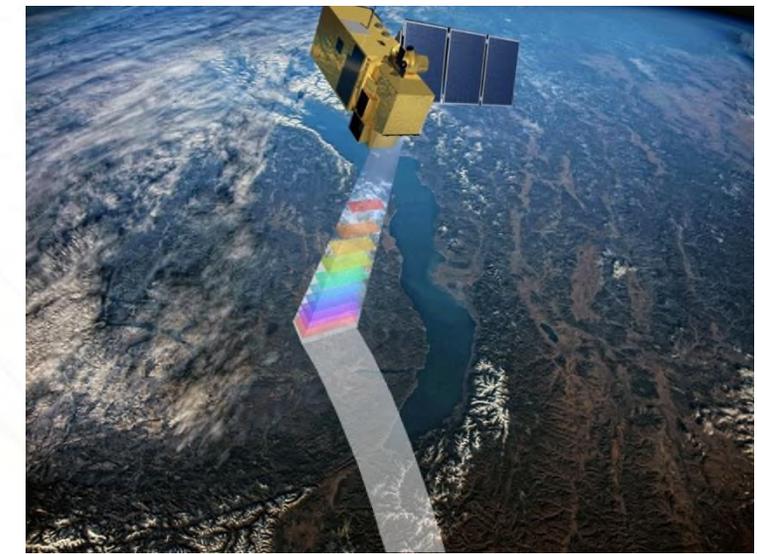




ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А. П. КАРПИНСКОГО

**Новые технологические решения использования
гиперспектральных данных для обнаружения
гидротермально-метасоматических пород как
индикаторов полезных ископаемых**

Курсанов А.А., Липияйнен К.Л., Смирнов М.Ю., Курсанов Г.А. (Институт Карпинского)

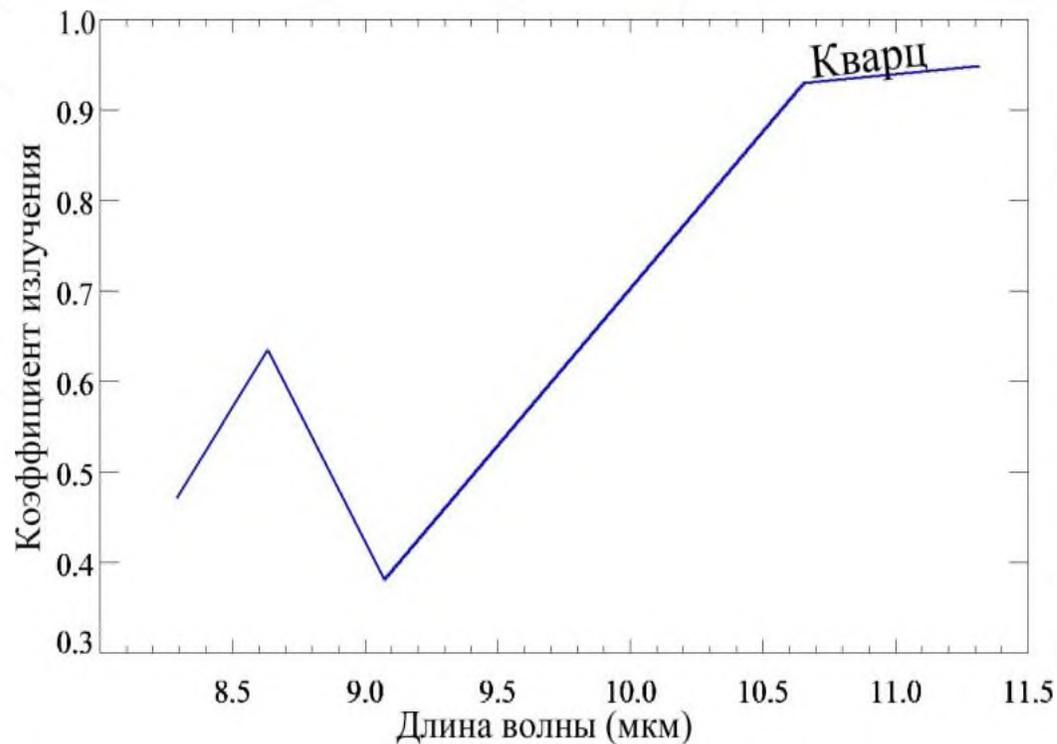


Необходимость повышения прогнозно-поисковой эффективности региональных геологических работ с целью пополнения фонда перспективных объектов определяет актуальность проведения исследований с использованием новых источников геологической информации, в том числе, гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) нового поколения.

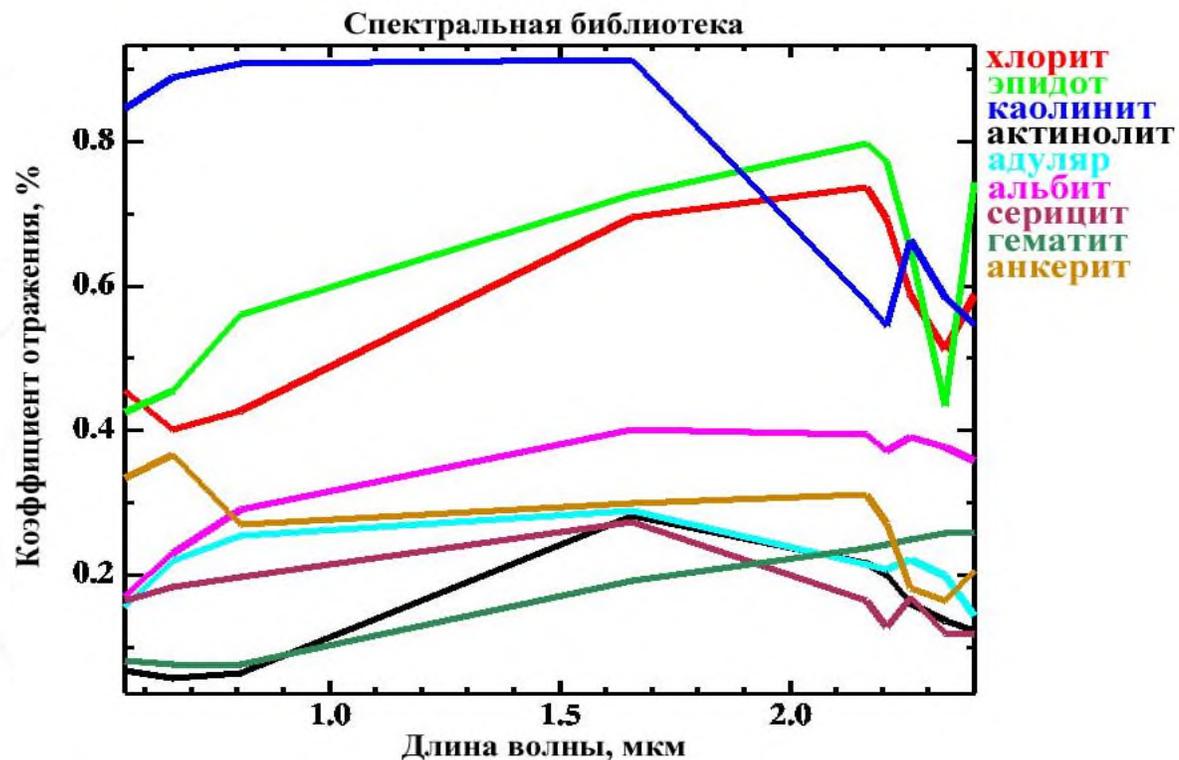
Учитывая то, что рудные компоненты во многих типах месторождений составляют лишь незначительную долю общей массы, индикаторами рудных тел являются окolorудные изменения рудовмещающих пород (грейзенизация, скарнирование, пропилитизация, березитизация, окварцевания, серицитизация, хлоритизация, карбонатизация, сульфидизация и проч.), которые могут быть диагностированы на материалах гиперспектральных съемок. Это позволяет прогнозировать распространение окolorудных гидротермально-метасоматических изменений пород, т.е. еще на предварительном этапе поисковых работ определять участки вероятной локализации оруденения. Поэтому *основная задача исследований – идентификация зон гидротермально измененных пород как индикаторов залежей полезных ископаемых.*

Обязательным элементом анализа гиперспектральных снимков является наличие спектральной библиотеки, которая представляет собой коллекцию спектров отражения различных минералов и горных пород, полученных в полевых условиях или в лаборатории.

