

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛИТОВ-МЕТАСОМАТИТОВ ПО АЭРО-И КОСМИЧЕСКИМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ

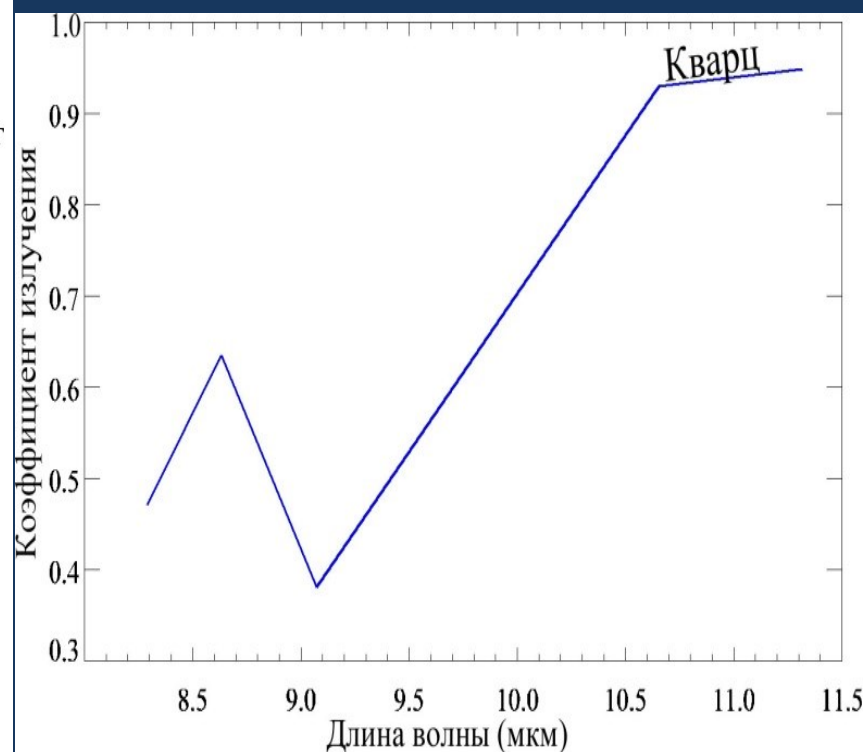
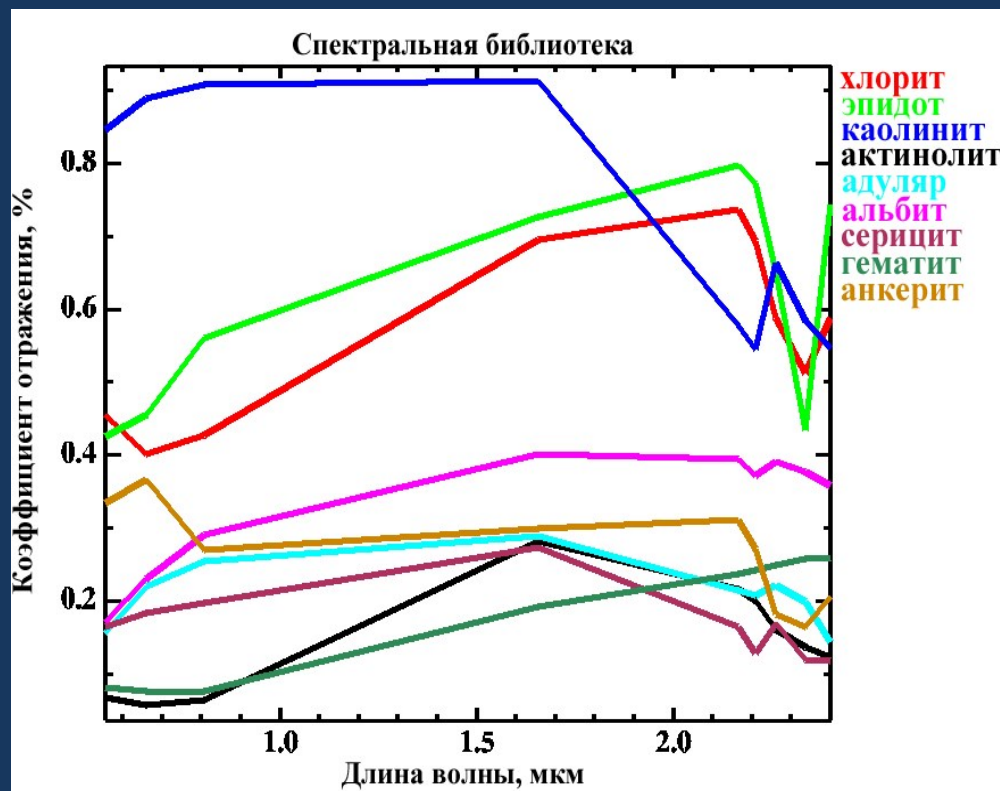
*Курсанов А.А., Липияйнен К.Л., Смирнов М.Ю.,
Курсанов Г.А., Павлова В.О., Золотухина А.В.
ФГБУ «ВСЕГЕИ»*

Необходимость повышения прогнозной эффективности работ по ГДП-200, ставит задачу выделения локальных перспективных площадей на обнаружение месторождений, в частности, золотого оруденения.

Актуальность работ определяется возможностью использования новых источников геологической и прогнозной информации, к которым относятся и аэро- и космические гиперспектральные данные.

По заданию Роснедра в центре дистанционных методов природоресурсных исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ» разработана компьютерная технология, включающая обработку гиперспектральных данных, их дальнейший спектральный анализ и диагностику по индивидуальным спектрометрическим параметрам минералов и минеральных ассоциации (пород), включая гидротермально-метасоматические образования.

Гиперспектральные изображения используются для диагностики и картирования минералов и горных пород по их спектральным характеристикам. Спектральные характеристики минералов и горных пород отличаются большим разнообразием и определяются параметрами их состава, строения и состояния. Спектры некоторых минералов в видимом и ближнем и среднем инфракрасном диапазонах гиперспектральных космических данных «ASTER» в качестве примера представлены на слайде. Кварц в 1-9 каналах не имеет значительных спектральных особенностей, поэтому, для его диагностики лучше использовать тепловые каналы.



Спектральные кривые некоторых минералов

Спектральная кривая кварца

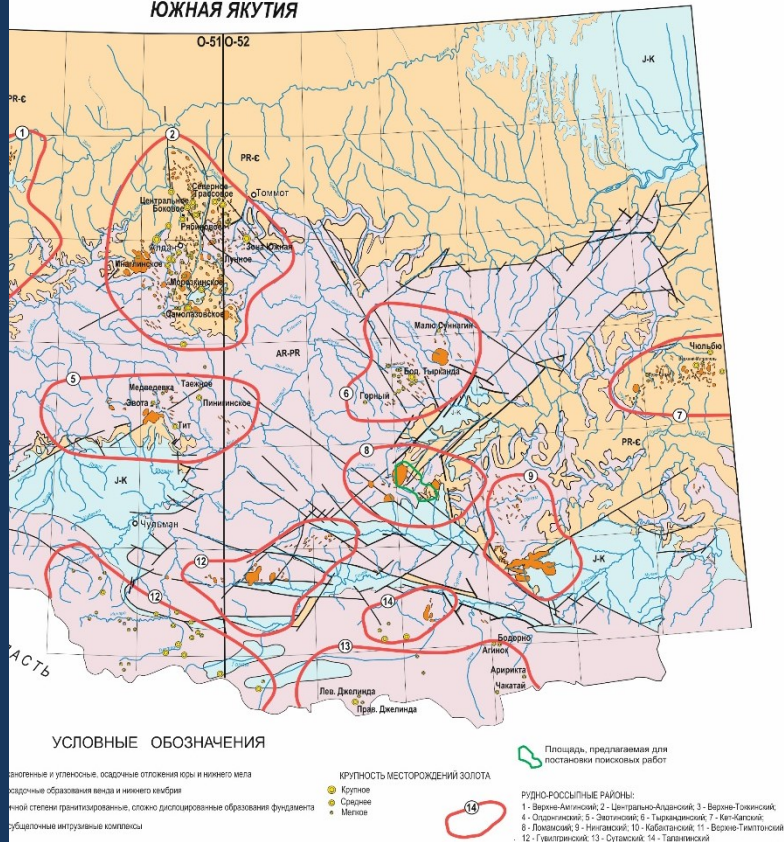
Принимая во внимание то, что рудные компоненты во многих типах месторождений составляют лишь незначительные проценты общей массы, индикаторами рудных тел являются окolorудные изменения рудовмещающих пород, которые могут быть выявлены на материалах гиперспектральных съемок. Эти изменения связаны с процессами грейзенизации, скарнирования, пропилитизации, листвинитизации, окварцевания, серицитизации, хлоритизации серпентинизации, карбонатизации и т. д.

Это позволяет прогнозировать распространение окolorудных изменений пород, т.е. еще на предварительном этапе поисковых работ определять вероятностные участки локализации оруденения.

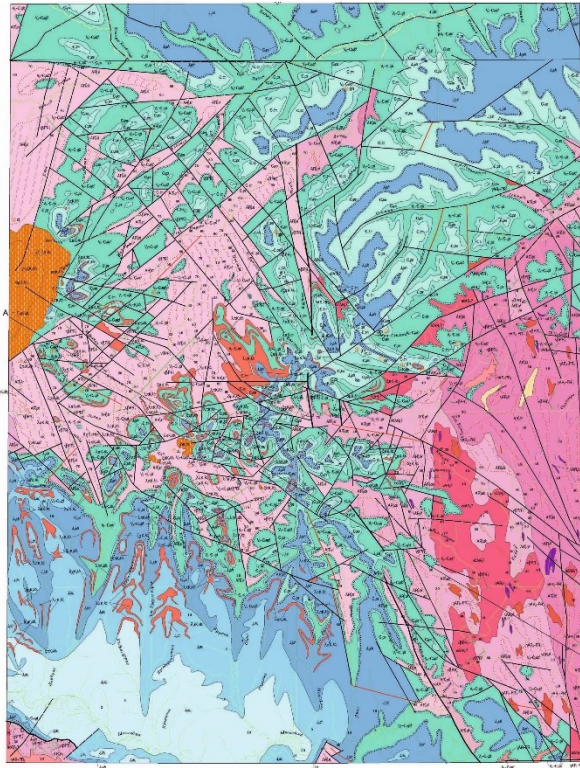
Обязательным элементом анализа гиперспектральных снимков является наличие спектральной библиотеки, которая представляет собой коллекцию спектров отражения различных минералов и горных пород, полученных в полевых условиях или в лаборатории. Для формирования библиотеки ВСЕГЕИ был приобретен полевой спектрорадиометр PSR+.

