

GEO Eurasia 2024

ГеоЕвразия-2024.
Геологоразведочные технологии:
наука и бизнес

12-14 марта 2024 года, г. Москва

**Применение данных
дистанционного зондирования
Земли для планирования и
выполнения геологоразведочных
работ**

Гудков Николай Сергеевич, Илюшина П.Г.,
Ярков К.П., Читалин А.Ф., Сивков Д.В.,
Чикатуева В.Ю.

ИГТ-Скай Групп

n.gudkov@igeotech.ru

ОРГАНИЗАТОРЫ

Общественный
совет
при Роснедрах



www.gece.moscow

Использование данных дистанционного зондирования Земли в геологических исследованиях

Основные направления:

- анализ земной поверхности;
- анализ глобальных и локальных аномалий;
- составление геологических карт;
- осуществление геологического мониторинга;
- выявление потенциальных месторождений полезных ископаемых.

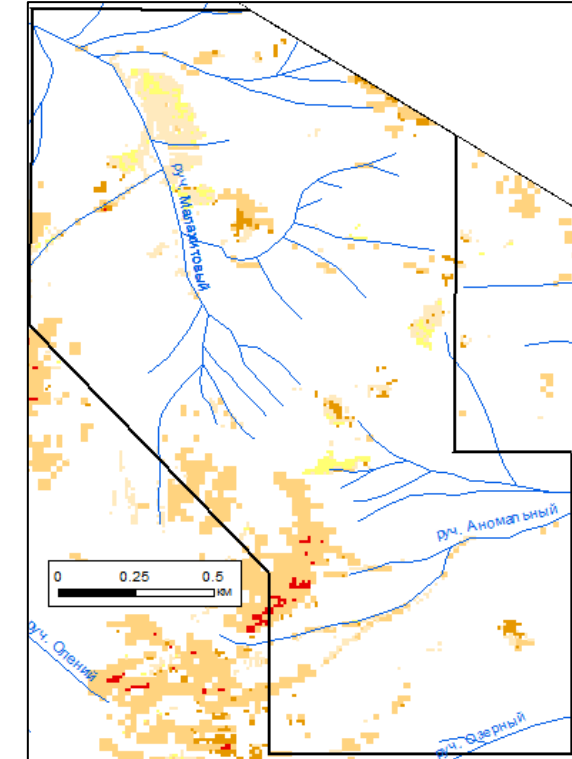


Примеры данных ДЗЗ с БВС и спутниковой съемки:
Сверху – спутниковая подложка;
Снизу – ортофотоплан.

Использование данных дистанционного зондирования Земли в геологических исследованиях

Применение ДДЗ для планирования полевых работ

- выбор наиболее перспективных участков;
- первичная информация для планирования разведки полезных ископаемых (расположение населенных пунктов, коммуникаций, дорог, троп, информации о рельефе);
- планирование расположения полевого лагеря и технологии доступа к разведочным площадям;
- прогнозирование рудных зон по цветовым аномалиям;
- составление планов маршрутов и зон интереса;



Использование данных дистанционного зондирования Земли в геологических исследованиях