Спектральные кривые некоторых минералов (видимые и ИК каналы КС ASTER)



Спектральная кривая кварца
(тепловые каналы КС ASTER)



Спектральные кривые некоторых минералов
(видимые и ИК каналы КС ASTER)

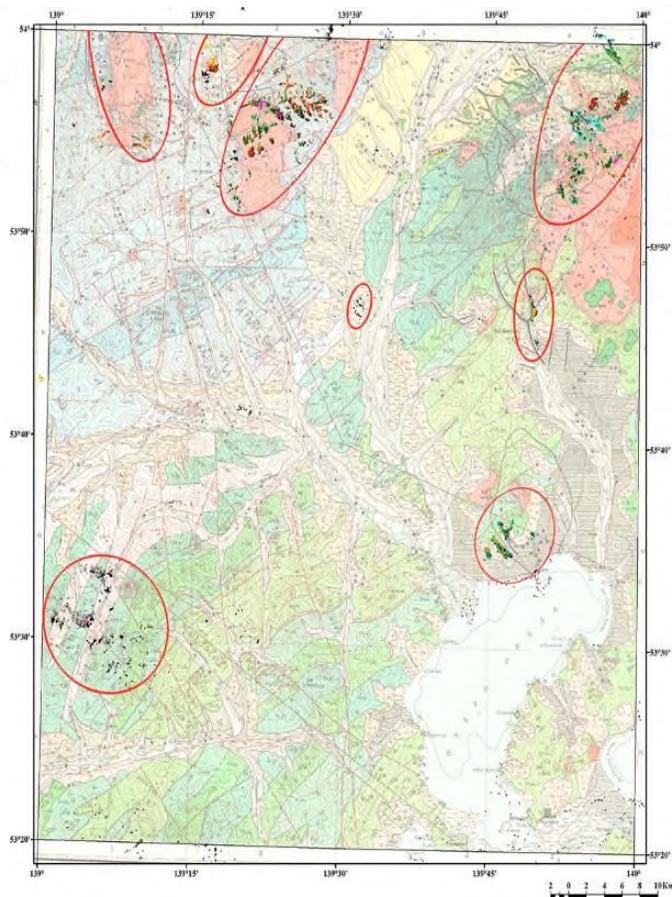
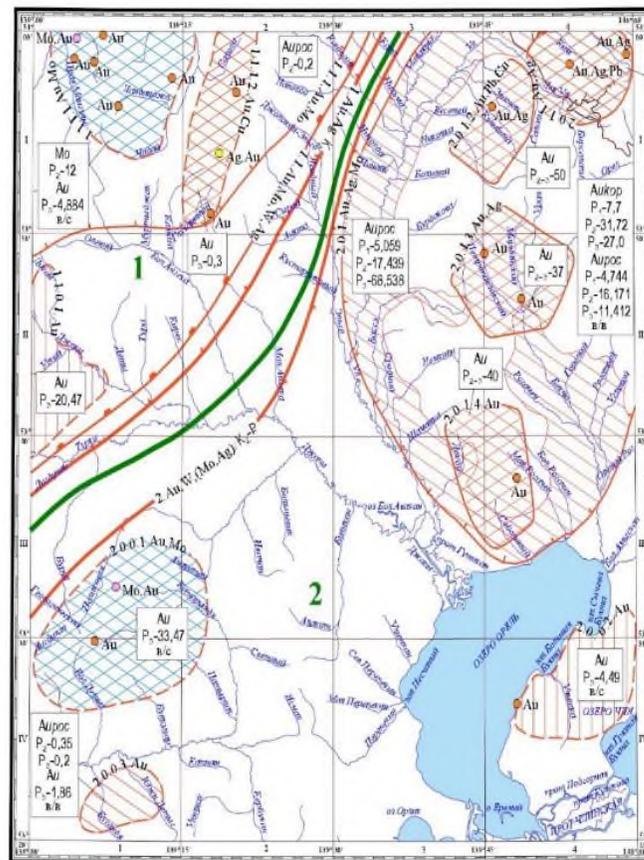


Схема прогноза перспективных площадей, по данным спектрального анализа ГДО



Предварительная карта полезных ископаемых и закономерностей размещения (Кириянов М.Ф., АО «Дальгеофизика», 2016)

На Многовершинной площади (лист N-54-XX), территория которой является составной частью Нижнеамурского золотоносного района, была проведена специализированная обработка ГДО, созданной по данным ASTER, с использованием спектров 9 минералов-индикаторов (кварца, серицита, эпидот, хлорит, турмалин, пирит, халькопирит, арсенопирит, молибденит), которая позволила выявить на площади листа 7 спектрометрических аномалий. Сопоставление полученных материалов и геолого-геохимических и данных, в том числе, карт рудогенных геохимических аномалий (Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn, Sn, Mo, Ni и других) и созданная схема перспективных на золотое оруденение прогнозных площадей, совпадают с перспективными участками по данным полевых и геохимических работ (ГДП-200, Юрченко, 2016).

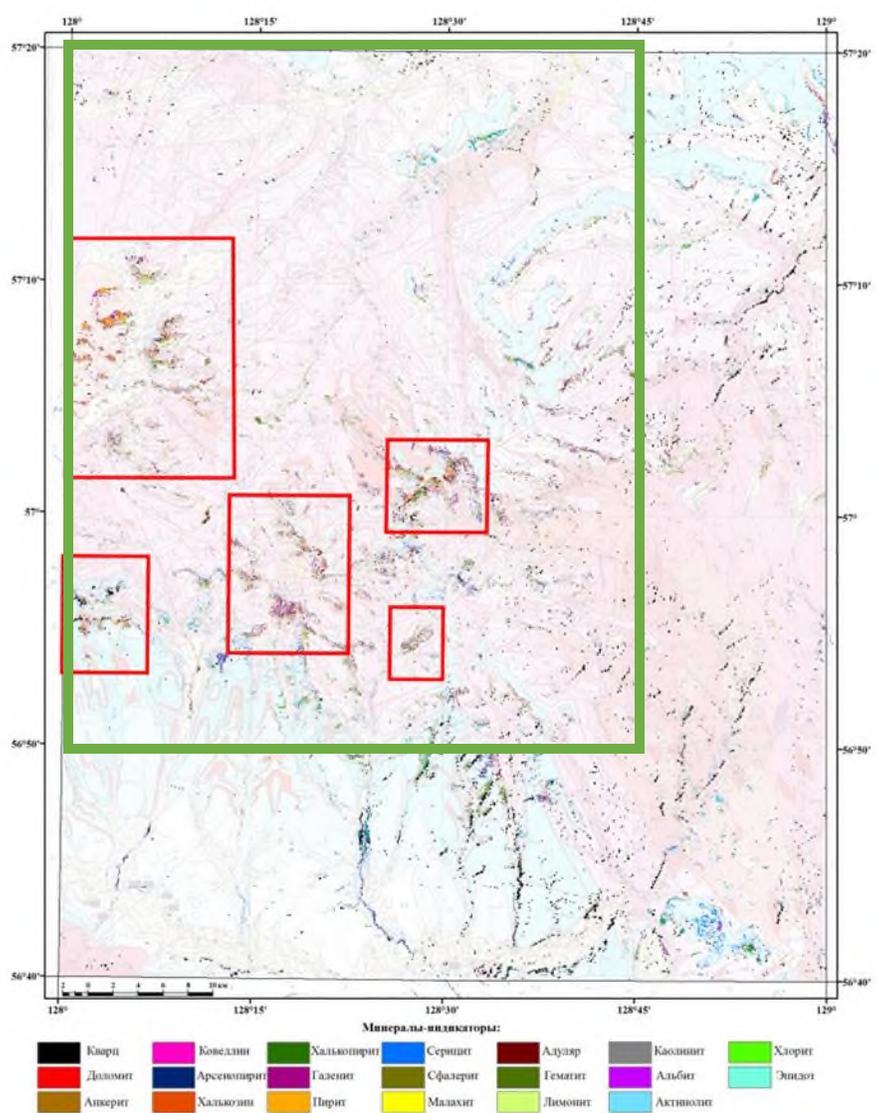


Схема перспективных участков по данным анализа распределения 26 минералов-индикаторов.