Тестовым объектом исследований была выбрана Ломамская площадь (лист O-52-XXVII)

ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ масштаб 1:200 000
Издание второе
Алданская серия
O-52-XXVII



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

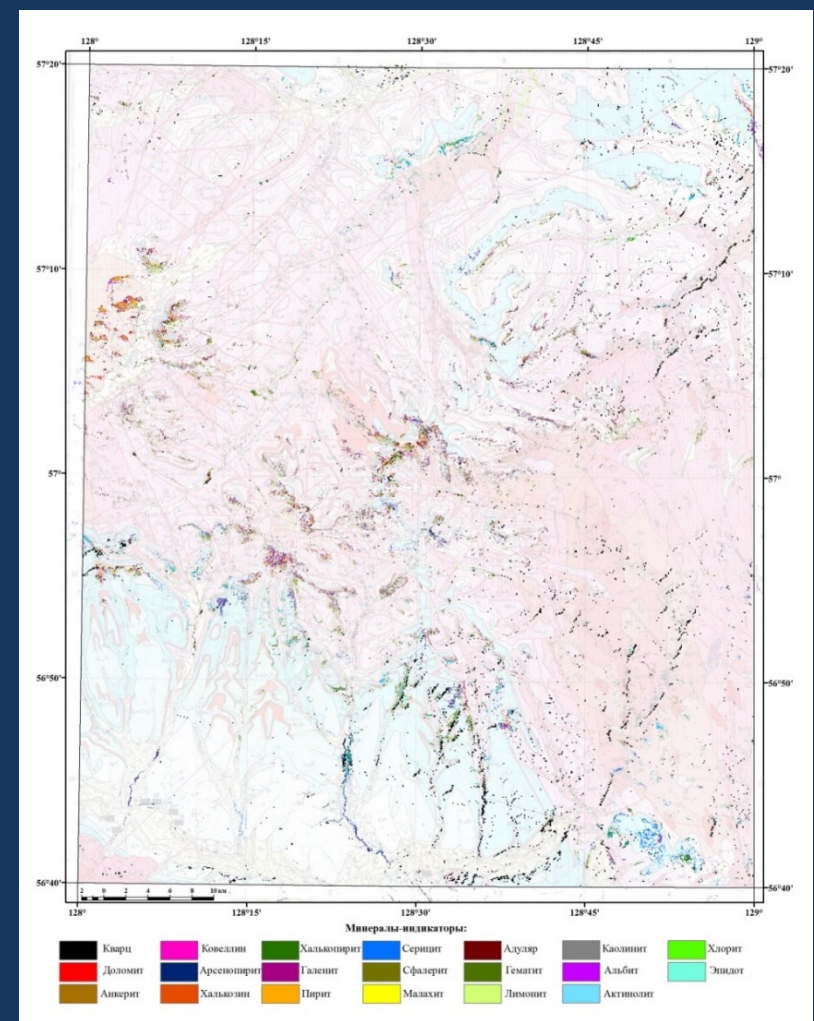
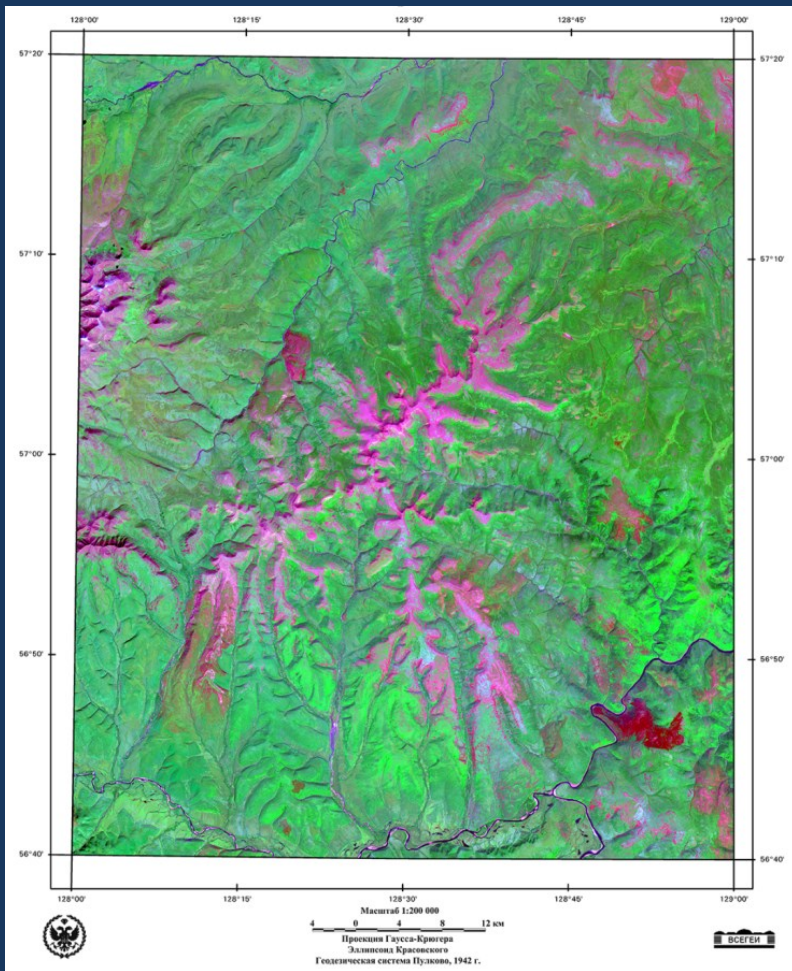
| ПОРЯДОК СТАТЕЙ РАССКА | |
|-----------------------|--|
| 0 | Палеозойская и мезозойская системы, карбонатные породы |
| 1 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 2 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 3 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 4 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 5 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 6 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 7 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 8 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 9 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 10 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 11 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 12 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 13 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 14 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 15 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 16 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 17 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 18 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 19 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 20 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 21 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 22 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 23 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 24 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 25 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 26 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 27 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 28 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 29 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 30 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 31 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 32 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 33 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 34 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 35 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 36 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 37 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 38 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 39 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 40 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 41 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 42 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 43 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 44 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 45 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 46 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 47 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 48 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 49 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 50 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 51 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 52 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 53 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 54 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 55 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 56 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 57 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 58 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 59 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 60 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 61 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 62 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 63 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 64 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 65 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 66 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 67 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 68 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 69 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 70 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 71 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 72 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 73 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 74 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 75 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 76 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 77 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 78 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 79 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 80 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 81 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 82 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 83 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 84 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 85 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 86 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 87 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 88 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 89 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 90 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 91 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 92 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 93 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 94 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 95 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 96 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |
| 97 | Палеозойская и мезозойская системы, метаморфические породы |
| 98 | Палеозойская и мезозойская системы, осадочные породы |
| 99 | Палеозойская и мезозойская системы, вулканические породы |
| 100 | Палеозойская и мезозойская системы, интрузивные породы |

Фрагмент схемы рудно-россыпных районов Южной Якутии (Ломамский р-н - №8)

Геологическая карта листа O-52-XXVII

Специализированными исследованиями второй половины XXв. была обоснована высокая перспективность Ломамского района на промышленное золотое оруденение, связанное с низкотемпературными гидротермально-метасоматическими процессами (аргиллизацией, березитизацией, пропилитизацией, гумбеитизацией)

.К узлам магматической деятельности пространственно приурочены проявления золоторудной минерализации (более 50 рудопроявлений и пунктов минерализации).⁴



Гиперспектральная дистанционная основа. Лист О-52-XXVII. (Ломамская площадь).

Схема распределения фигуративных точек 25 минералов-индикаторов. Лист О-52-XXVII.

По результатам спектрального анализа ГДО, с использованием спектров минералов, создана схема распределения фигуративных точек минералов-индикаторов и их ассоциаций.

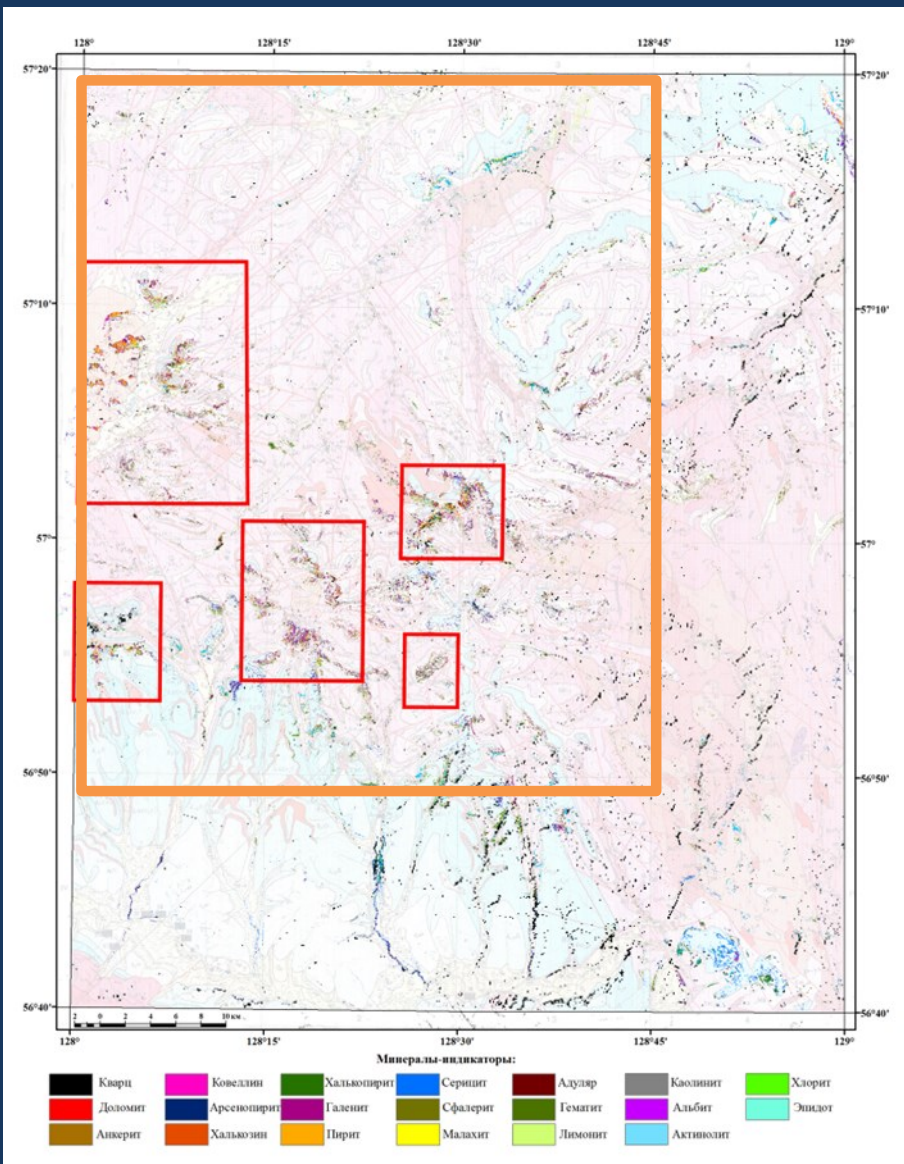
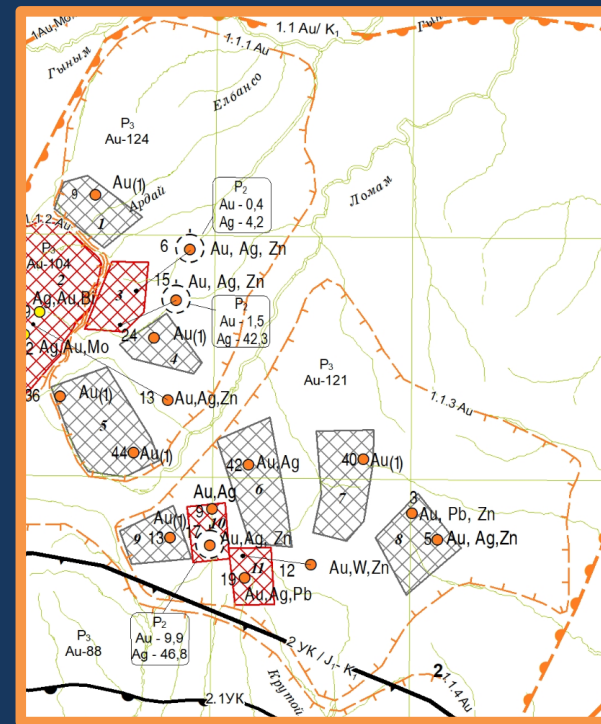


Схема перспективных участков на золотое оруденение, выделенных по результатам анализа 25 минералов-индикаторов



В последние годы сотрудниками ФГБУ «ВСЕГЕИ» проводились работы по ГДП-200 листа О-52-XXVII и по результатам работ была составлена схема перспективных участков 1-й и 2-й очередности Билибинской и Эхюндинской перспективных площадей Ломамского потенциального золоторудного р-на (КЗПИ, ВСЕГЕИ, 2020).