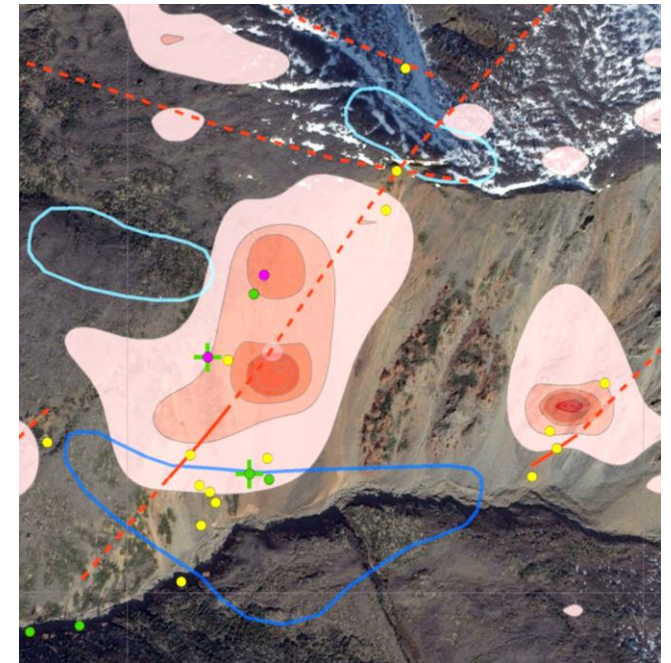
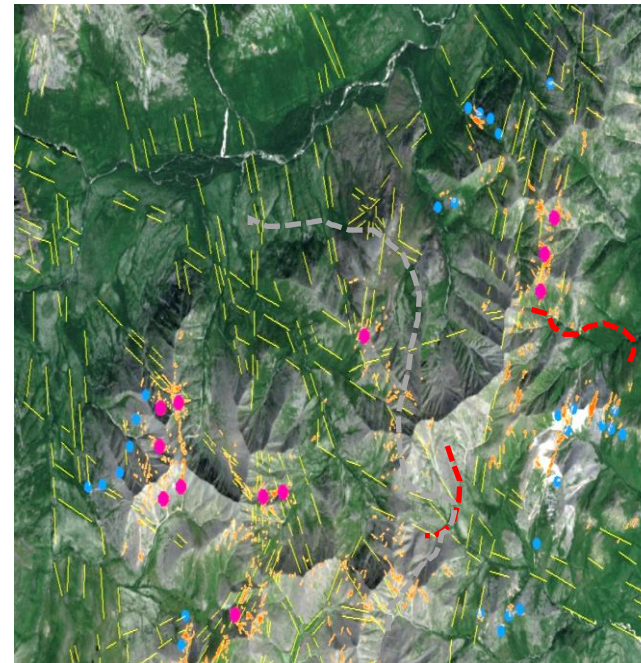
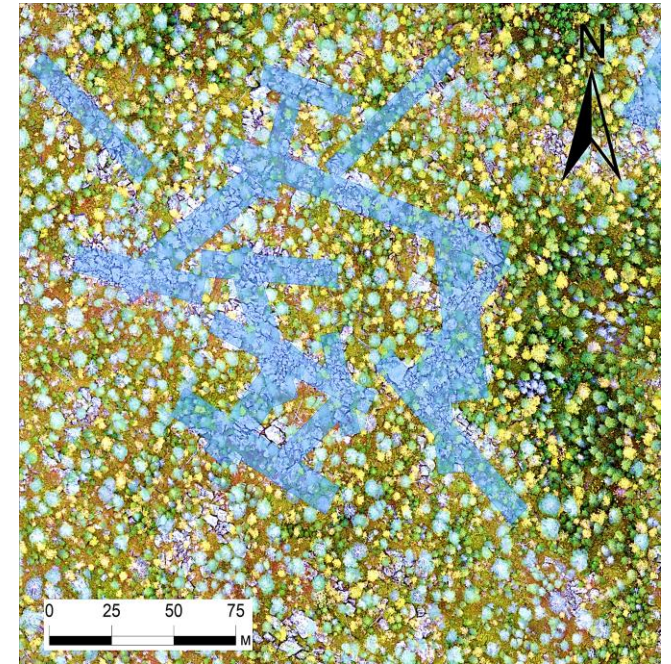
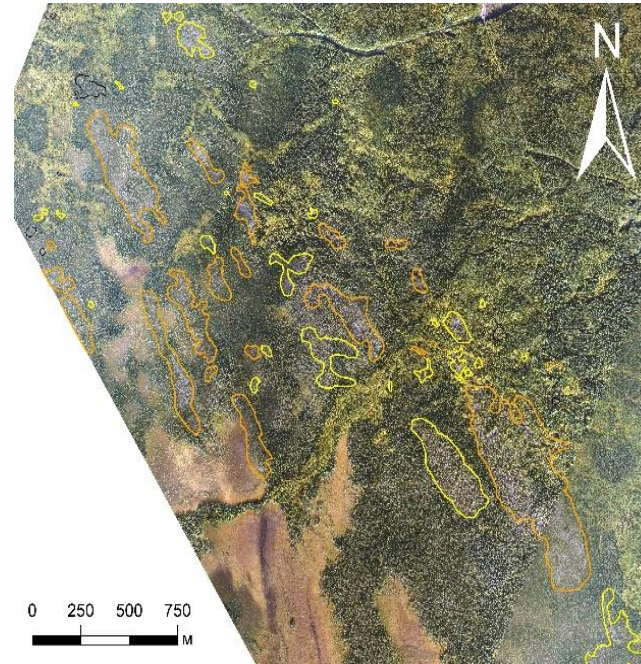
Применение БВС в геологических работах

Решение на базе БВС:

- Инженерные изыскания (аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование);
- Маловысотная аэрогеофизика;
- Маловысотная гамма-спектрометрия;
- Спектральная и гиперспектральная съемка;
- Аэровизуальный мониторинг местности.

Результат обработки данных:

- Ортофотопланы, ЦММ, ЦМР, 3D модели;
- Специализированные карты, схемы и планы;
- 3D модели местности;
- Выделение участков коренных обнажений, рудных зон, спектральных аномалий, линеаментов.



