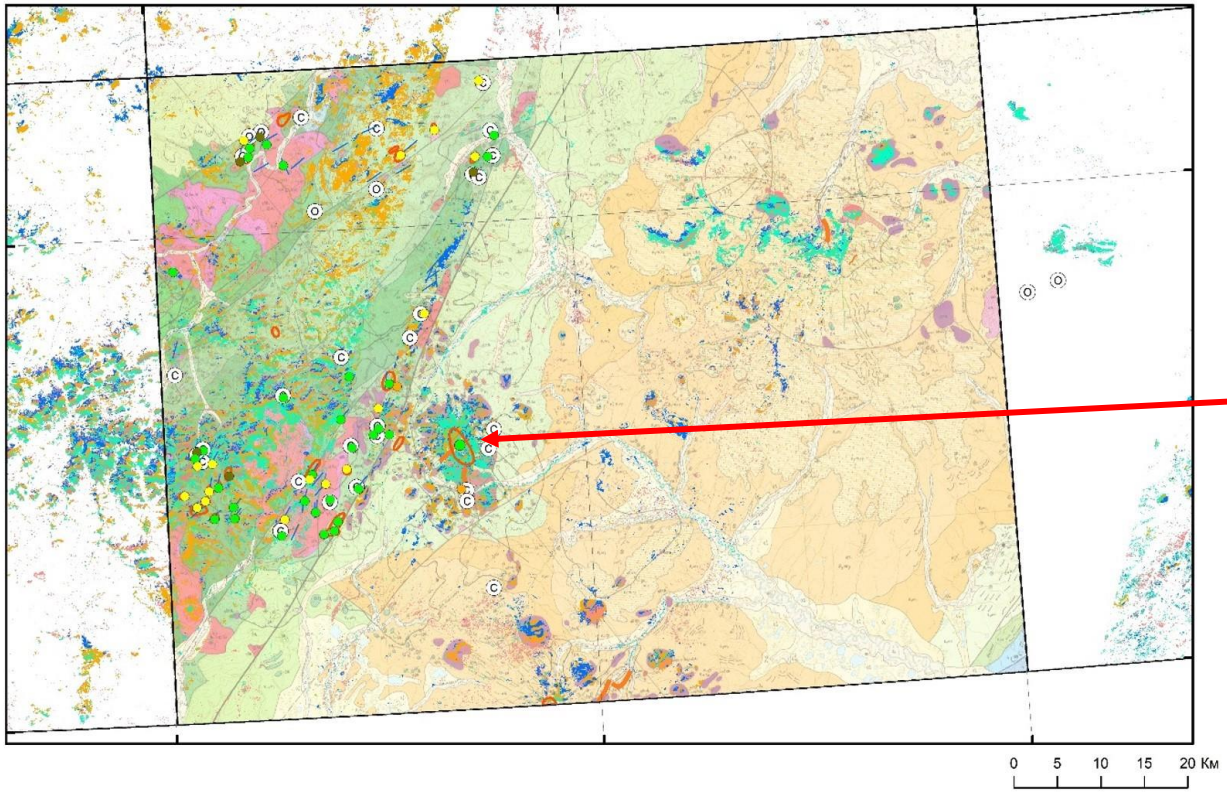


Переход от минеральных групп индексов к зонам метасоматических изменений:

- Аргиллизитовые и глинистые минералы → зоны выветривания по краям областей метасоматизации;
- Филлизитовые минералы → низкотемпературные зоны распространения слюд;
- Кремнистые минералы → зоны распространения вторичных кварцитов, окварцевания;
- Железистые минералы → оксиды и гидроксиды зон окисления.

Рис. 8. Классификация околорудных метасоматитов в координатах «кислотность (pH) - температура» (Corbett and Leach, 1998)