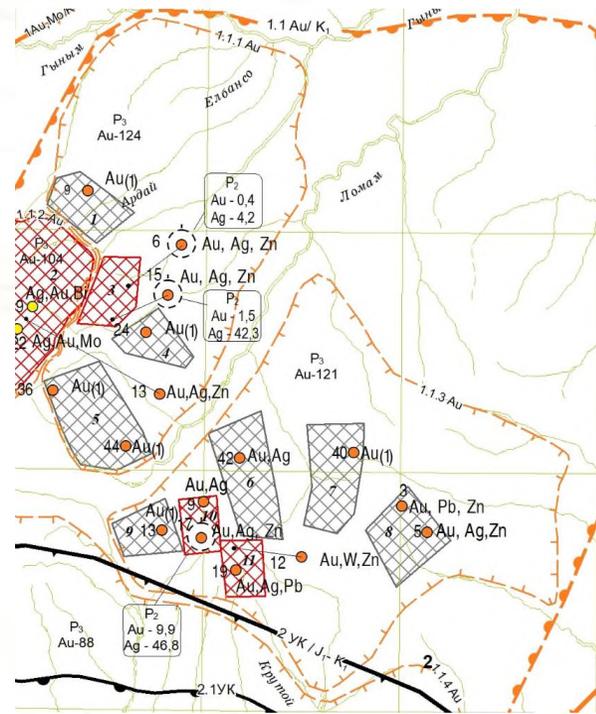
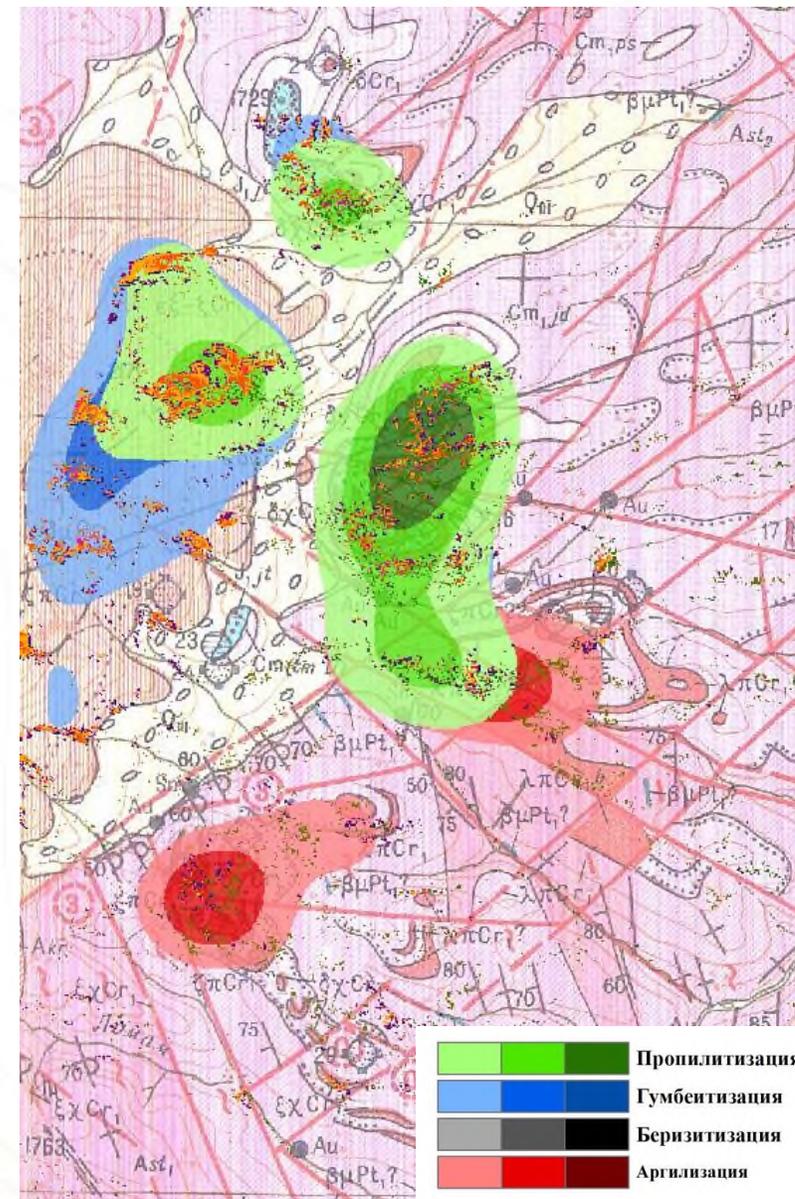
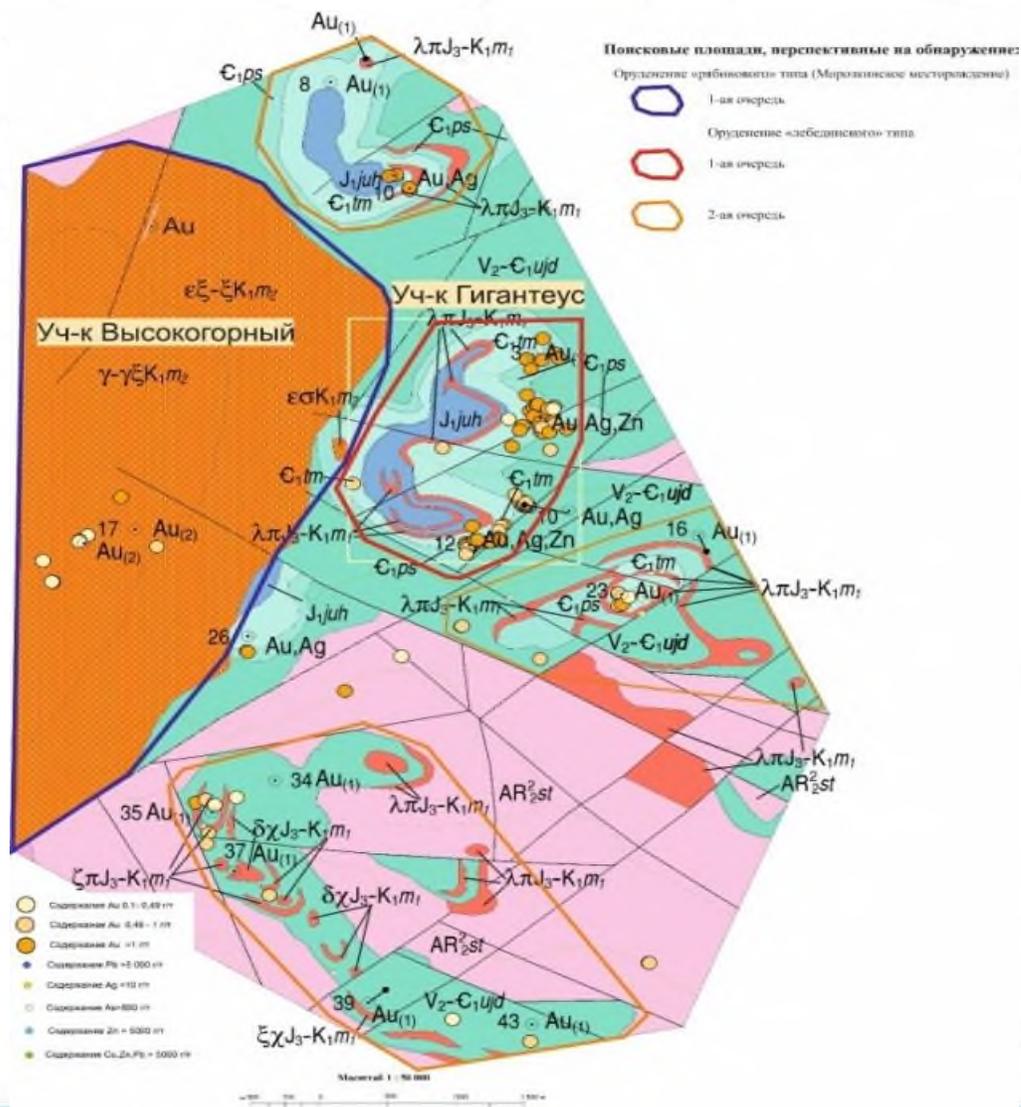
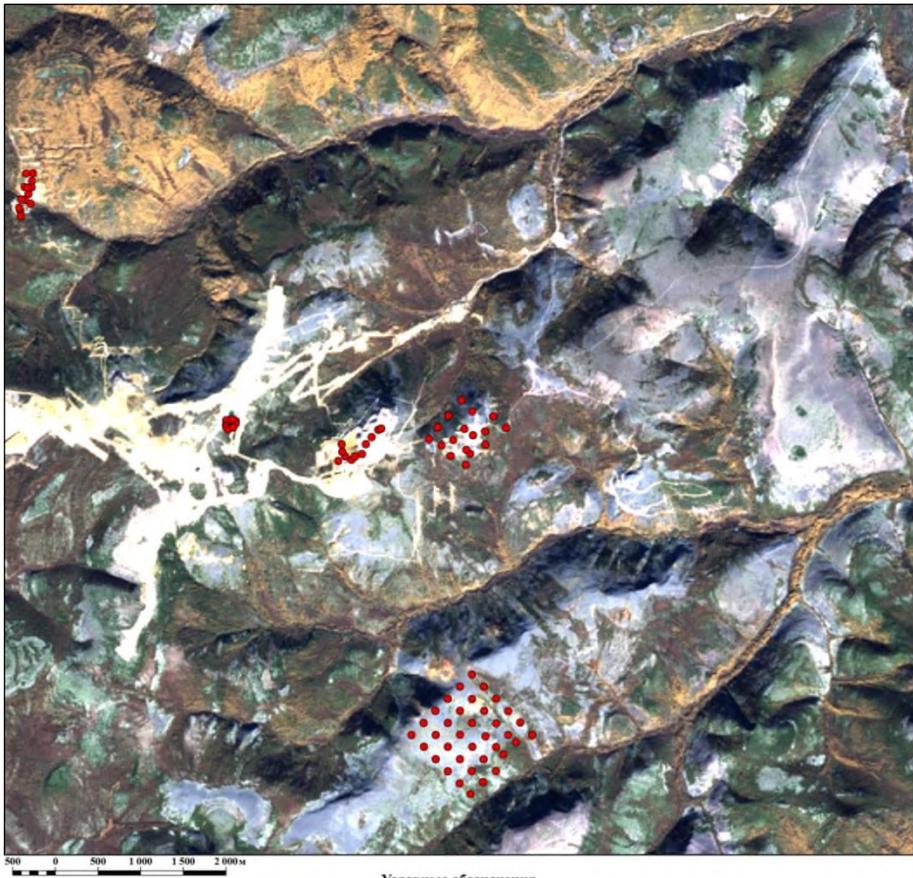


Схема перспективных участков 1-й и 2-й очередности Билибинской и Эхюндинской перспективных площадей (КЗПИ, ВСЕГЕИ, 2020)

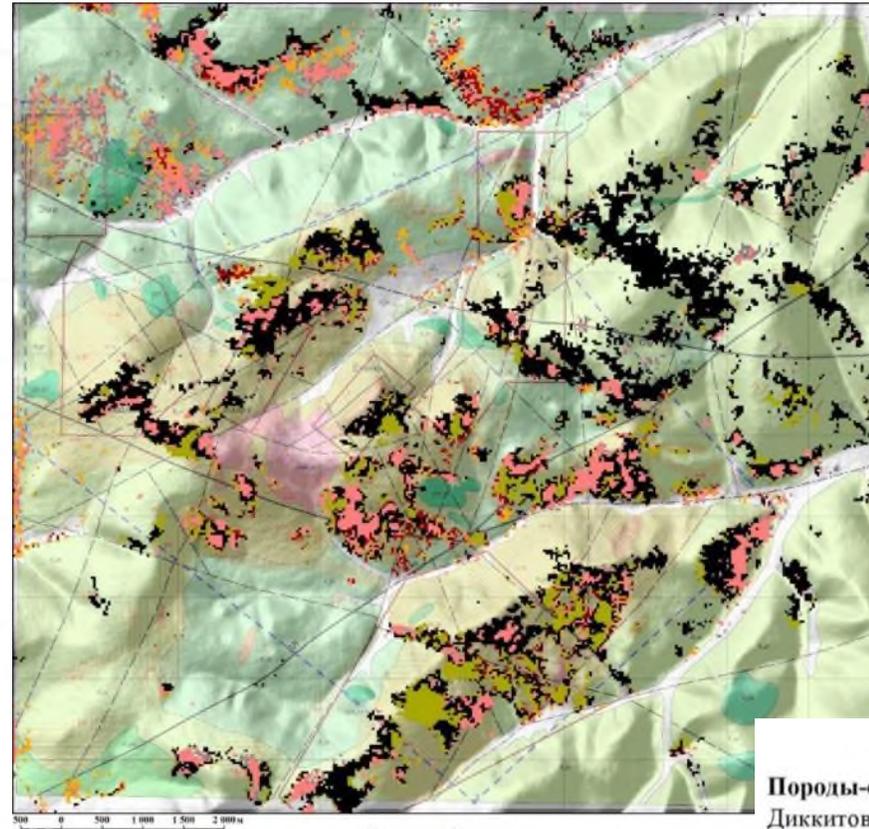
Ломамская площадь (лист О-52-XXVII) относят к высокоперспективным на промышленное золотое оруденение, связанное с низкотемпературными гидротермально-метасоматическими процессами (аргиллизацией, березитизацией, пропилитизацией, гумбеитизацией). по результатам ГДП-200, проведенные сотрудниками Института Карпинского.