Использование данных дистанционного зондирования Земли в геологических исследованиях

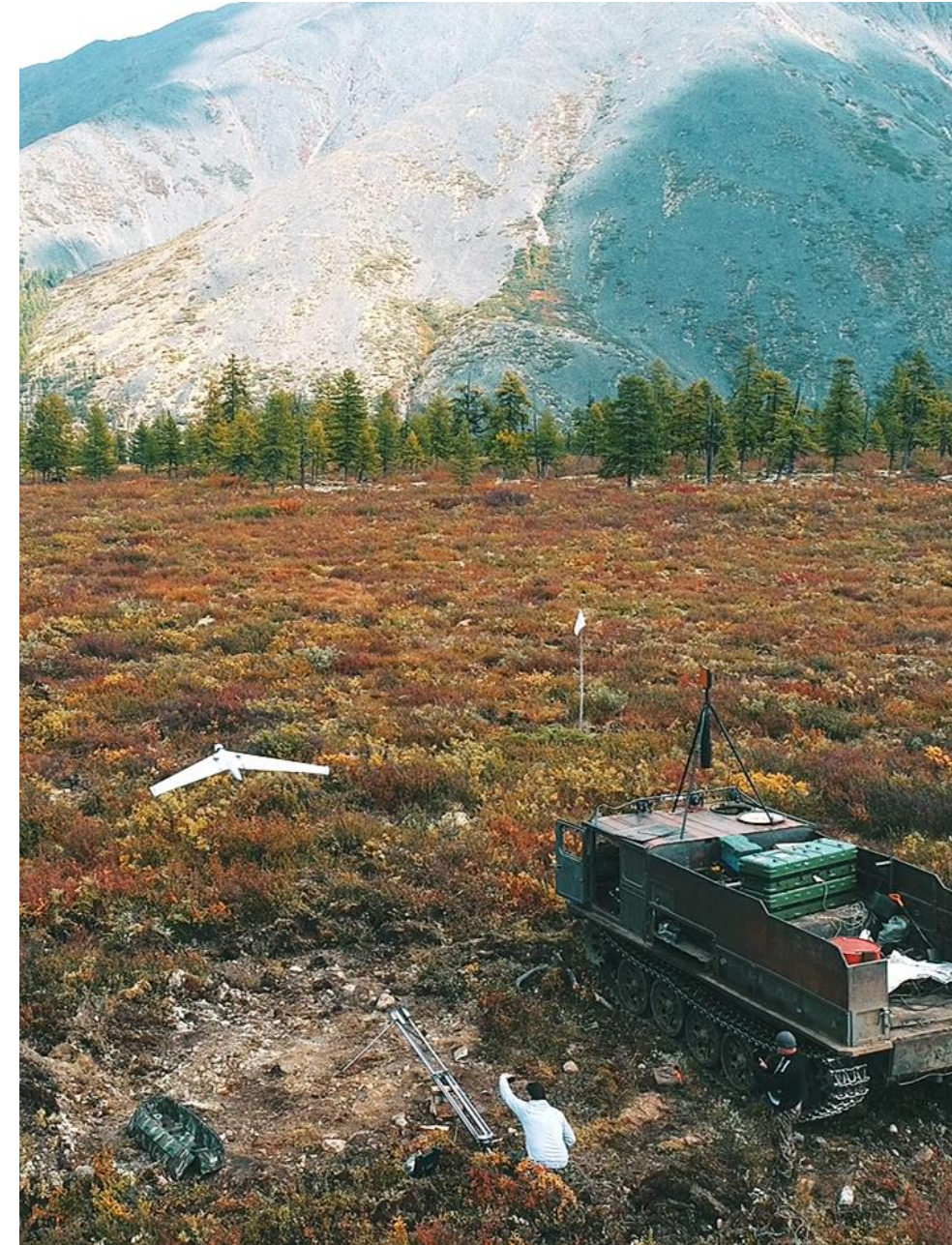
Плюсы и минусы использования БВС в геологоразведке

Плюсы:

- Снижение временных и финансовых затрат при проведении поисково-оценочных, разведочных, горно-добычных работ;
- Сбор большого количества данных для тематической интерпретации;
- Большая площадь покрытия по сравнению с прямыми методами;
- Большая детальность по сравнению со спутниковой съемкой;

Минусы:

- Законодательные ограничения использования БВС (долгая процедура согласования и получения материалов);
- Необходимость нахождения персонала на участке работ;
- Меньшая производительность по сравнению с пилотируемой авиацией.