Дальнейшее направление работы



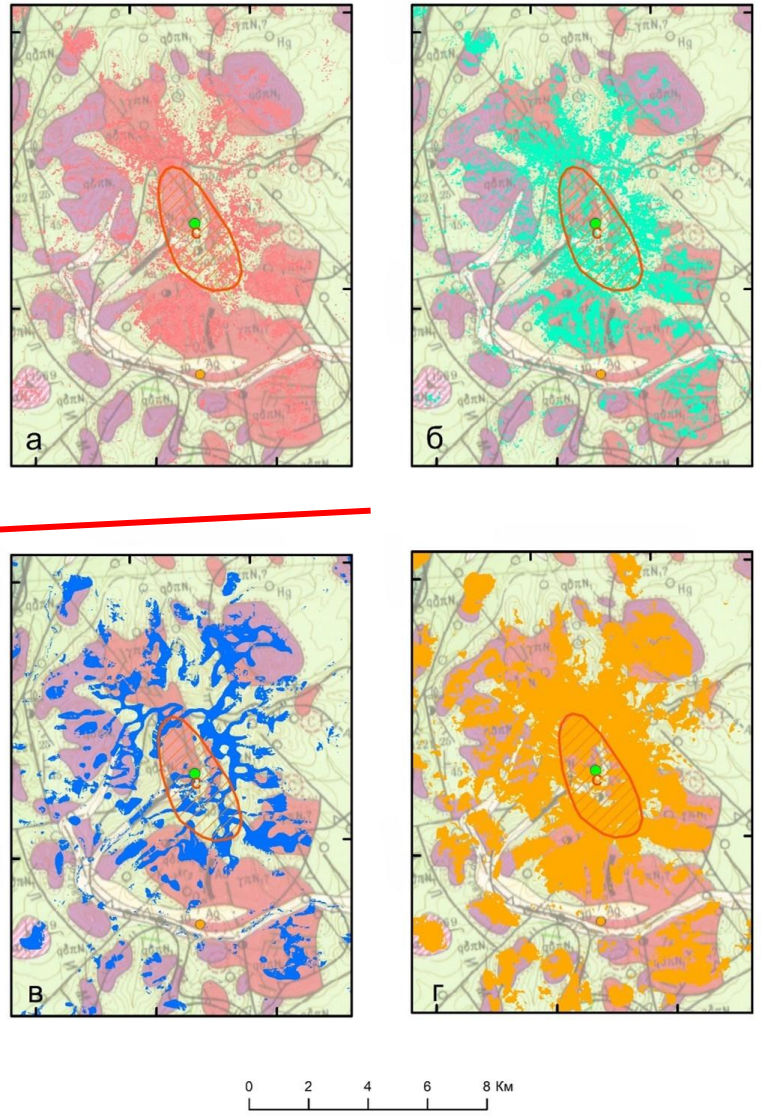


Рис. 9. Группы спектральных индексов на геологической карте масштаба 1:200 000 (рудное поле)

Общие рекомендации и выводы

По итогам проведённой работы рекомендуем:

- При выборе методики работы со спектральными сигналами опираться на характеристику территории;
- В качестве пробного участка выбирать участок с относительно небольшой площадью, хорошей изученностью и высокой степенью обнаженности;
- Пробовать разные методы обработки спутниковых данных, пробовать разные данные;
- Крайне желательно проводить заверочный полевой этап на реальных объектах.

Картирование медно-порфировой системы на Аляске

Рис. 10. Геологическая карта

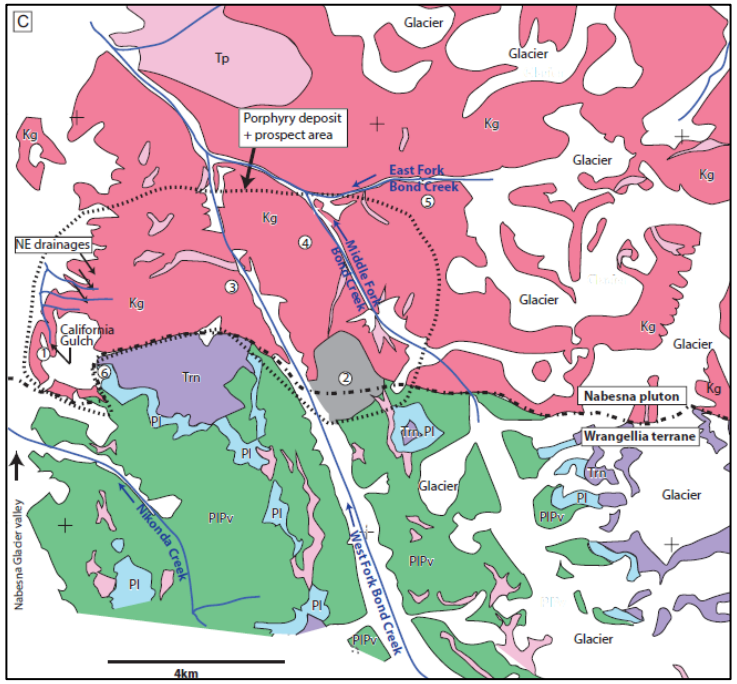


Рис. 11. Карта спектральных индексов (аэроспектрометрия)