Билибинская перспективная площадь





Условные обозначения
 ● Пункты отбора образцов



Условные обозначения

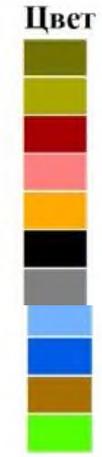
Породы-образцы	Цвет
Диккитовый кварцит	Зеленый
Диккит-кварцевый метасоматит	Красный
Диккит-каолиновые кварциты	Розовый
Диккит-каолиновые метасоматиты	Желтый
Кварц-диккит-каолиновые метасоматиты	Оранжевый
Монокварциты массивные	Черный
Монокварциты пористые	Серый

Пункты отбора образцов в районе месторождения «Светлое» (в пределах листа О-54-VIII), наложенные на дистанционные основы, созданные по данным: КС LANDSAT 8 (25.09.2018)

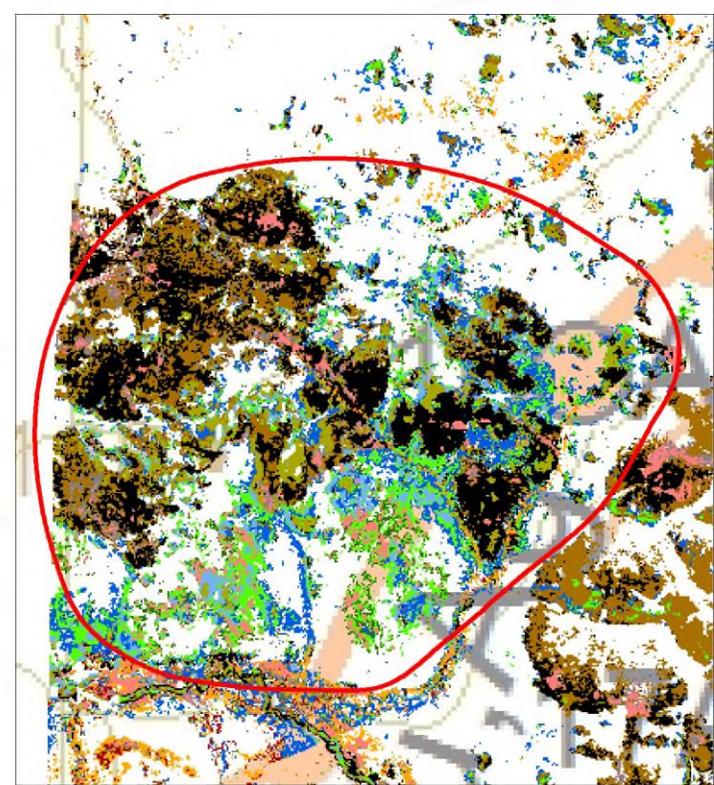
Схема вероятностного распространения гидротермалит метасоматитов, характерных для РП «Светлое», наложенная на геологическую карту масштаба 1:25 000, совмещенную с ЦМРМ



- Породы-образцы**
- Диккитовый кварцит
 - Диккит-кварцевый метасоматит
 - Диккит-каолиновые кварциты
 - Диккит-каолиновые метасоматиты
 - Кварц-диккит-каолиновые метасоматиты
 - Монокварциты массивные
 - Монокварциты пористые
 - Метасоматит брекчированный по риолитам
 - Риолиты аргиллизированные
 - Риолиты окварцованные по массе
 - Туфы дацитов окварцованные по массе



Вероятностная схема распространения пород листа O-54-VIII, наложенная на карту полезных ископаемых масштаба 1:1 000 000 (2018 г.), совмещенную с ЦМРМ.



Условные обозначения

○ граница аномалии

Породы-образцы	Цвет	Породы-образцы	Цвет
Диккитовый кварцит		Кварцевый метасоматит по туфам дацитов	
Диккит-кварцевый метасоматит		Метасоматит брекчированный по риолитам	
Диккит-каолиновые кварциты		Риолиты аргиллизированные	
Диккит-каолиновые метасоматиты		Риолиты окварцованные по массе	
Кварц-диккит-каолиновые метасоматиты		Туфы дацитов окварцованные по массе	
Монокварциты массивные			
Монокварциты пористые			

Прогнозный участок, выделенный по результатам анализа схем вероятностного распространения: гидротермалитов-метасоматитов, наложенной на карту ПИ масштаба 1:1 000 000

Разработка новых технологических решений вызвана и необходимостью повышения достоверности интерпретации результатов спектрального анализа ГДО на стадии прогнозно-поисковых работ, представленных в виде схем распространения минералов, индикаторных пород и спектрометрических аномалий. Для решения этой задачи целесообразно привлекать геохимические данные, которые представлены широким спектром специализированных карт: в виде моно-и/или поликомпонентных карт минералов аномалий химических элементов в первичных ореолах рассеяния, мультипликативные геохимические ореолы, карты рудогенных геохимических аномалий, и др.

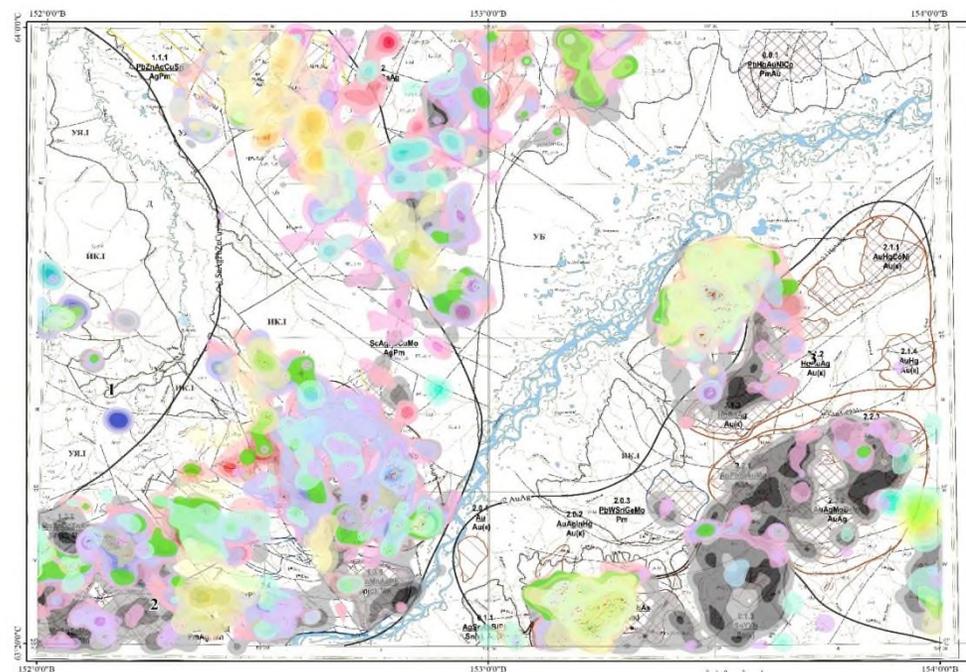
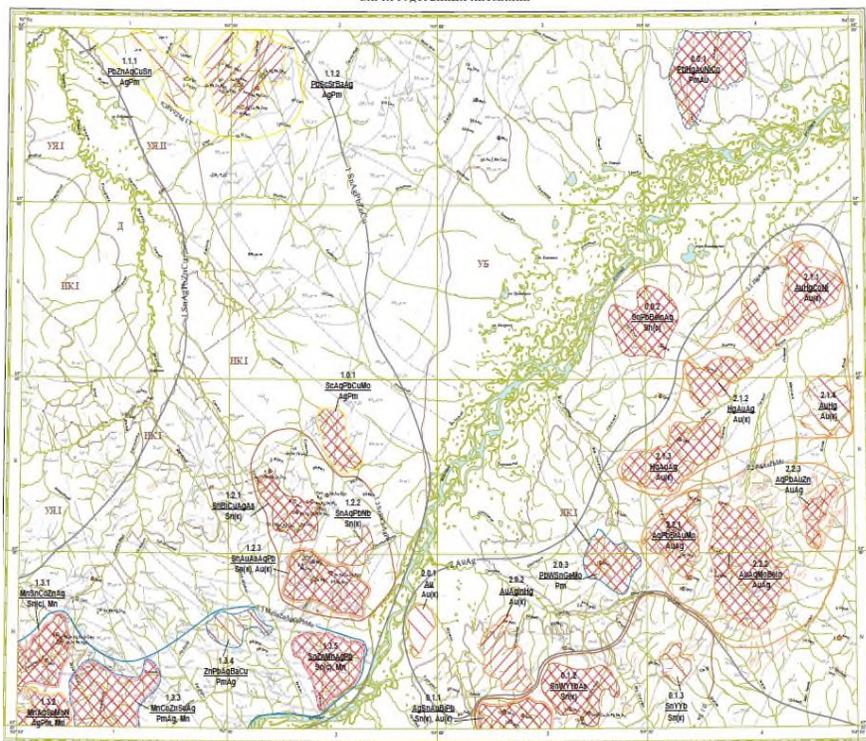
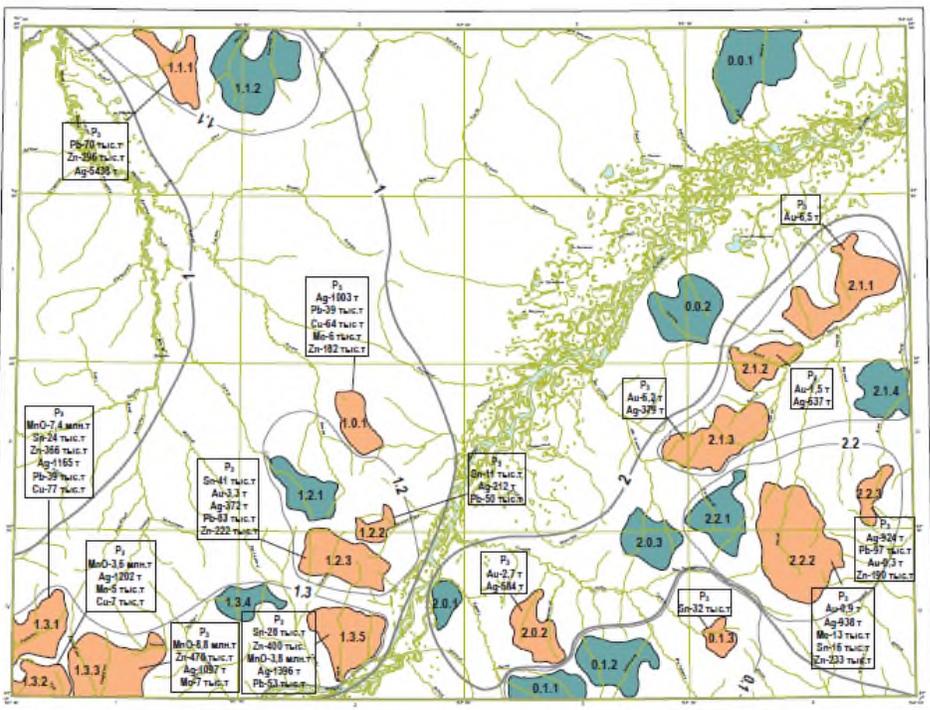