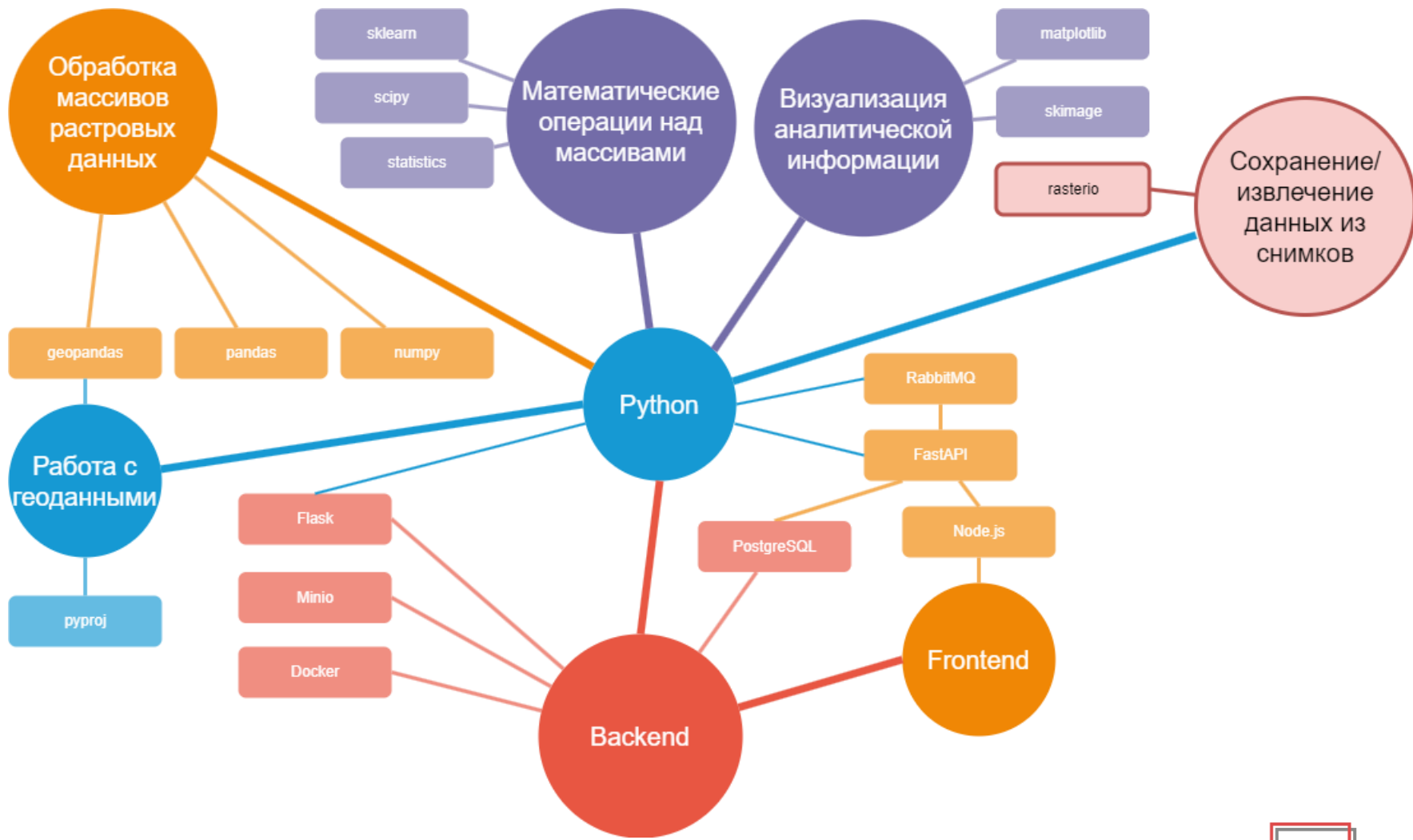
Камеральная обработка данных

Программный модуль для спектрального анализа ДДЗ

Разработан прототип, который в настоящий момент может:

- ▶ Выполнять предварительную обработку космических снимков ASTER и Sentinel-2
- ▶ Рассчитывать спектральные индексы
- ▶ Выделять спектральные аномалии, которые могут быть связаны с распространением оксида железа и выходов светлых минералов на основе моделей машинного обучения
- ▶ Обработать космические снимки по методу главных компонент
- ▶ Классифицировать пиксели по химическому составу на основе сравнения кривых спектральной яркости спутникового изображения с эталонными из библиотек спектральных образов

Для хранения результатов разработана база данных (получено свидетельство о регистрации РИД)