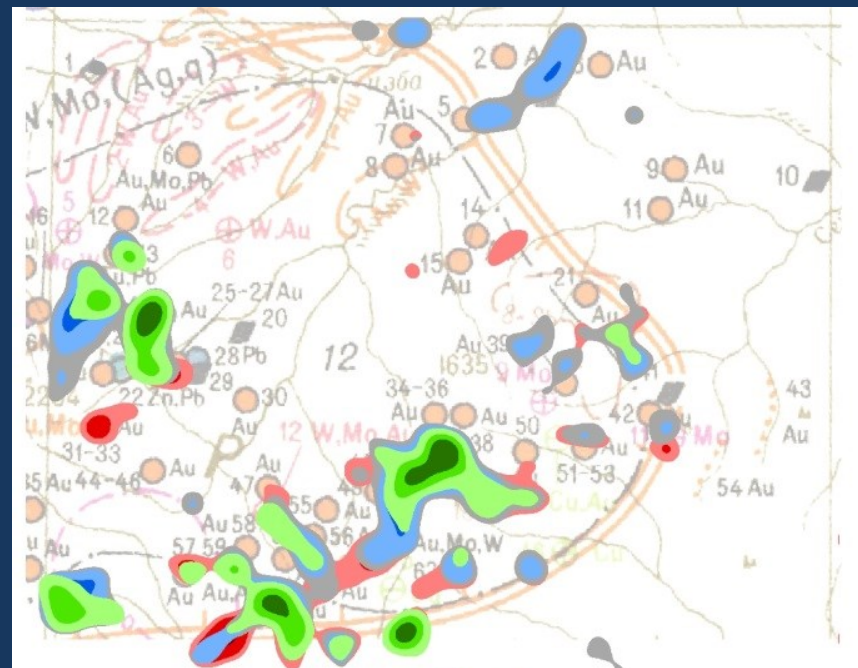
Был разработан и применен новый методический подход, когда индикаторные минералы формально объединены в ассоциации, отвечающие составам оклорудных гидротермалитов-метасоматитов: аргиллизитов, березитов, пропилитов и гумбеитов:

– ассоциация кварц + серицит +/- карбонат (анкерит, доломит, кальцит), пирит, гематит, (+/- хлорит) соответствует березитам;

– ассоциация кварц + щелочной полевой шпат (адуляр, альбит) + серицит +/- карбонат, гематит (и гидроокислы железа) +/- пирит, хлорит – гумбеитам;

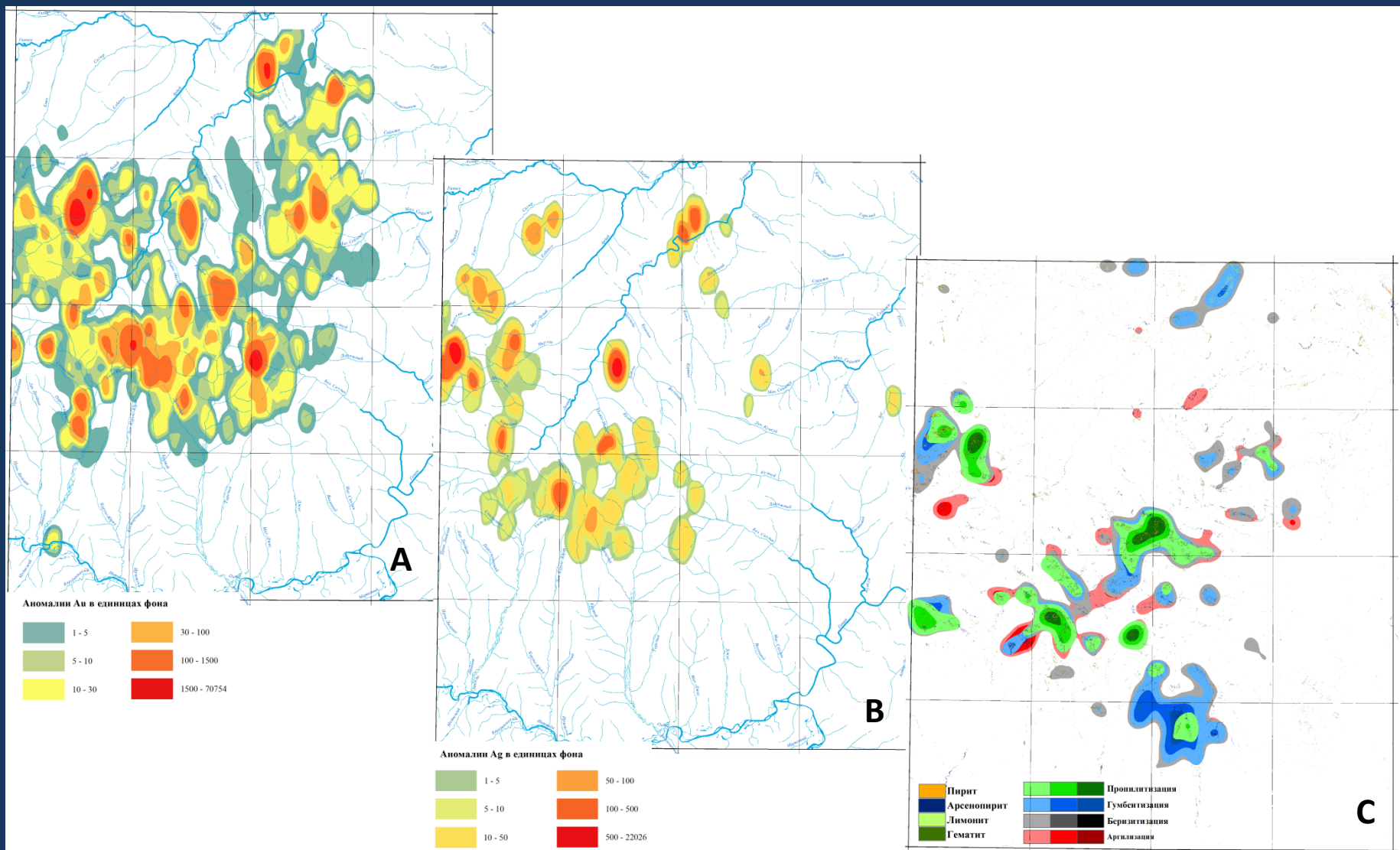
– ассоциация карбоната, эпидота, хлорита, серицита +/- амфибол (актинолит) и кварц указывает на процесс пропилитизации;

– присутствие каолинита и гидросерицита свидетельствует об аргиллизации.

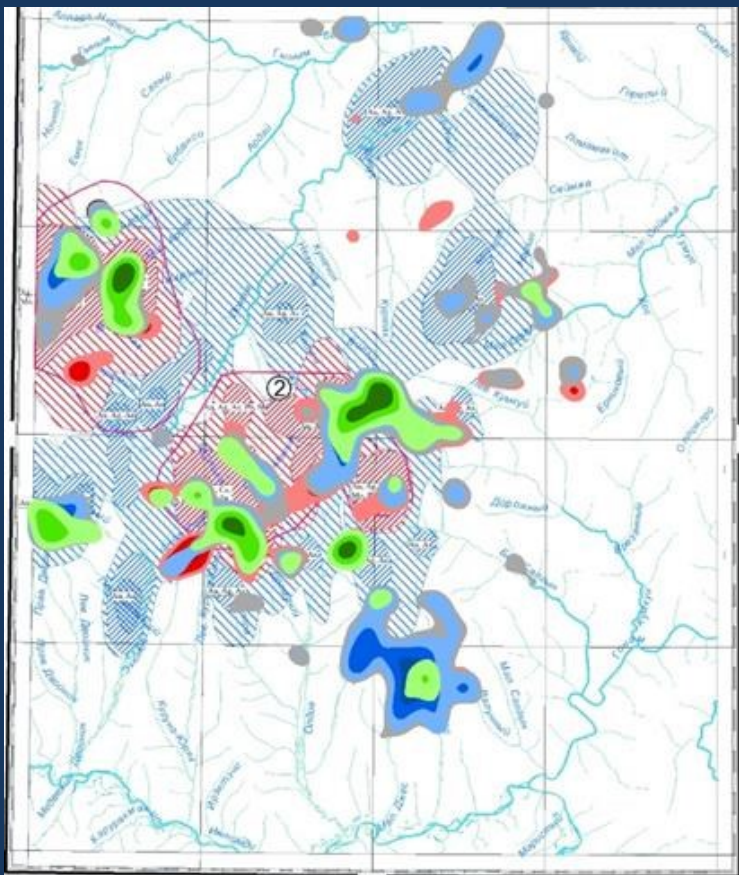


По ассоциациям минералов были получены спектрометрические ореолы - участки локализации фигуративных точек индикаторных минералов в различных сочетаниях, соответствующих гидротермально - метасоматическим изменениям, сопровождающих благороднометальное оруденение. (на фрагменте КПИ-1000/2

Сопоставление результатов дистанционных и наземных исследований



спектрометрические ореолы гидротермалитов-метасоматитов.



Условные обозначения:

Интенсивность геохимических аномалий в единицах фона

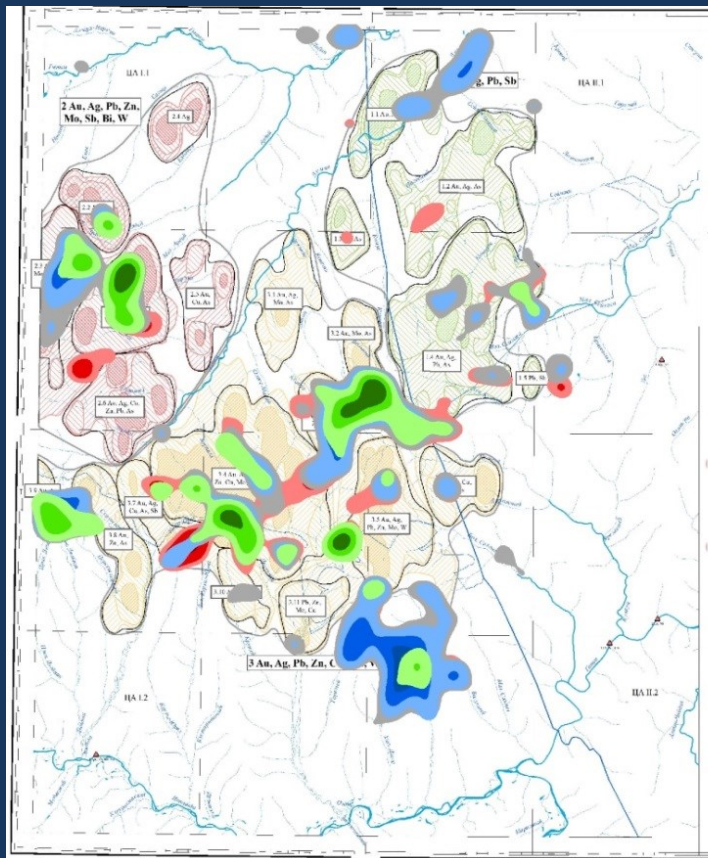
- Высокая > 30
- Средняя 10-30
- Низкая < 10