Схема рудных минералов и ореолов минералов-индикаторов геологических обстановок, перспективных на выявление месторождений полезных ископаемых, совмещенная с картой рудогенных аномалий масштаба 1:200 000.

Условные обозначения

Рудные минералы:	Оксиды и гидроксиды железа	Вероятностные ореолы породообразующих минералов:
Пирит	Лимонит, гётит, гематит	Тоназ
Касситерит	Глинистые минералы	Турмалин
Магнетит	Каолинит, иллит	Сидерит
Шеелит	макс. мин.	Диопсид
Вольфрамит		макс. мин.
		Альбит
		Кальцит
		Мусковит
		макс. мин.
		мин.

Карта рудогенных аномалий масштаба 1:200 000 (Дуксундинская площадь, листы Р-56-III-IV).



Карта прогноза полезных ископаемых масштаба 1:200 000 (по данным ГДП-200 Института Карпинского).

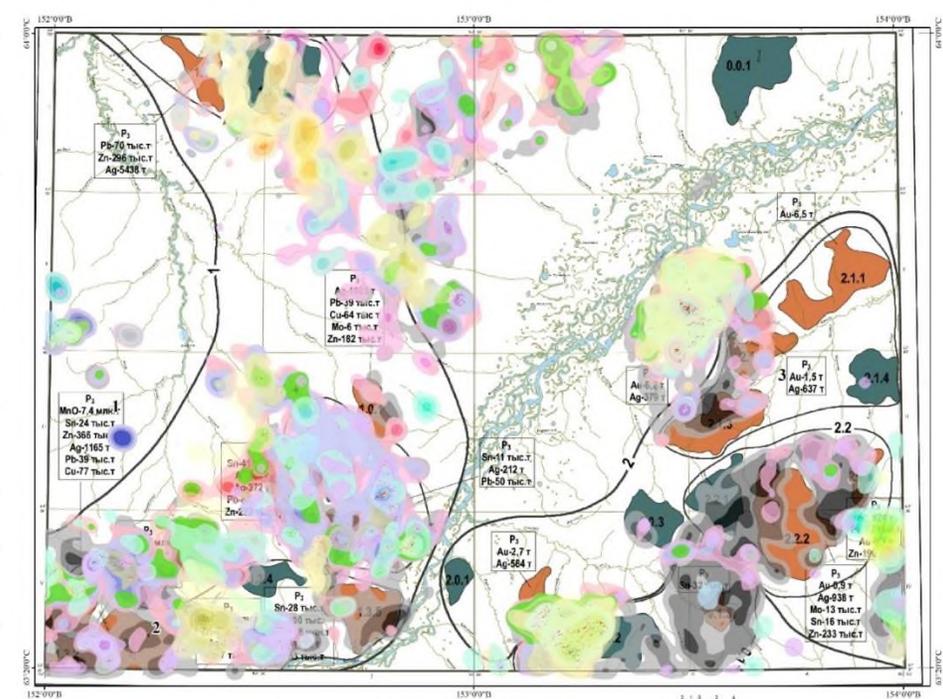
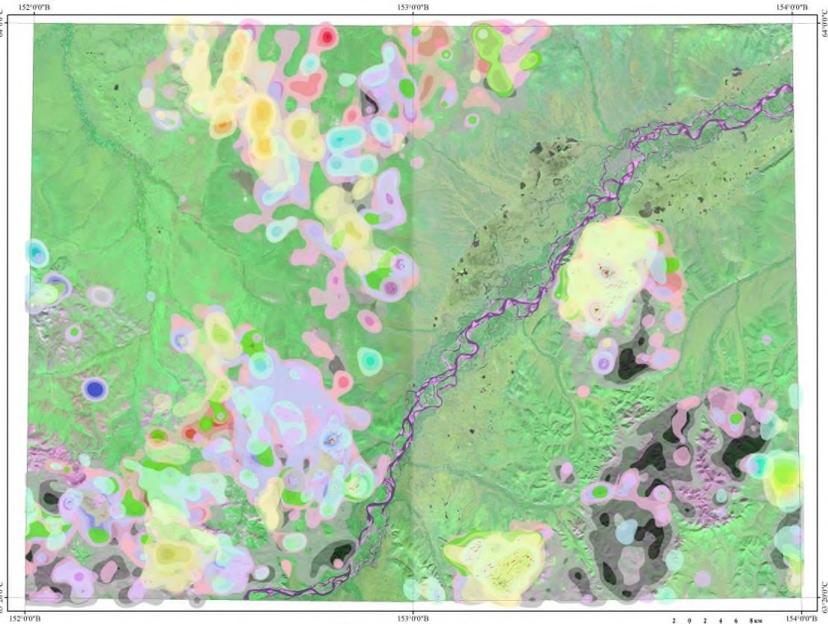


Схема рудных минералов и ореолов минералов-индикаторов геологических обстановок, перспективных на выявление полезных ископаемых, совмещенная с картой прогноза.

Анализ совмещенных схем и карт показал, что прогнозные участки, выделенные по геологическим и геохимическим данным, пространственно совпадают с ореолами гидротермально-метасоматических и гипергенных изменений, рудных минералов и ореолов.

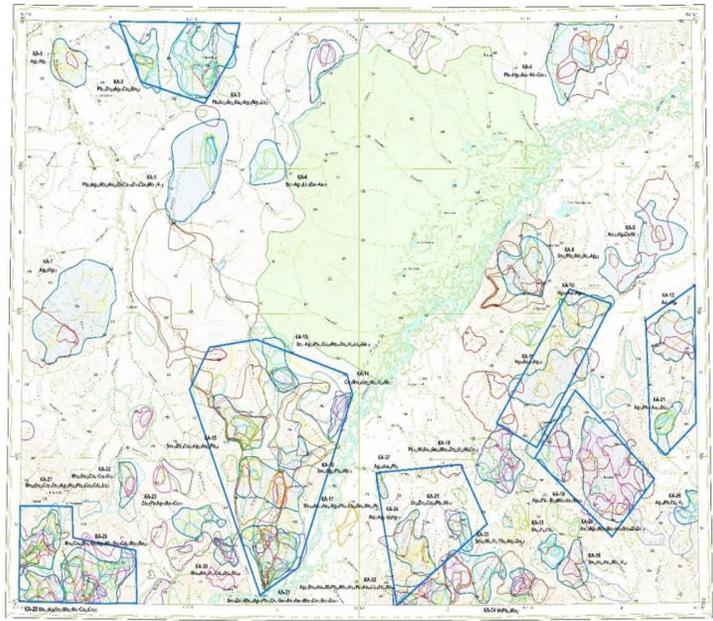
Лист Р-56-III-IV. (Дуксундинская площадь)