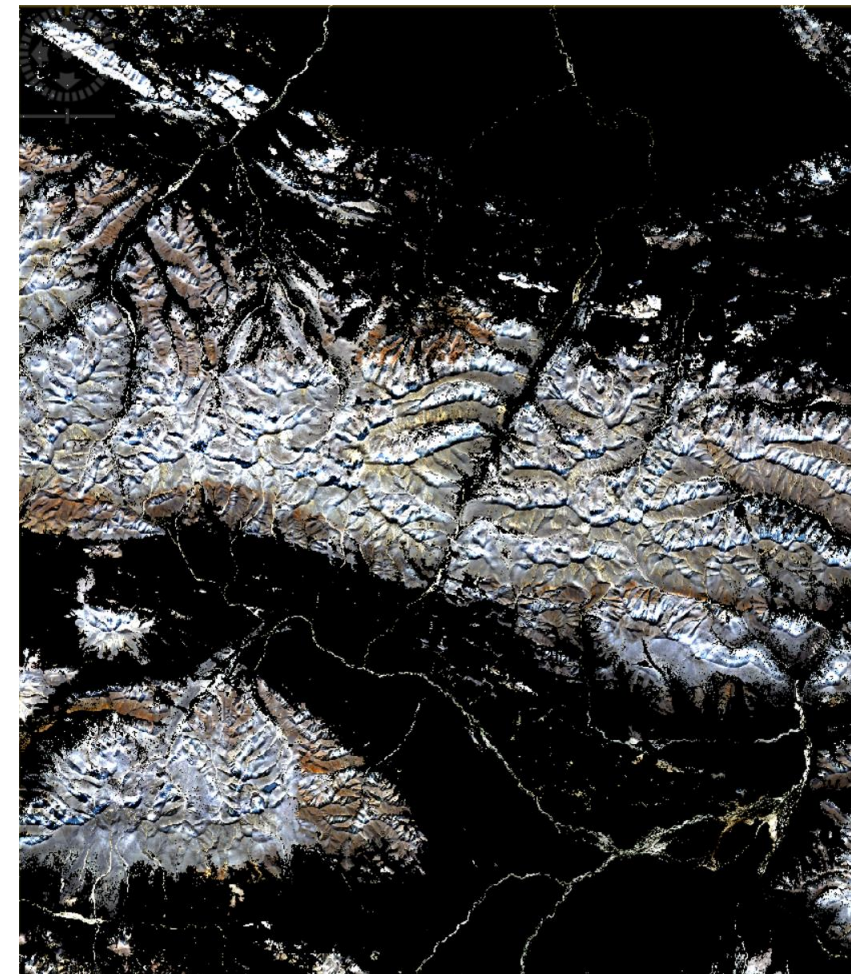
Камеральная обработка данных

Программный модуль для спектрального анализа ДДЗ

Предварительная обработка

- атмосферная коррекция
- приведение размера пикселя
- создание маски облачности
- создание маски снега
- создание маски растительности

Используется библиотека numru – высокая скорость обработки в отличие от стандартных инструментов для обработки Sentinel-2



Снимок Sentinel-2 от 20 августа 2019 в натуральной цветопередаче:

Слева – исходный

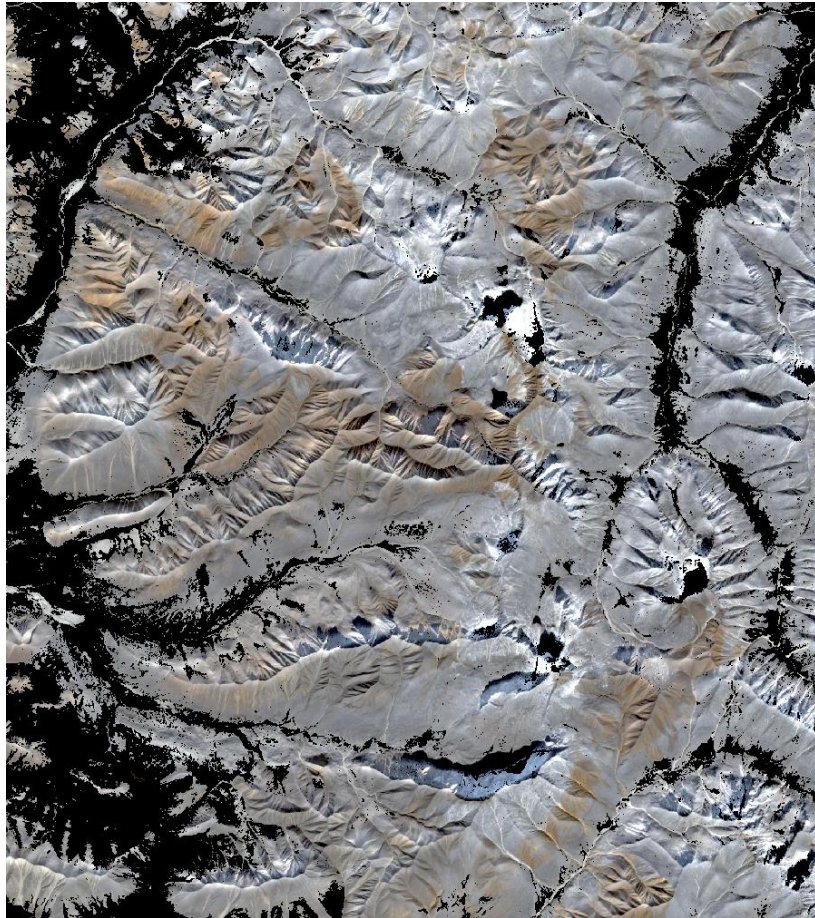
Справа – после удаления «непригодных» для спектрального анализа участков