① Билибинская площадь

Рудно-формационная принадлежность

- Au, Ag, As
- Ag, Au, As, Bi, Cu, Pb, Sb, Zn, Mo, W

② Эхондинская площадь



Условные обозначения

Площадные геохимические аномалии

Рудно-формационная принадлежность

- Au, Ag, Pb, Sb
- Au, Ag, Pb, Zn, Mo, Sb, Bi, W
- Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, W

Интенсивность геохимических аномалий в единицах фона (цвет инверсия соответствует рудно-формационному типу)

- Высокая > 30
- Средняя 10-30
- Низкая < 10

Границы геохимических аномалий

- Линия уровня аном.
- Линия уровня фона

Точечные геохимические аномалии

- ▲ Ag, Sb

Границы

- Структурно-формационная зона (СФЗ)
- Структурно-формационная единица (СФЕ)



Мультипликативные геохимические ореолы, совмещенные с спектрометрическими ореолами гидротермалитов-метасоматитов

Рудогенные геохимические аномалии, совмещенные с спектрометрическими ореолами гидротермалитов-метасоматитов

Билибинская перспективная площадь

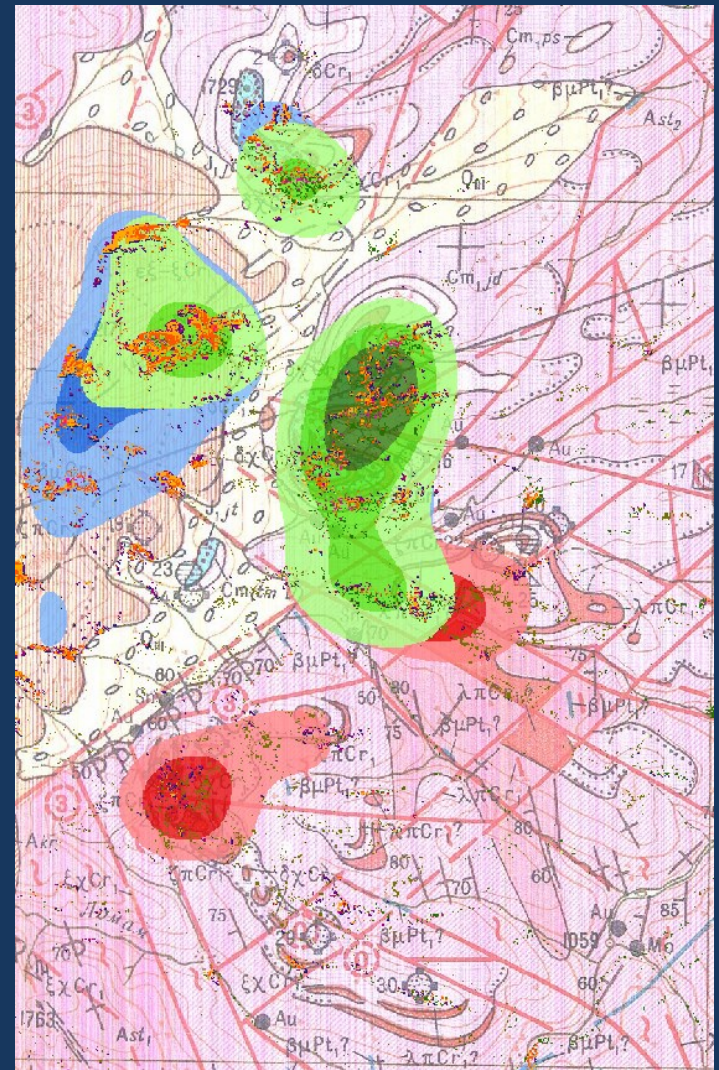
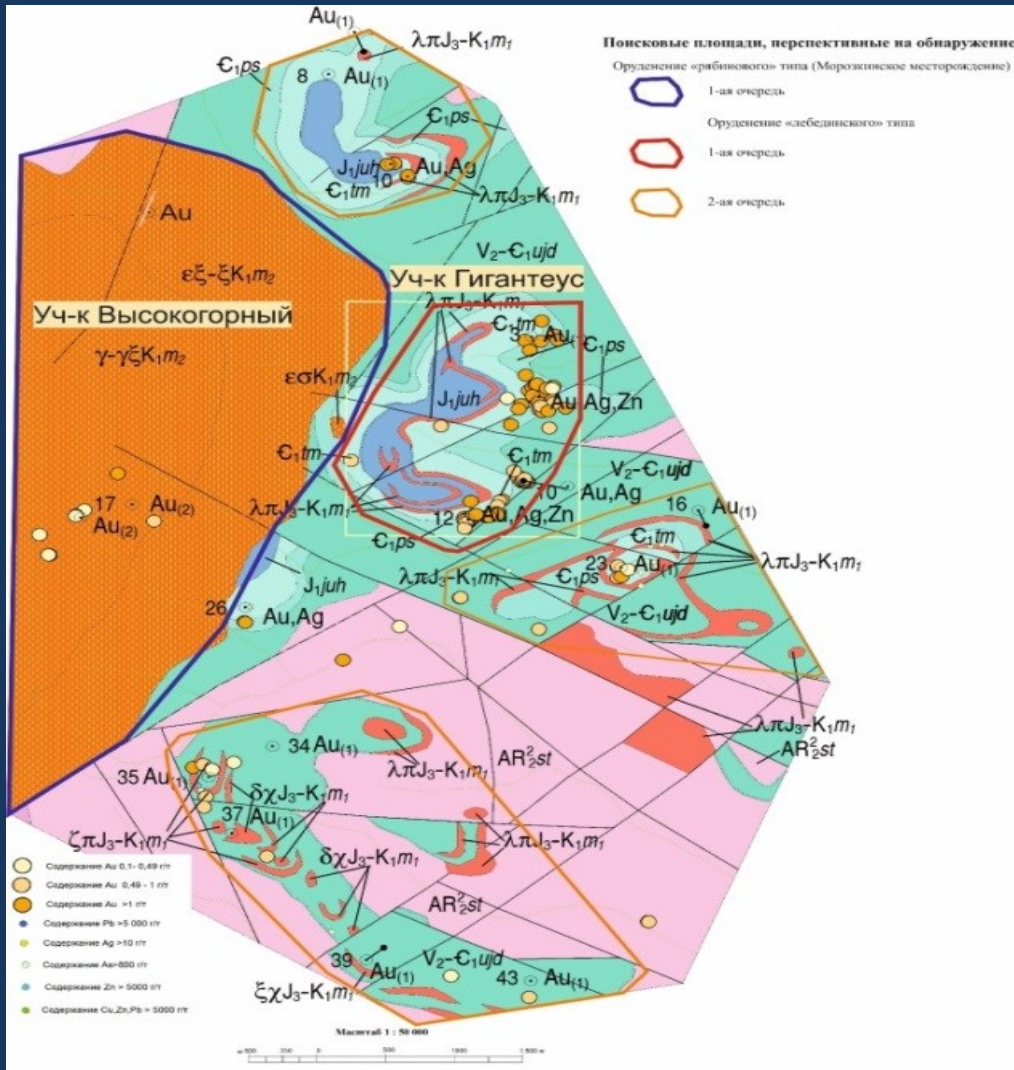
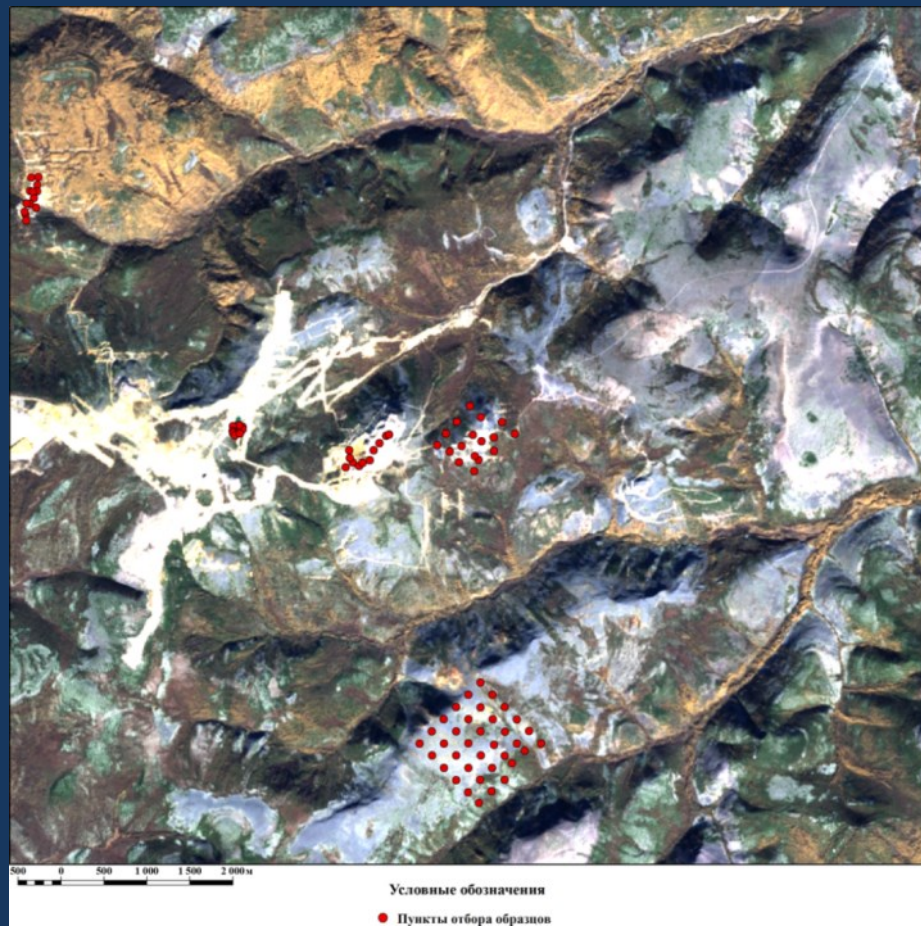
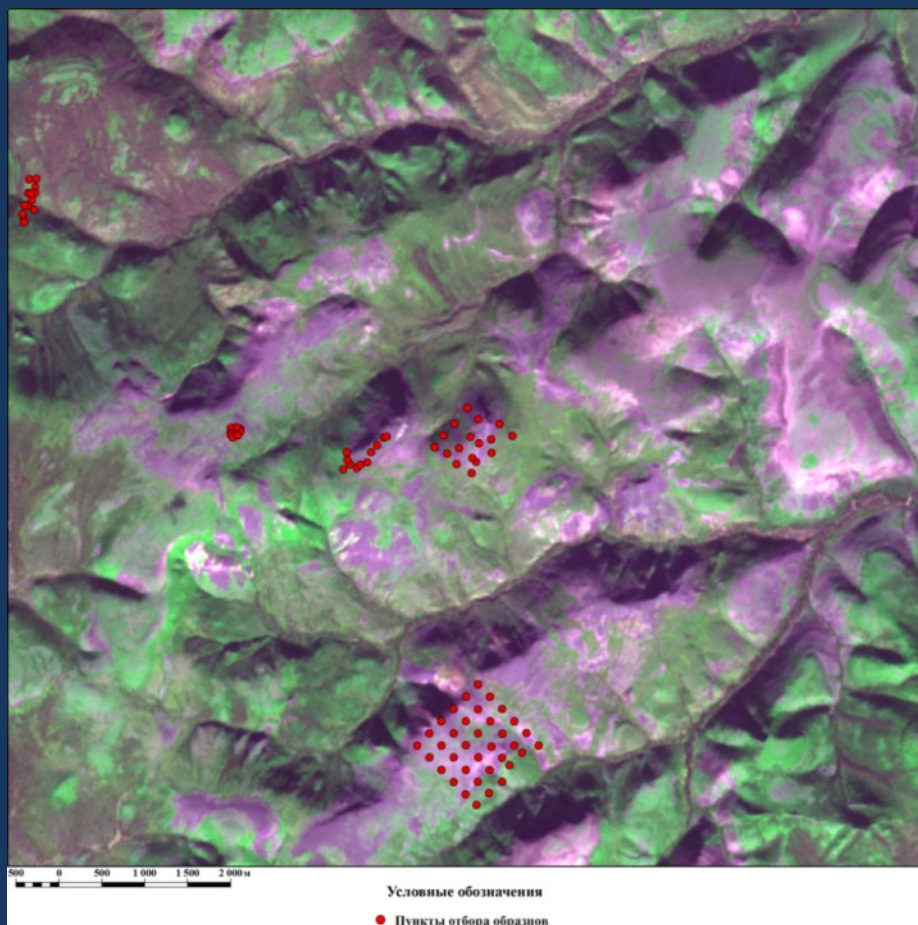