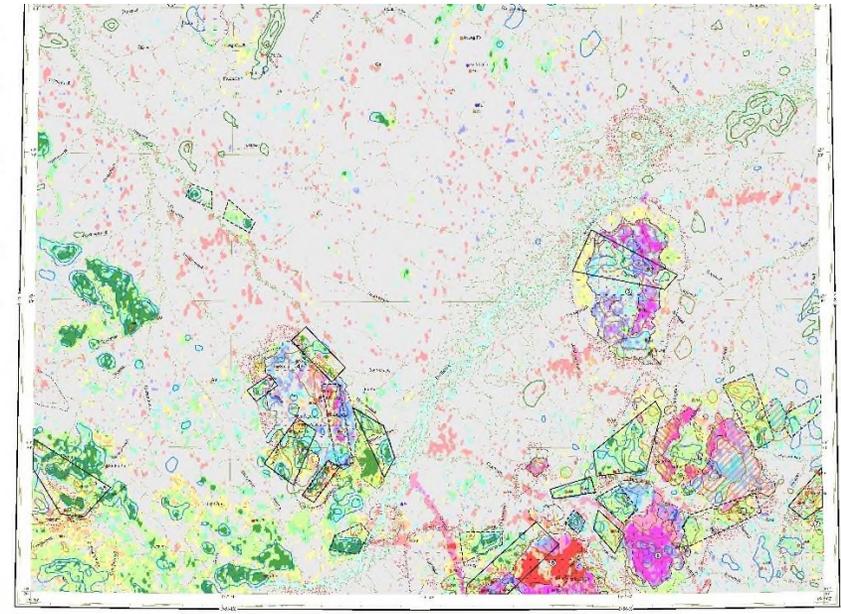
Условные обозначения

Рудные минералы:	Вероятностные ореолы породообразующих минералов:	Условные обозначения	Оксиды и гидроксиды железа
■ Пирит	■ Топаз	■ Альбит	■ Лимонит
■ Касситерит	■ Турмалин	■ Кальцит	■ Гематит
■ Магнетит	■ Сидерит	■ Мусковит	■ Гетит
■ Шпеллит	■ Диопсид	■ Кварц	
■ Вольфрамит	■ Хлорит	■ Иллиит	

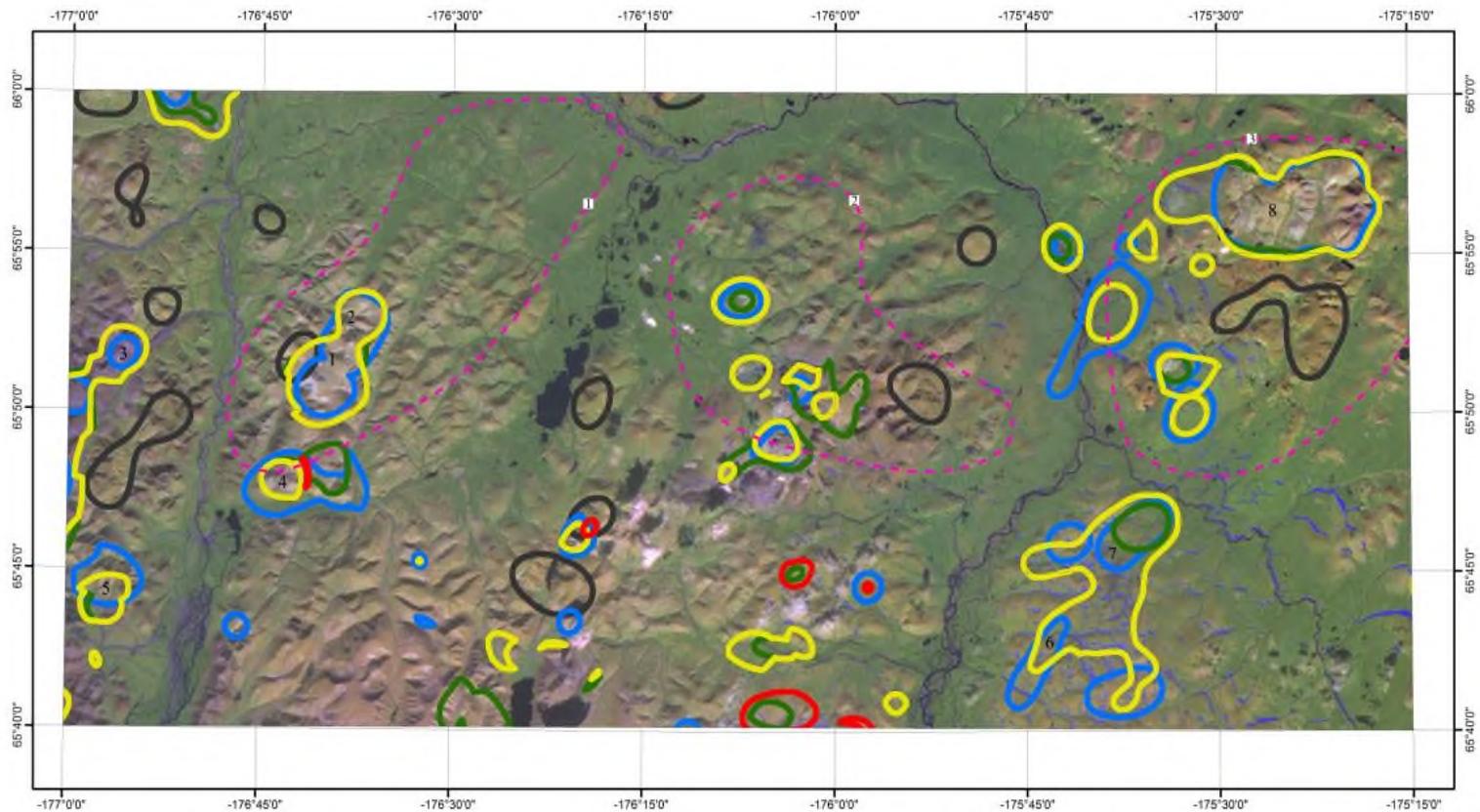
Схема распространения 19 рудных минералов и ореолов минералов-индикаторов, совмещенная с ДО и ЦМРМ



Карта поэлементных аномалий, включающей 29 элементов, с прогнозными участками, масштаба 1:200 000.



Фрагмент схемы прогноза на медь, серебро, золото, олово и другие твердые полезные ископаемые (НФ ВСЕГЕИ)



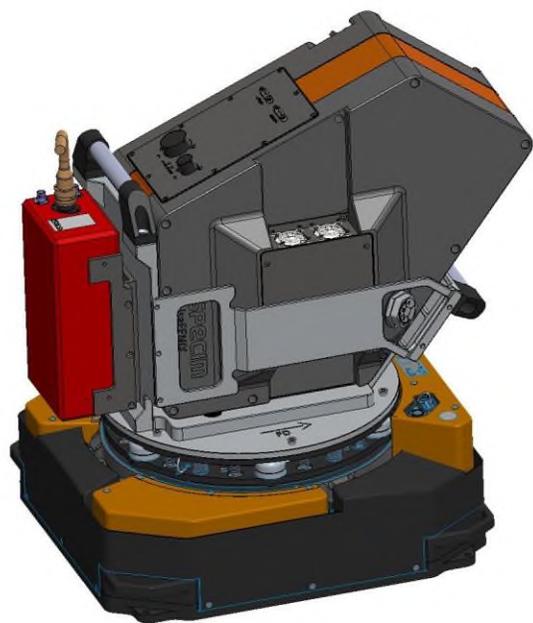
Условные обозначения

- ⋯ - Рудные узлы:
- 1) Чеутаканский
- 2) Гэгэвский
- 3) Пепевесемский
- - Пропилиты
- - Гидрослюдисто-кварцевые метасоматиты
- - Серичит-гидрослюдисто-кварцевые метасоматиты
- - Березиты
- - Вторичные кварциты

Рудоперспективные участки:

- 1-4 - Первой очереди
- 5-8 - Второй очереди

Схема распространения контуров метасоматитов (пропилитов, гидрослюдисто-кварцевых, березитов, серичито-гидрослюдисто-кварцевых, вторичных кварцитов), в пределах листа Q-1, совмещенная с ДО и ЦМРМ



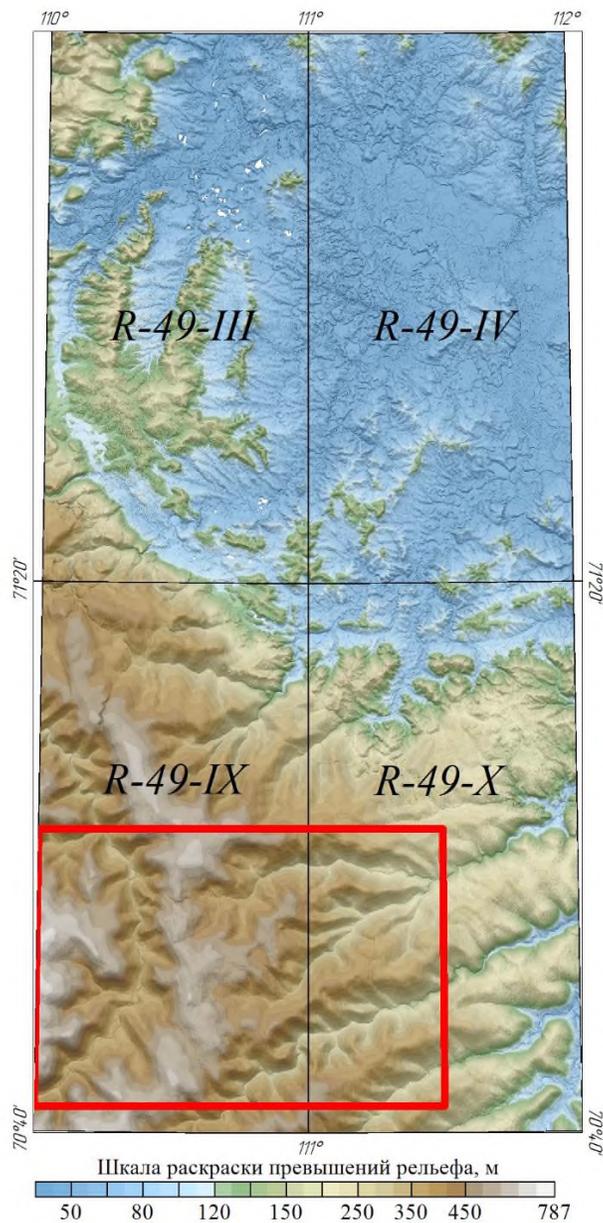
В Центре дистанционных методов природоресурсных исследований Института Карпинского разработана и внедряется в практику новая технология, основанная на спектральном анализе гиперспектральных дистанционных основ (ГДО), созданным по аэроснимкам, с использованием библиотеки спектров для выявления ассоциаций минералов-индикаторов гидротермально-метасоматических пород с целью локализации площадей поисковых работ

Для выполнения исследований в Институте Карпинского имеется программно-аппаратный комплекс, включающий:

- авиационный гиперспектрометр, позволяющий получать аэроснимки в 625 каналах в спектральных диапазонах - видимом, ближнем и среднем инфракрасном (380 – 2500 нм), с пространственным разрешением – 1м.