Камеральная обработка данных

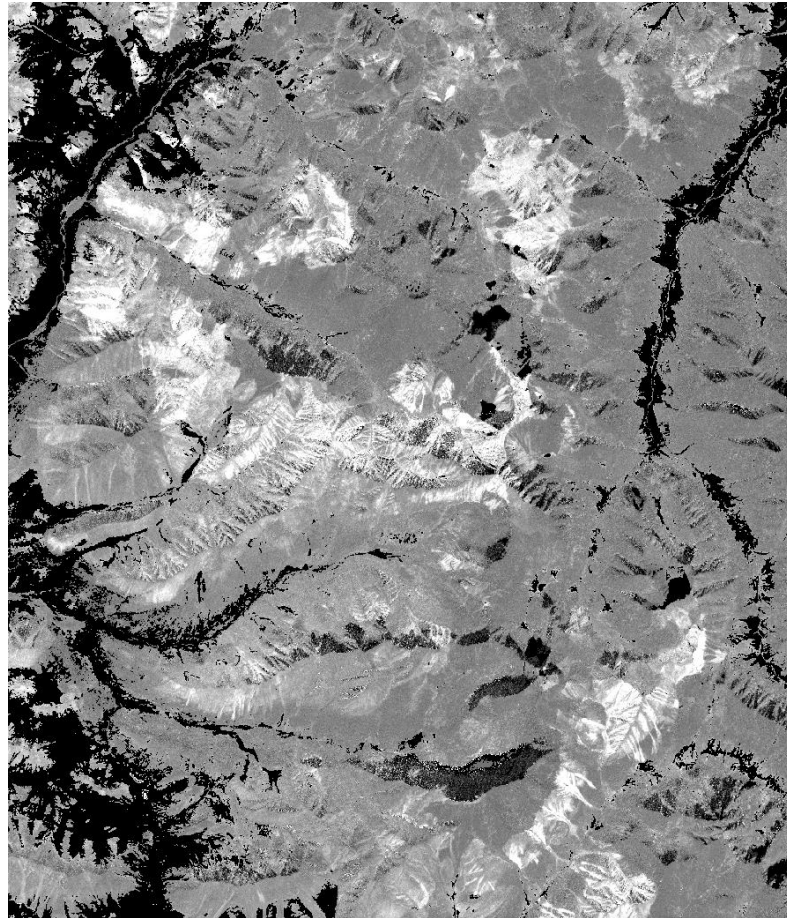
Программный модуль для спектрального анализа ДДЗ