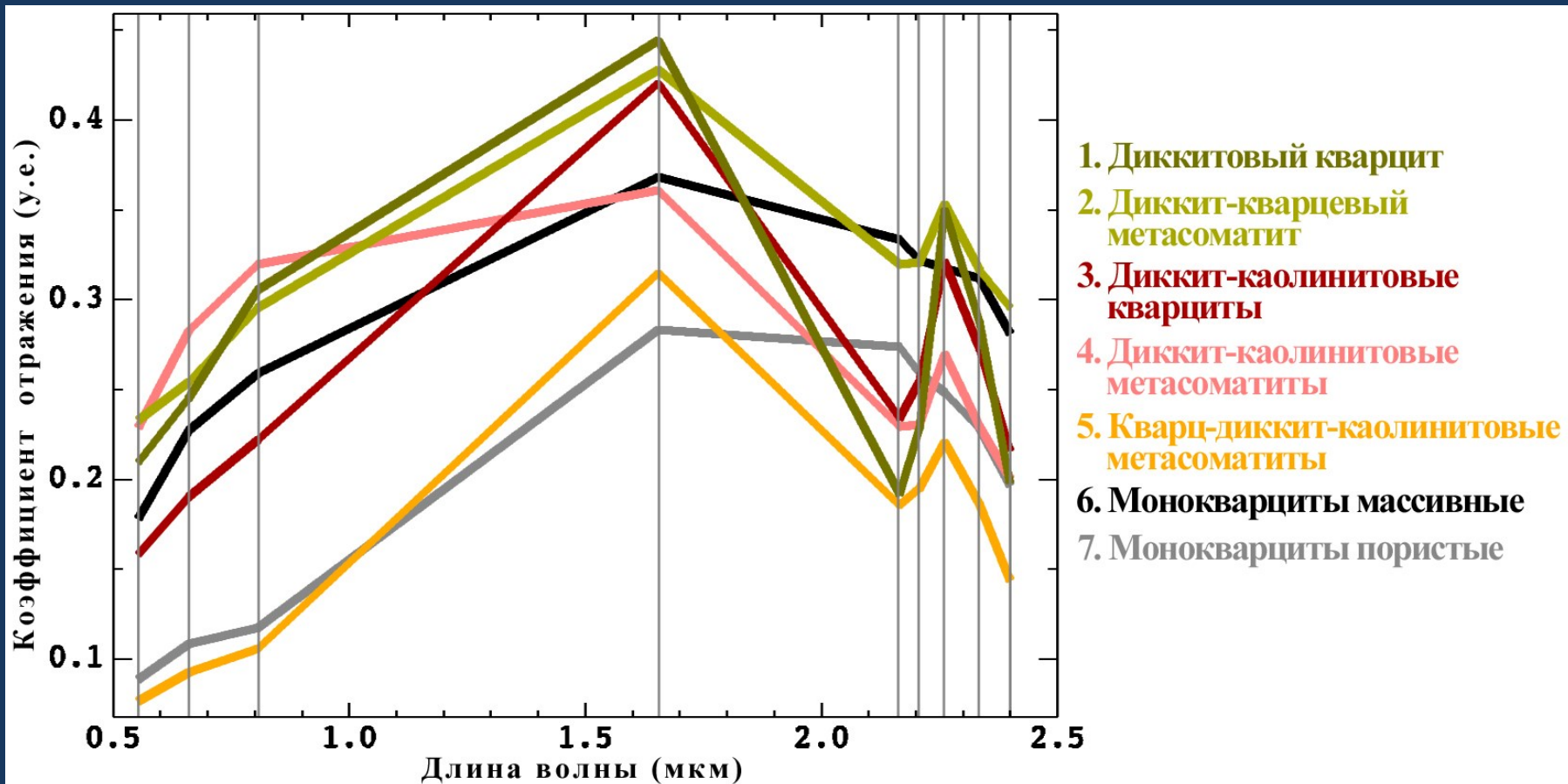
Схема поисковых участков 1-й и 2-й очереди (по геологическим материалам)

Фрагмент геологической карты м-ба 1:200 000 с комплексными спектроскопическими ореолами околорудных гидротермалитов-метасоматитов

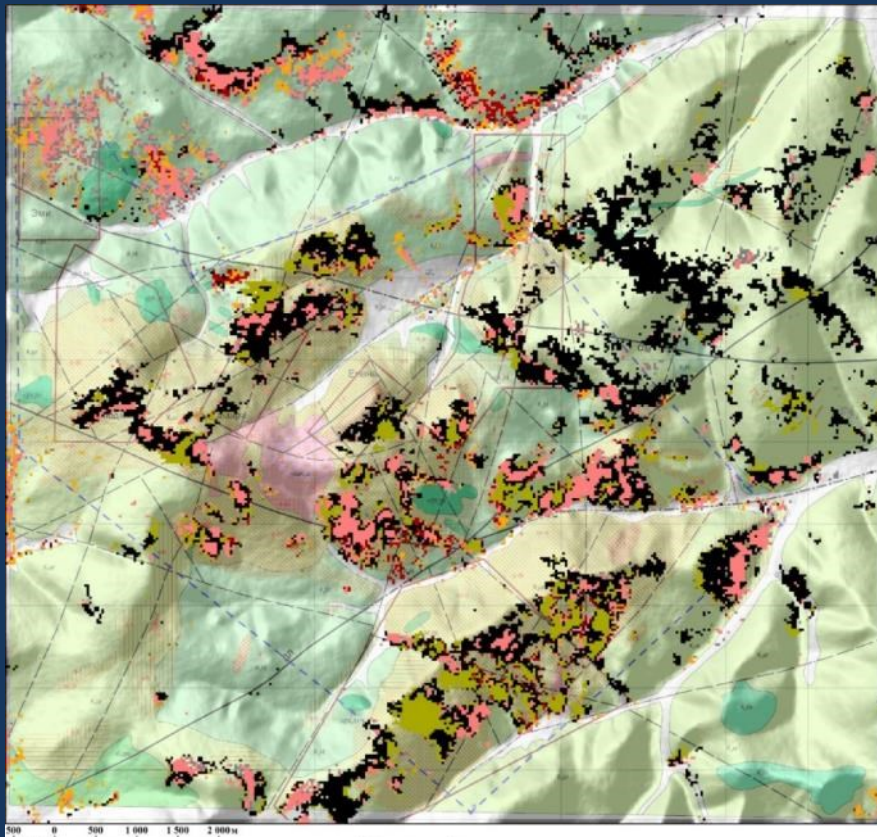
Другой подход к спектральным исследованиям был апробирован на примере эталонов околорудных гидротермалитов-метасоматитов РП «Светлое» (лист О-54-ХІV).



Пункты отбора эталонных образцов гидротермалитов-метасоматитов РП «Светлое» для спектрометрирования, наложенные на дистанционные основы, созданные по данным: А - КС ASTER (08.10.2000), В - КС LANDSAT 8 (25.09.2018)



Спектры эталонных образцов гидротермалитов-метасоматитов РП «Светлое».

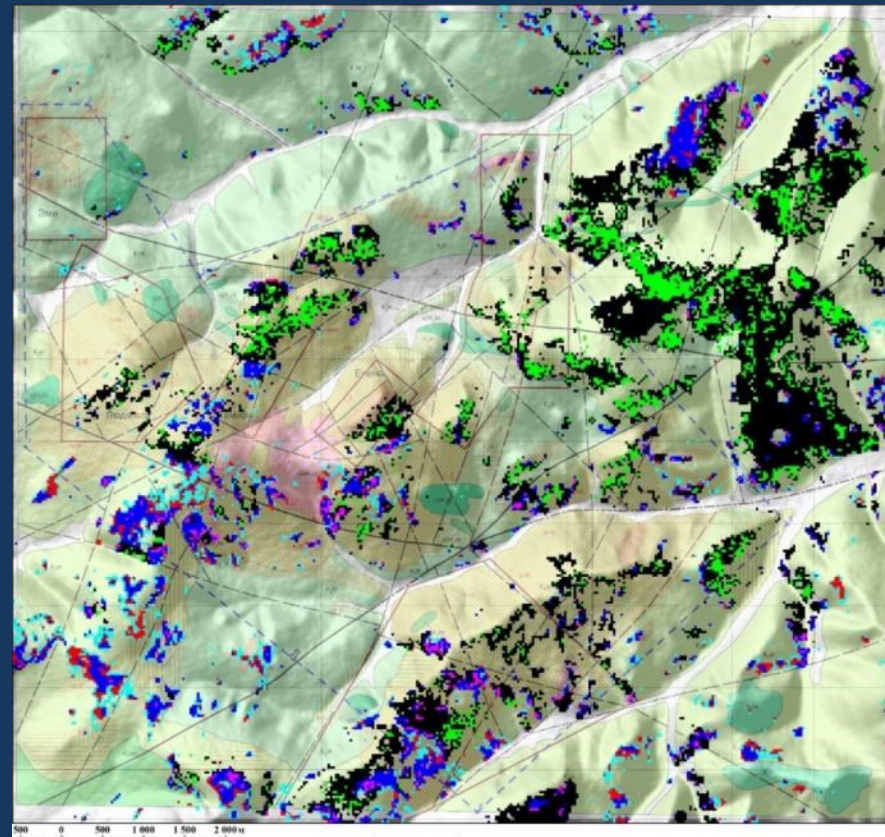
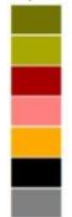


Условные обозначения

Породы-образцы

Диккитовый кварцит
 Диккит-кварцевый метасоматит
 Диккит-каолиновые кварциты
 Диккит-каолиновые метасоматиты
 Кварц-диккит-каолиновые метасоматиты
 Монокварциты массивные
 Монокварциты пористые

Цвет



Минералы-индикаторы:

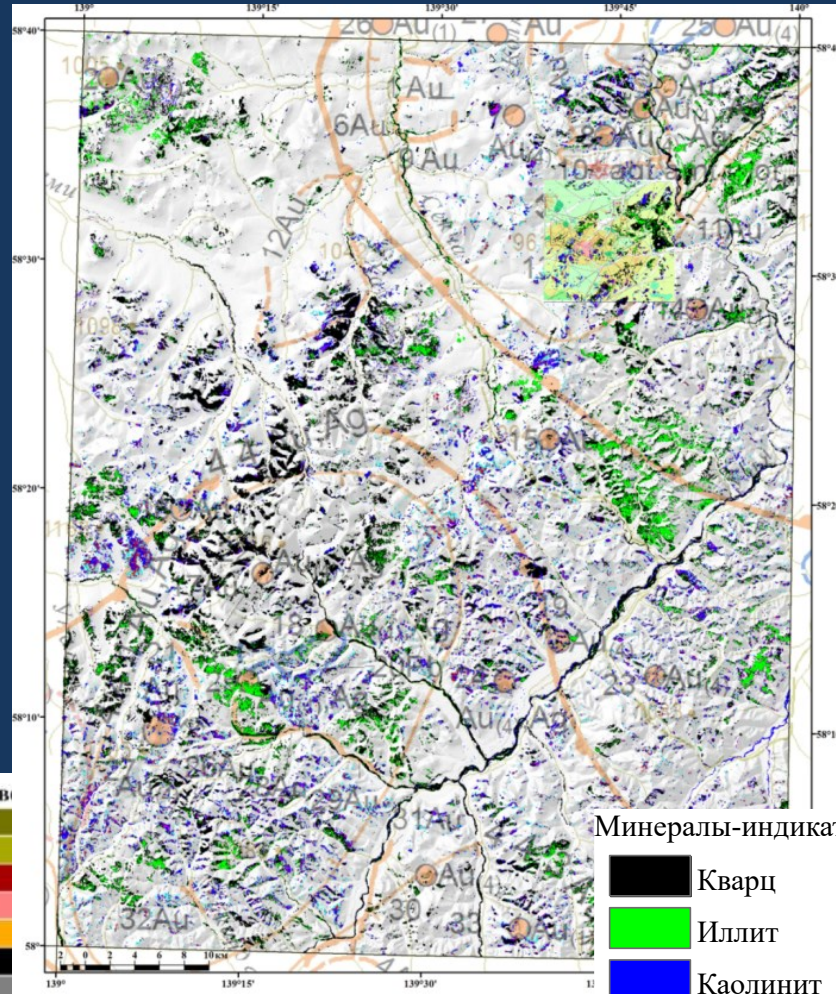
Кварц
 Иллит
 Каолинит
 Алунит
 Диккит
 Пирофиллит

Схема вероятностного распространения гидротермалитов-метасоматитов, характерных для РП «Светлое», наложенная на геологическую карту масштаба 1:25 000, совмещенную с моделью рельефа

Схема вероятностного распространения минералов-индикаторов гидротермалитов-метасоматитов РП «Светлое», наложенная на геологическую карту масштаба 1:25 000, совмещенную с моделью рельефа



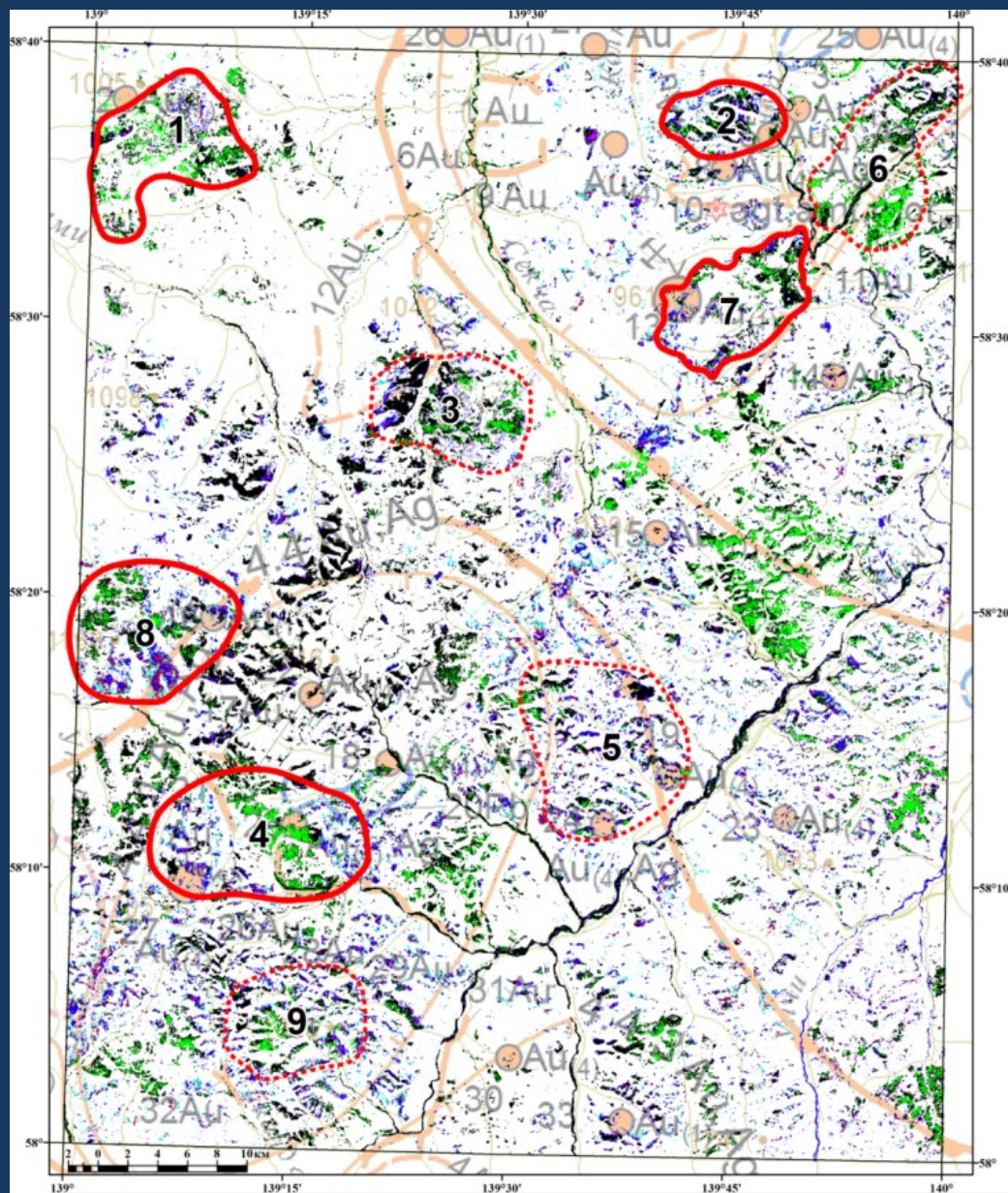
- Породы-образцы**
- Дикитовый кварцит
 - Дикит-кварцевый метасоматит
 - Дикит-каолинитовые кварциты
 - Дикит-каолинитовые метасоматиты
 - Кварц-дикит-каолинитовые метасоматиты
 - Монокварциты массивные
 - Монокварциты пористые
 - Кварцевый метасоматит по туфам дацитов
 - Метасоматит брекчированный по риолитам
 - Риолиты аргиллизированные
 - Риолиты окварцованные по массе
 - Туфы дацитов окварцованные по массе



- Минералы-индикаторы:**
- Кварц
 - Иллит
 - Каолинит
 - Алунит
 - Дикит
 - Пирофиллит

Схема вероятностного распространения гидротермалитов-метасоматитов, характерных для РП «Левобережное» и РП «Светлое», наложенная на карту полезных ископаемых масштаба 1:1 000 000 (2018 г.), совмещенную с моделью рельефа

Схема вероятностного распространения минералов-индикаторов гидротермалитов-метасоматитов, наложенная на карту полезных ископаемых масштаба 1:1 000 000 (2018 г.), совмещенную с моделью рельефа



Минералы-индикаторы:

| | |
|---|-------------|
|  | Кварц |
|  | Иллит |
|  | Каолинит |
|  | Алунит |
|  | Диккит |
|  | Пиррофиллит |

Комплексные спектротрические
аномалии гидротермалитов-метасоматитов



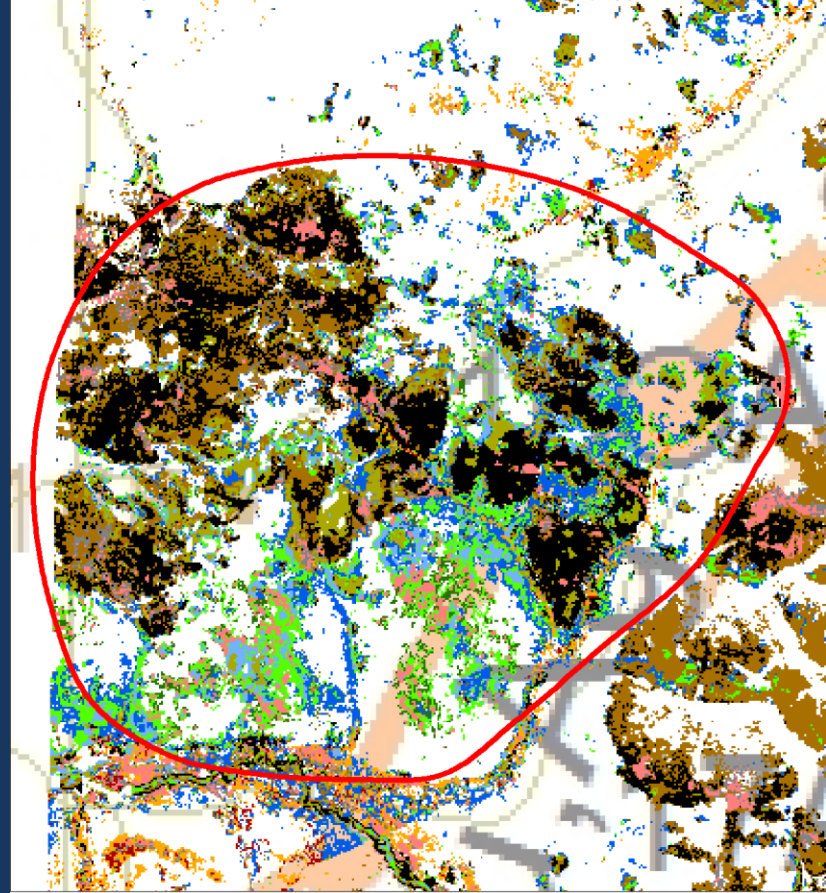
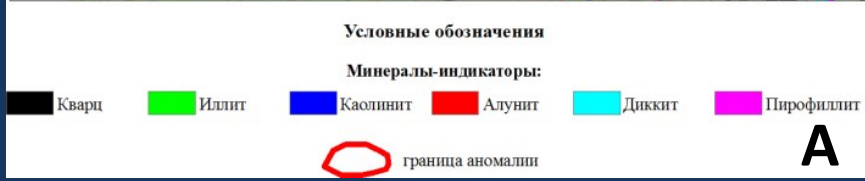
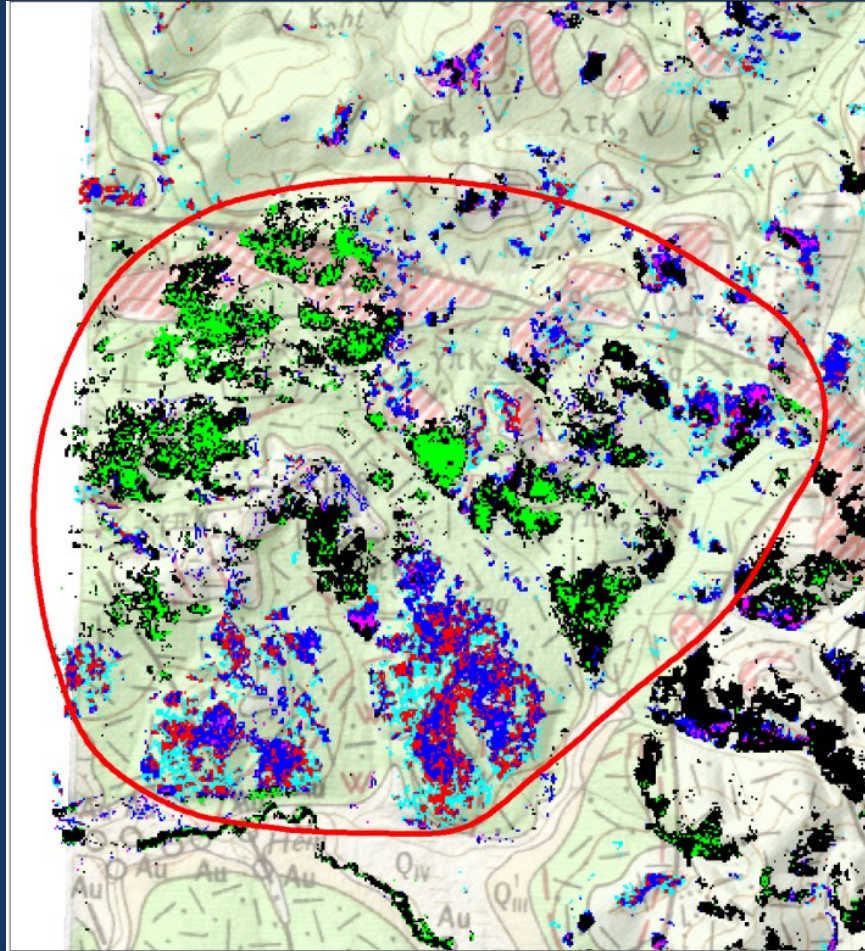
| | |
|---|-------------------|
|  | более достоверные |
|  | менее достоверные |