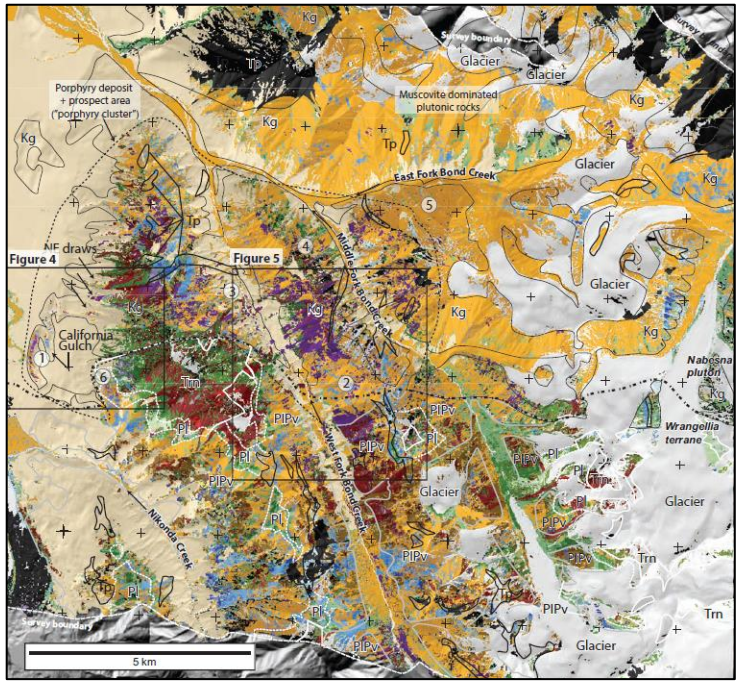
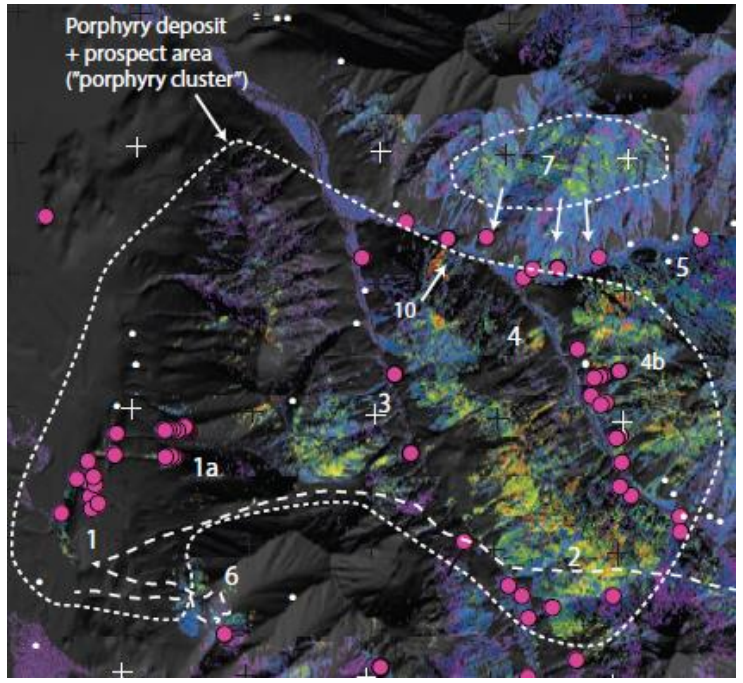
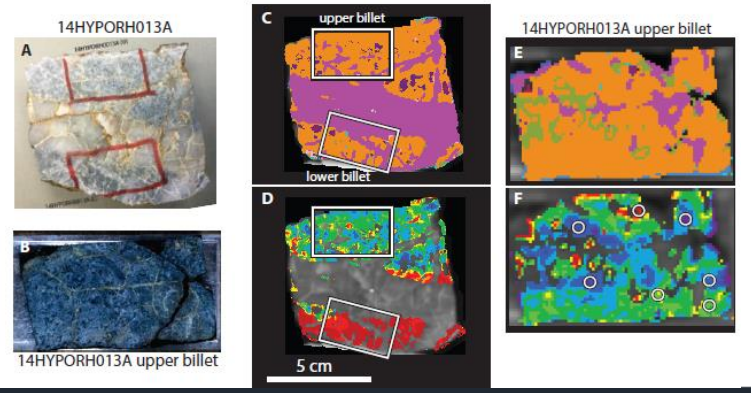


Рис. 12. Выделение зональности системы по спектрам длинноволнового поглощения Al-OH 2200 Нм (белой слюды в филлизитах)



На рис. 10-13 представлен полный спектр работ по картированию медно-порфировой системы (Аляска) (Graham et al., 2018).

Рис. 13. Спектрометрия образцов



Заключение

Ключевые особенности использования материалов ДЗЗ

- **Анализ геологической и ландшафтной обстановки** проявления мультиспектральных аномалий является обязательным условием результативного использования материалов ДЗЗ. Этот анализ выполняется только опытным геологом-экспертом.
- **Геологически обоснованная интерпретация** мультиспектральных данных «без фантазий». Отсутствие геологического контроля может привести как к пропуску рудного объекта, так и к появлению несуществующих рудных объектов (иллюзии).
- **Предположительный, вероятностный характер** выделения околорудных метасоматитов по спектральным индексам: аномалии одних и тех же спектральных индексов могут иметь различное происхождение; далеко не всегда устанавливается их однозначная связь с околорудными метасоматитами.
- **Окончательная интерпретация** спектральных аномалий должна выполняться с учетом полевой заверки, включающей структурные наблюдения и измерения спектральных характеристик минералов, образующих аномалии.
- Понимание ограничений метода: **низкая эффективность или неприменимость** мультиспектрального анализа в некоторых регионах на залесенных и тундровых ландшафтах.