Расчет спектральных индексов

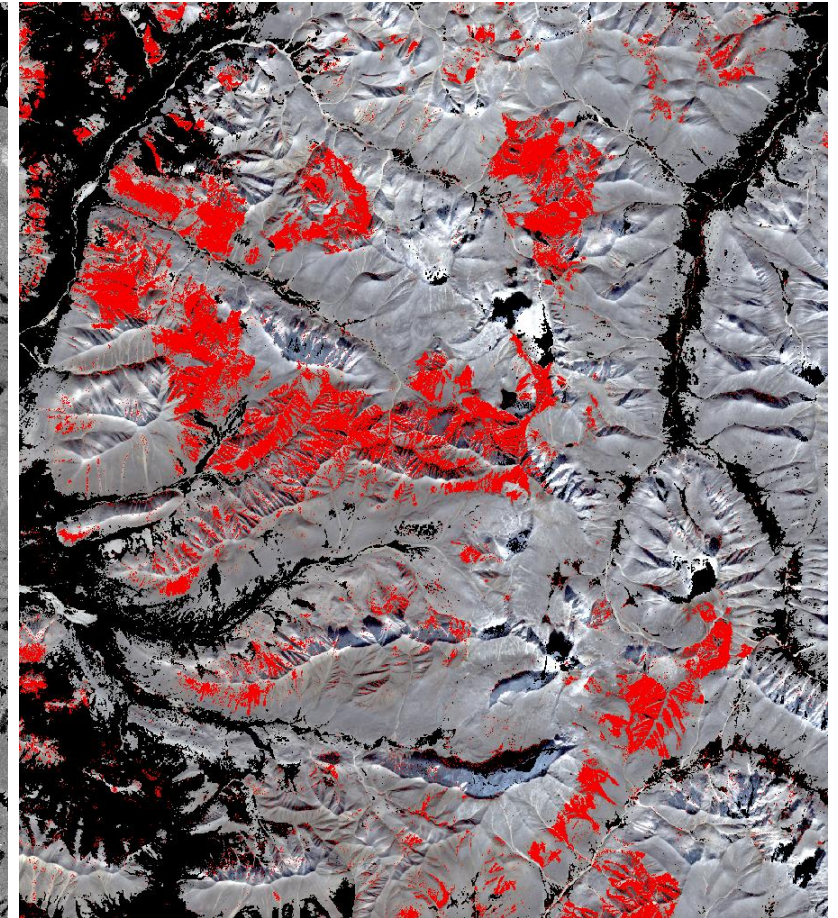
Снимок Sentinel-2 от 20 августа 2019 в
натуральной цветопередаче после маскирования



Результат расчета индекса Fe_2O_3



Маска по максимальным значениям индекса
 Fe_2O_3 , наложенная на исходный снимок



Камеральная обработка данных

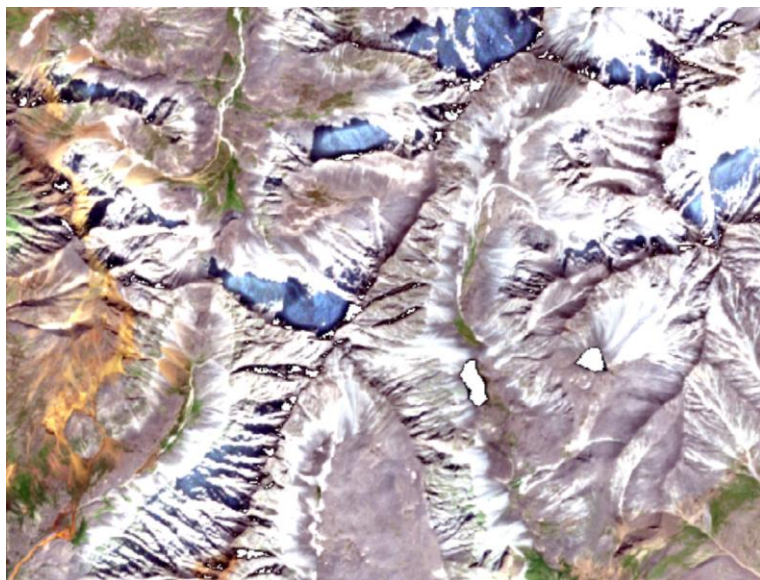
Программный модуль для спектрального анализа ДДЗ

Расчет спектральных индексов

— комбинирование спектральных индексов и/или отдельных спектральных каналов позволяет подчеркнуть резкие изменения спектральных характеристик местности, которые могут быть связаны с особенностями геологического строения.

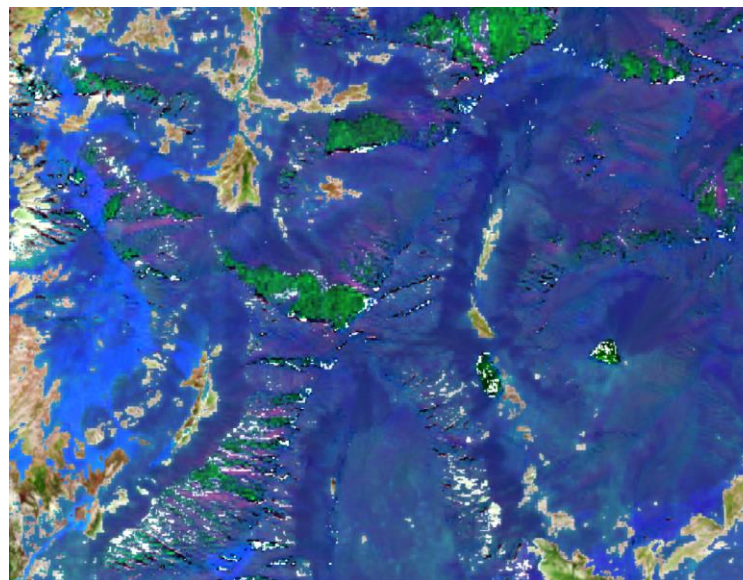
Sentinel-2, 07.08.2019

Натуральная цветопередача



Sentinel-2, 07.08.2019

Синтез из отношений каналов



- Красный канал – $(SWIR\ 1.6)/(SWIR\ 2.2)$
- Зеленый канал - Red/Blue
- Синий канал - Red/(SWIR 1.6)