Схема вероятностных комплексных спектротрических аномалий минералов-индикаторов гидротермалитов-метасоматитов, наложенная на карту полезных ископаемых (2018 г.)



Прогнозный участок (площадь аномалии 8), выделенный по результатам анализа схем вероятностного распространения: А - минералов-индикаторов гидротермалитов-метасоматитов, наложенной на геологическую карту масштаба 1:200 000; В – гидротермально-метасоматических пород, характерных для РП «Светлое» и «Левобережная» наложенной на карту ПИ масштаба 1:1 000 000

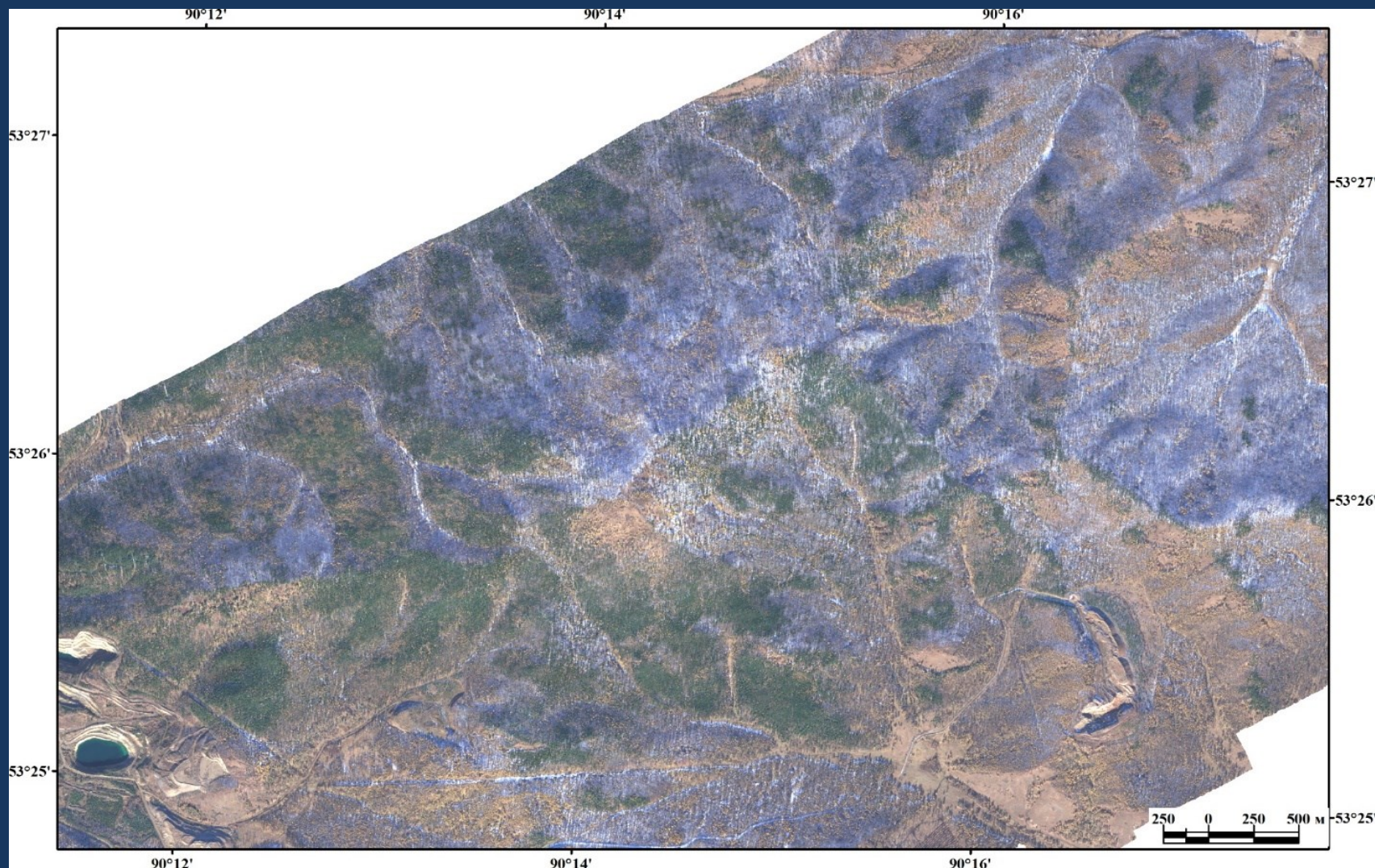
В настоящее время во ВСЕГЕИ имеется программно-аппаратный комплекс, включающий:

- авиационный гиперспектрометр, позволяющий получать аэроснимки в спектральных диапазонах 380 – 2500 нм и в 625 каналах, с пространственным разрешением – 1 м.

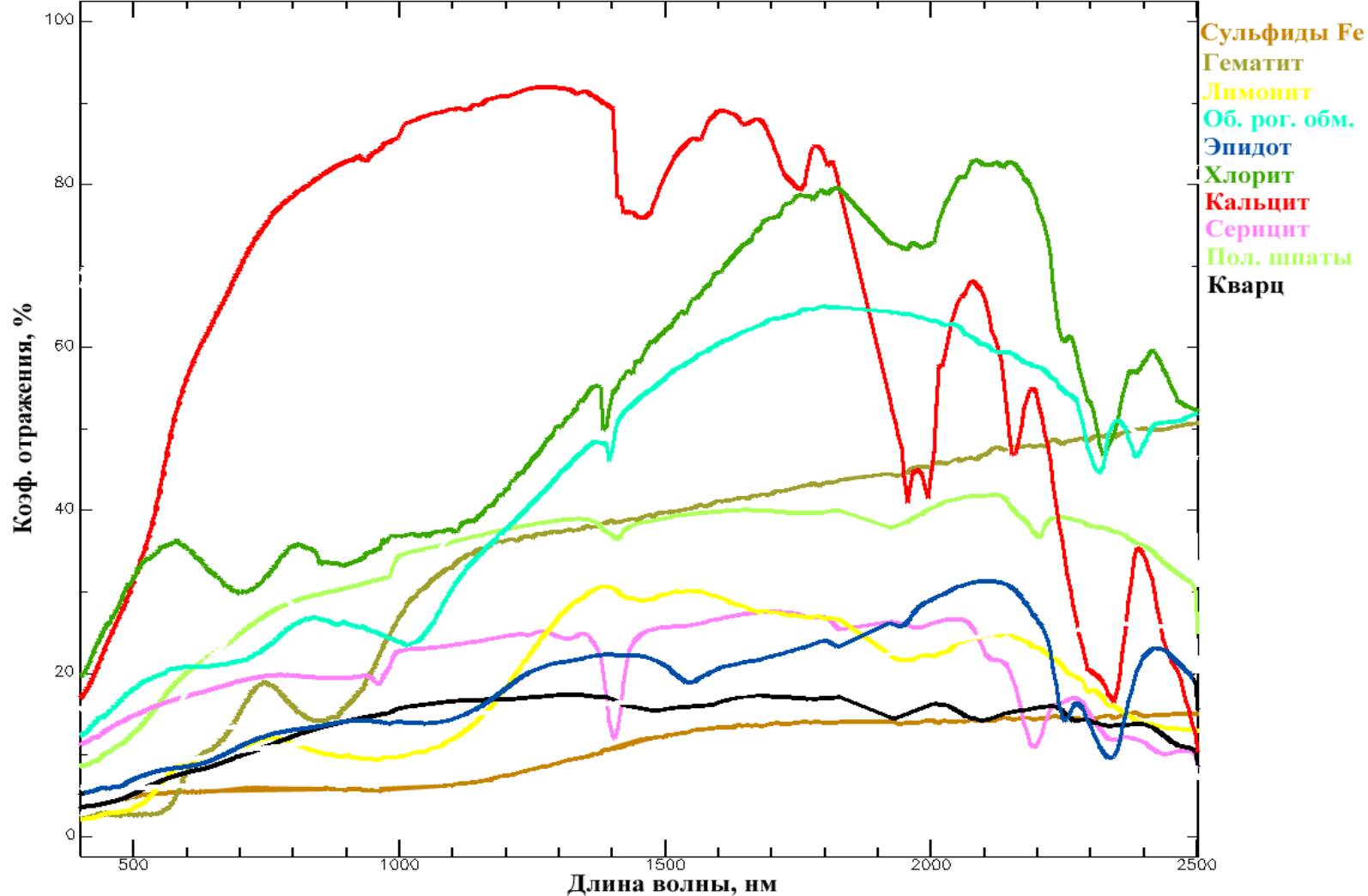


- полевой полнодиапазонный портативный спектрорадиометр PSR+ (спектральный диапазон 350 - 2500 нм, спектральное разрешение 0,3 – 0,8 нм, 1024 канала), для создания библиотеки спектров минералов и горных пород.