- полевой полнодиапазонный портативный спектрорадиометр PSR+ (спектральный диапазон 350 - 2500 нм, спектральное разрешение 0,3 – 0,8 нм, 1024 канала), для создания библиотеки спектров минералов и горных пород.





Исследования проводились на участке в пределах Попигайской площади, который сложен глубоко метаморфизованными образованиями архея и нижнего протерозоя: различного петрографического состава гнейсами, кристаллическими сланцами, гранитогнейсами, испытавшими ультраметаморфические преобразования от умеренных до интенсивных (мигматизация, гранитизация), а также диафторические изменения. В породах также проявлены процессы в зонах линейных дислокаций (катаклаза, милонитизации, бластокатаклаза, бластомилонитизации и рассланцевания). К этим зонам приурочены кварц-хлорит-полевошпатовые метасоматиты с сульфидами, с которыми связаны повышенные концентрации золота (и ряда других элементов).

Поэтому основной задачей спектрального анализа ГДО являлось выделение кварц-хлорит-полевошпатовых метасоматитов, с которыми связаны повышенные концентрации золота.

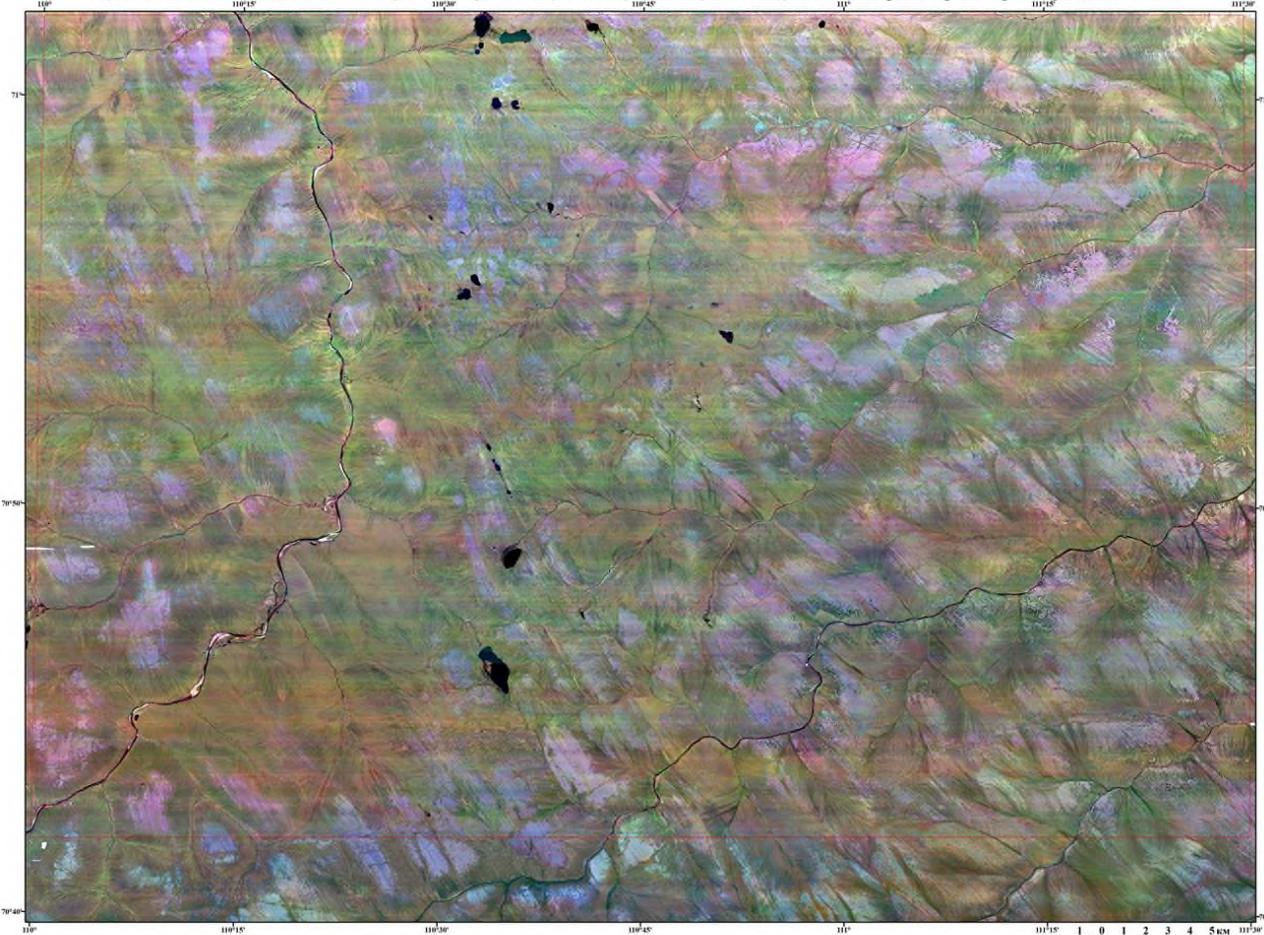
Аэрогиперспектральная съемка Попигайской площади проведена Норильским филиалом Института Карпинского по 140 маршрутам на **площади 2056.4 кв. км** со следующими оценочными параметрами:

- Размер целевого пиксела на местности - 1x1 метр
- Спектральные диапазоны VNIR – 380-970 нм и SWIR – 970-2500 нм
- Общее число спектральных каналов - 625
- Высота полета – 660 метров
- Расстояние между полосами съемки – 267 метров
- Среднее перекрытие съемочных полос – 30%

ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

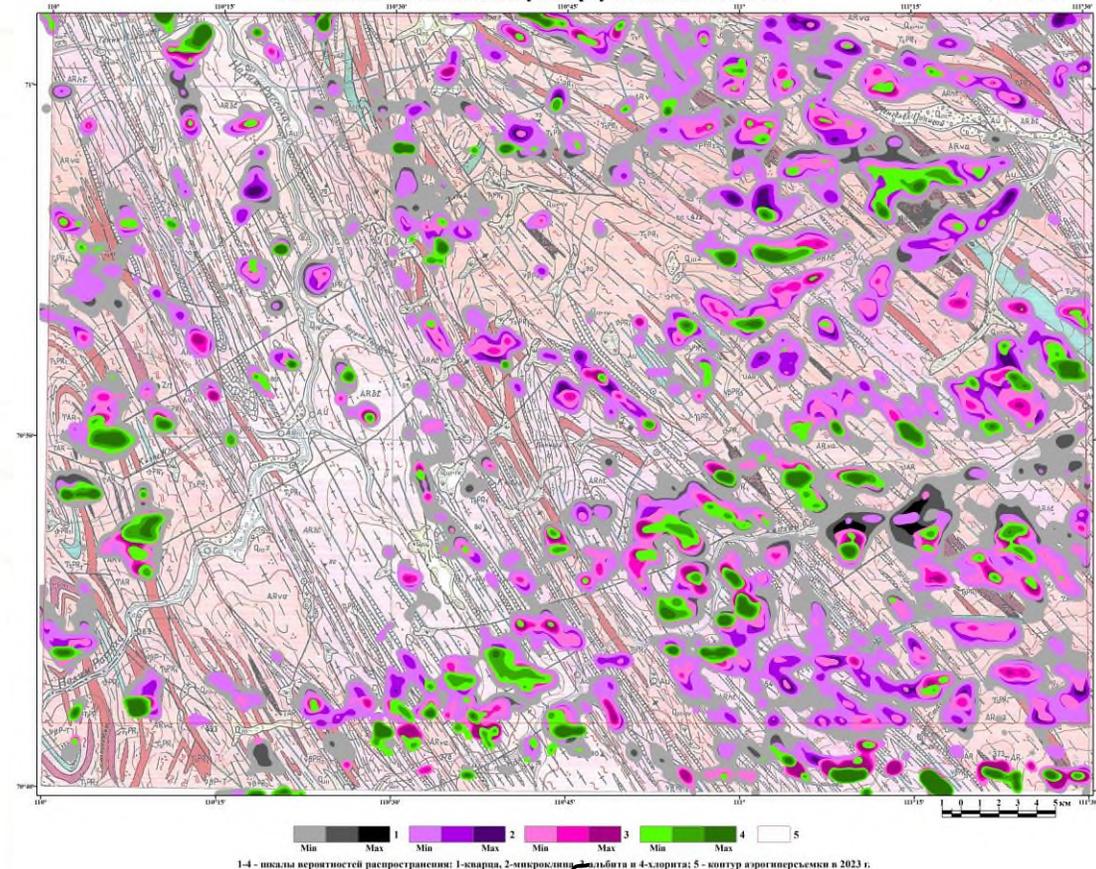
Цветовая композиция RGB 174-го (671.28 нм), 104-го (551.4 нм) и 45-го (451.11 нм) каналов аэрогиперспектрометра AisaFENIX

Территория листа
R-49-IX, X



По данным аэрогиперспектральной съемки были созданы дистанционные основы из радиометрически исправленных и географически привязанных изображений соседних залетов.