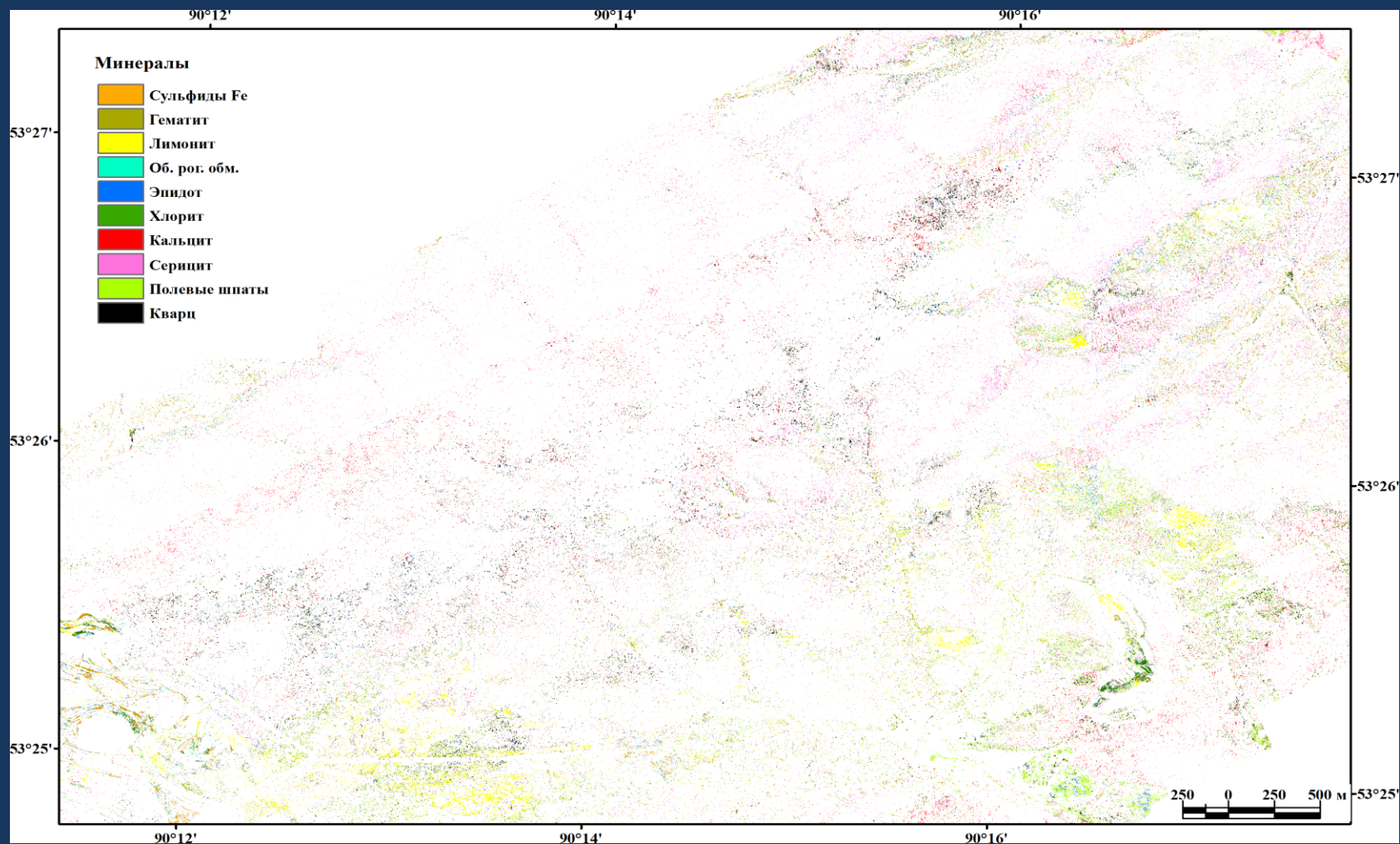




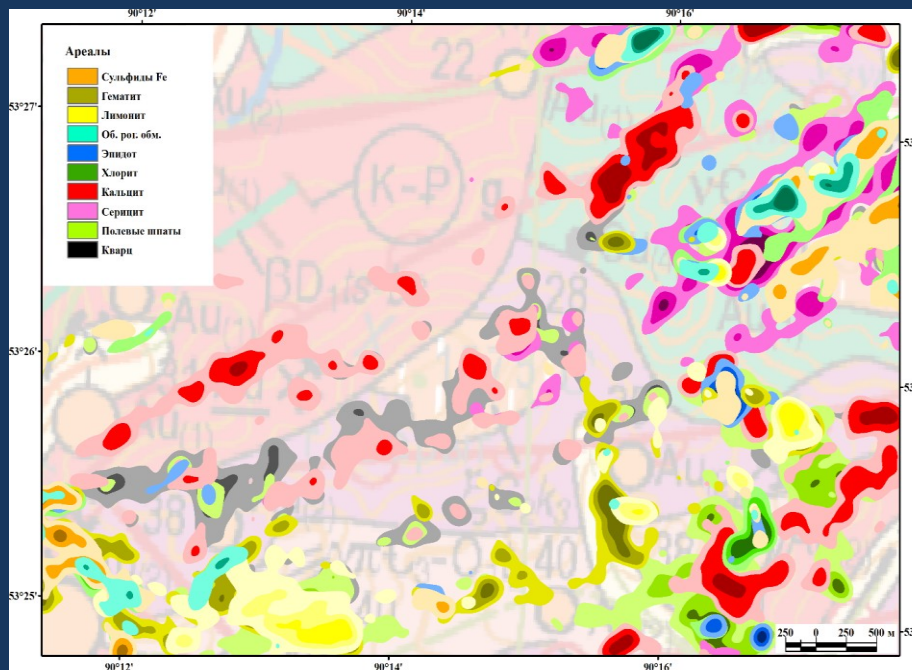
• Гиперспектральная дистанционная основа перспективной площади «Кузнецовская» (в пределах листа N-46-XIX). RGB композиция 174 (красного), 104 (зеленого) и 45 (синего) каналов аэроспектрометра (17.10.2021). Масштаб 1:25 000.



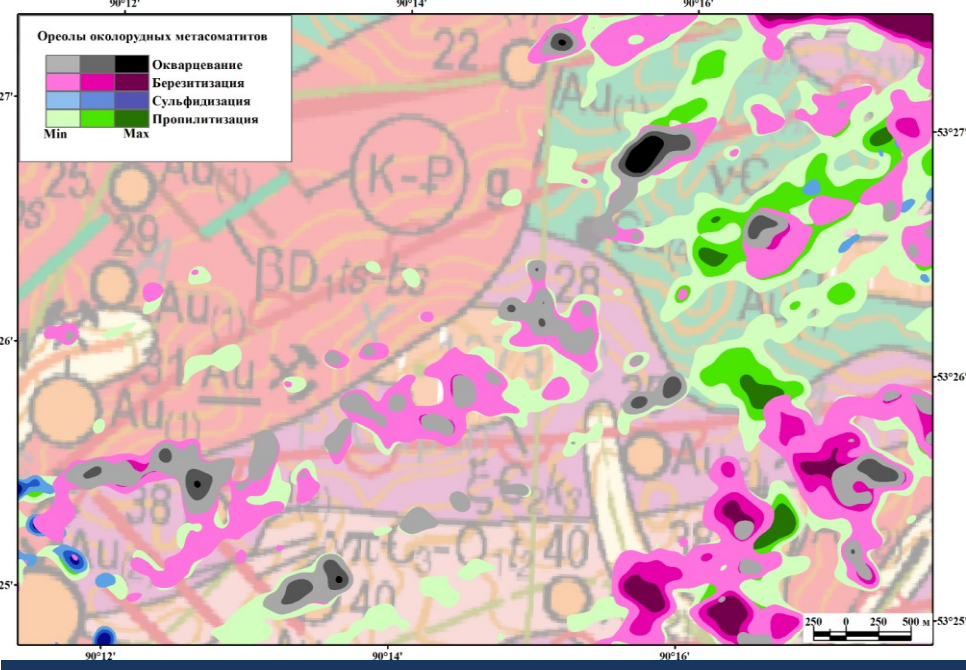
Спектры минералов-индикаторов, отобранных по результатам анализа геологических материалов



•Детальный участок площади «Кузнецовская». Схема вероятностного распределения минералов-индикаторов околорудных метасоматитов.



Вероятностная схема ореолов минералов-индикаторов, наложенная на карту полезных ископаемых масштаба 1:200 000



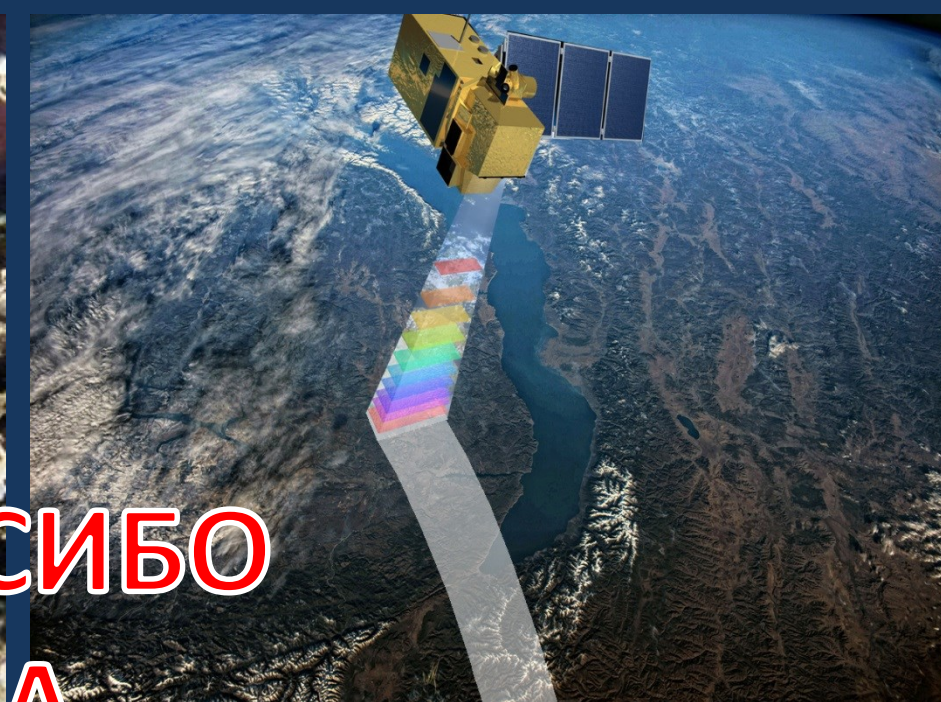
Вероятностная схема ореолов околорудных метасоматитов, наложенная на карту полезных ископаемых масштаба 1:200 000

Экспериментальные работы продемонстрировали качественную возможность использования аэрогиперспектральной аппаратуры, дальнейшей специализированной компьютерной обработки получаемых данных по разработанной ЦДМИ «ВСЕГЕИ» технологии и их анализа для выявления зон и ореолов околорудных гидротермально-метасоматических преобразований вмещающих пород (пропилитизации, березитизации, окварцевания/кварцевого прожилкования, сульфидизации) с целью выявления и локализации перспективных участков.

- Разработанная ЦДМИ технология специализированной компьютерной обработки гиперспектральной дистанционной основы (ГДО), созданной по аэро- и космическим данным, и последующий спектральный анализ ГДО выявляют вероятностное распределение околорудных гидротермально-метасоматических изменений, основываясь на возможности диагностировать присутствие тех или иных минералов и их ассоциаций по их индивидуальным спектральным параметрам на площадях опосредованного поиска, позволяющее определять перспективные участки локализации оруденения еще на предварительном этапе поисковых работ.

- Как показали опытно-методические исследования, основное преимущество использования данных гиперспектральной съемки заключается в возможности получать информацию о распространении индикаторных 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).

К наиболее благоприятным по геолого-ландшафтным условиям районам использования данных аэро- и космических гиперспектральных съемок для решения задач геологического картографирования и прогнозно-поисковых работ относятся горно-складчатые территории, лишенные растительного покрова и арктические районы России.



**СПАСИБО
ЗА**



ВНИМАНИЕ !