Схема плотностей вероятностного распространения кварца, микроклина, альбита и хлорита, Территория листа R-49-IX, X наложенная на геологическую карту масштаба 1:200 000



Минералами-индикаторами выбраны рудные компоненты зон оруденения: сульфиды, окислы и гидроокислы железа и ассоциация нерудных минералов (кварц, хлорит, щелочные полевые шпаты), которые соответствуют высокотемпературным кварц-микроклиновым и более низкотемпературным альбит-хлоритовым метасоматитам (с сульфидами и повышенным содержанием золота)

Схема ореолов вероятностного распространения кварц-хлорит-полевошпатовых метасоматитов, Территория листа R-49-IX, X
наложенная на карту рудогенных аномалий

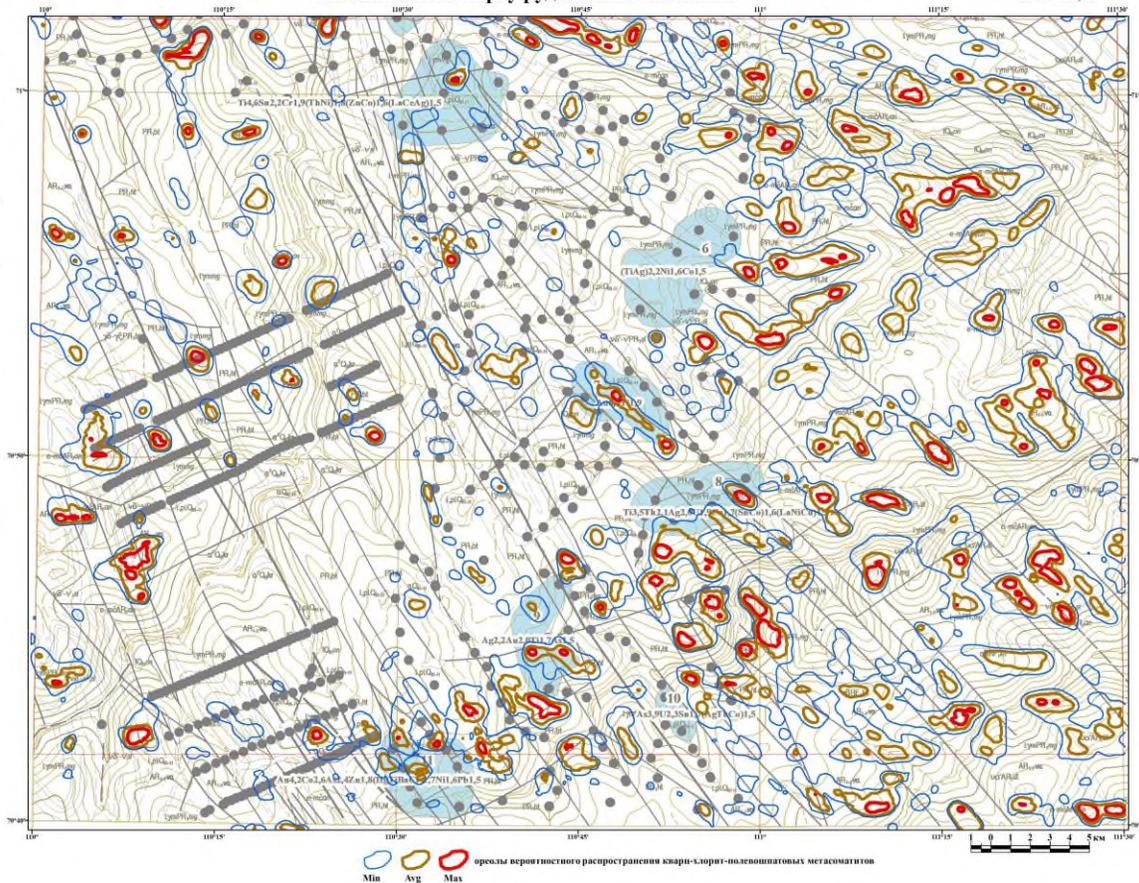


Схема вероятных ореолов метасоматитов, полученная при спектральном анализе материалов аэрогиперспектральной съемки на ряде участков коррелируется с предварительной картой рудогенных и перспективными участками, выявленными предшествующими поисковыми

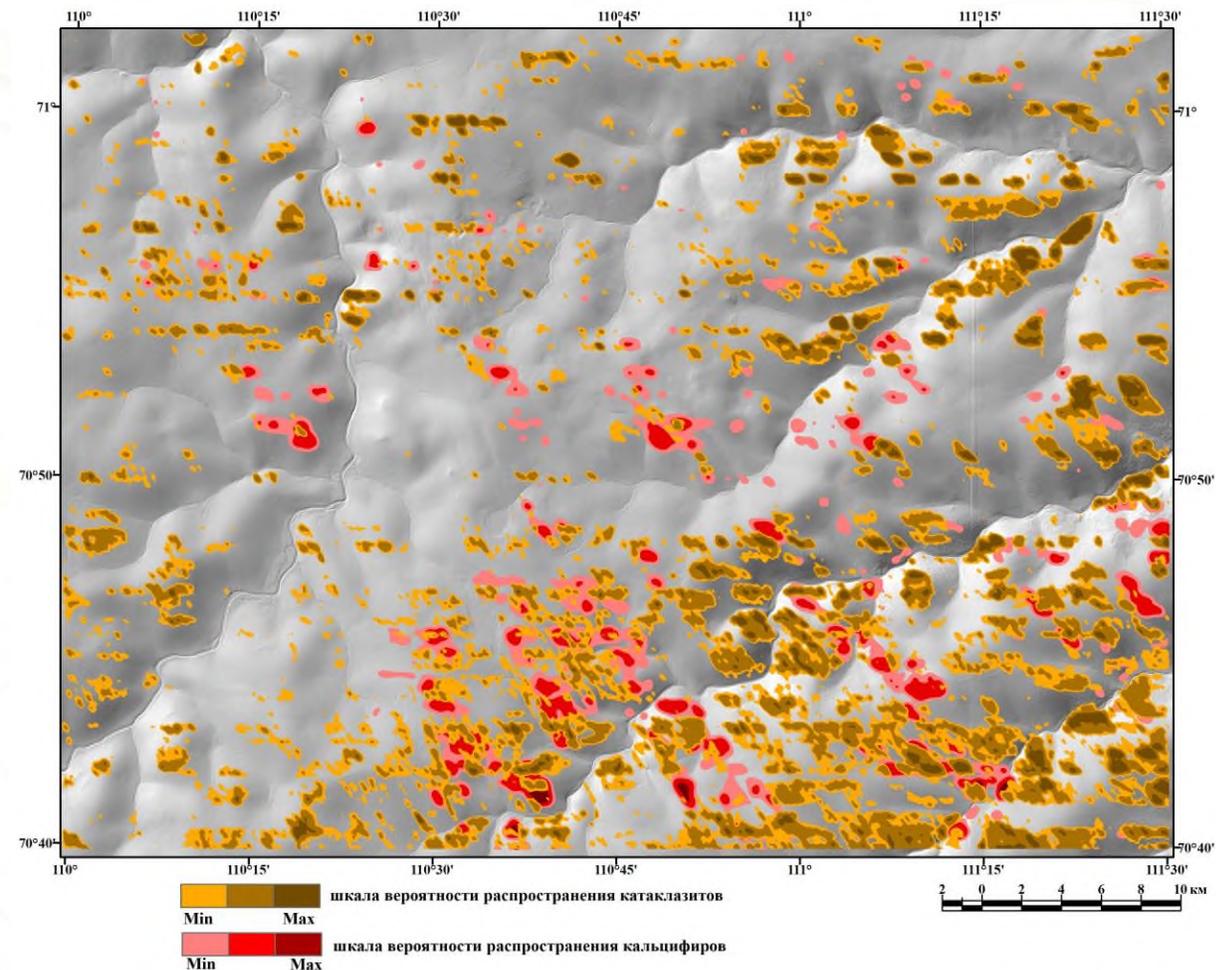


Схема вероятностного распространения кальцифиров и катаклазитов, наложенная на цифровую модель рельефа.

Опыт проведенных работ показывает, что использование анализа как гиперспектральных данных позволяет на ранних стадиях геологоразведочного процесса выявлять потенциально перспективные площади на различные виды твердых полезных ископаемых. К наиболее эффективным районам, по геолого-ландшафтным условиям, использования данных гиперспектральных съемок для решения задач прогнозно-поисковых работ относятся открытые и полузакрытые по геолого-ландшафтным условиям территориях, такие как горно-складчатые области и арктические районы России.

Как показали опытно-методические исследования, основное преимущество использования гиперспектральных данных заключается в возможности получать информацию о распространении минералов и гидротермально-метасоматических пород по территории работ, во-первых, в труднодоступных районах, во-вторых, по всей исследуемой площади (а не точечно, как при анализе образцов, отобранных при полевых работах).

Эффективность применения материалов аэросъемки, имеющих высокое пространственное (1 м) и спектральное (10 нм) разрешения, достигается за счет повышения детальности и точности при выявлении минералов-индикаторов и их ассоциаций.



ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМ. А. П. КАРПИНСКОГО

Контакты

Санкт-Петербург, Средний проспект В.О., 74

Тел.: 3217201

E-mail: Aleksandr_Kirsanov@karpinskyinstitute.ru