- Красные оттенки соответствуют глинистым минералам (hydroxyl bearing alteration minerals)
- Зеленые – оксиды железа (iron oxides)
- Синие и голубые – закиси железа (ferrous iron oxides)

Камеральная обработка данных

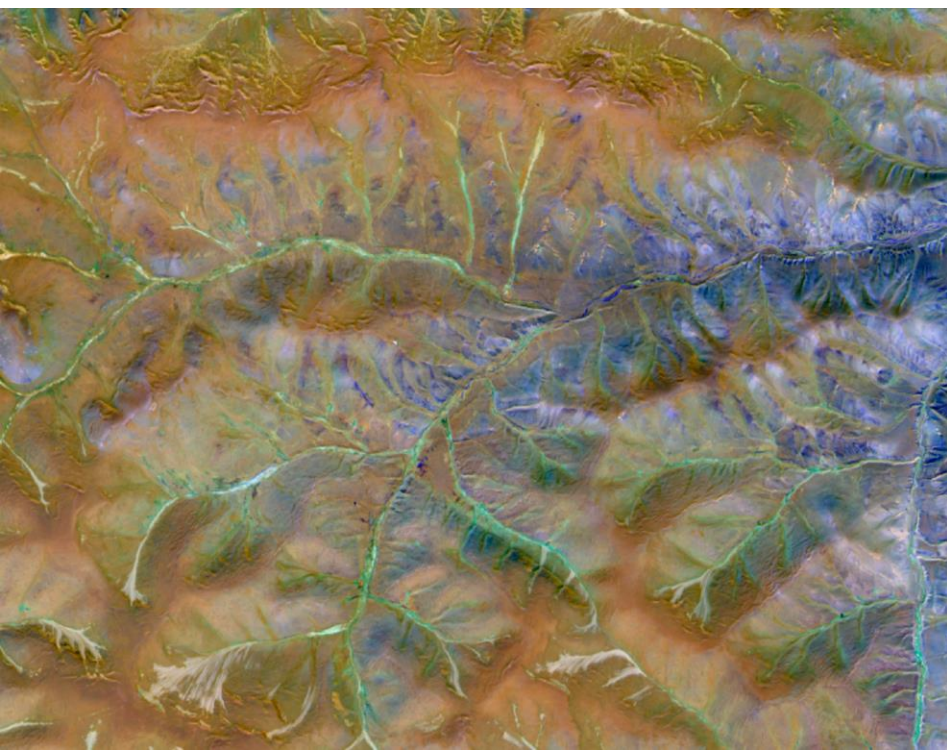
Программный модуль для спектрального анализа ДДЗ

Метод главных компонент

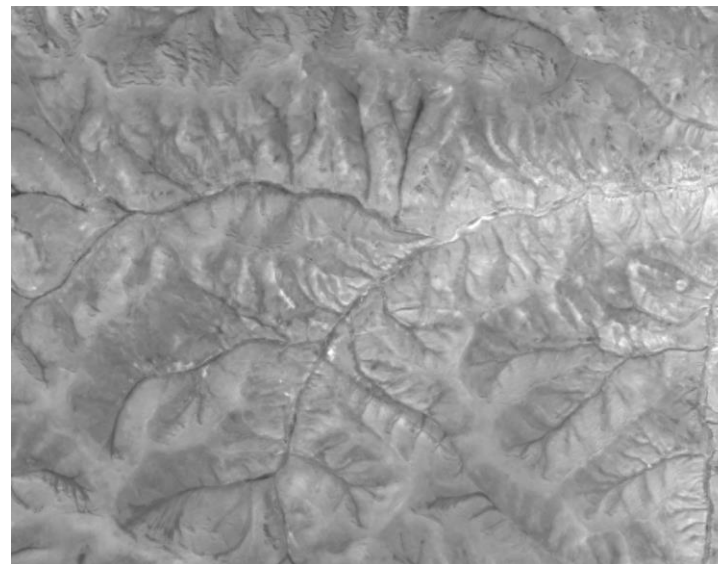
- уменьшение размерности данных с минимальной потерей информации;
- получение нового набора изображений, которые подчеркивают распространение геохимических аномалий

Sentinel-2, 14.08.2021

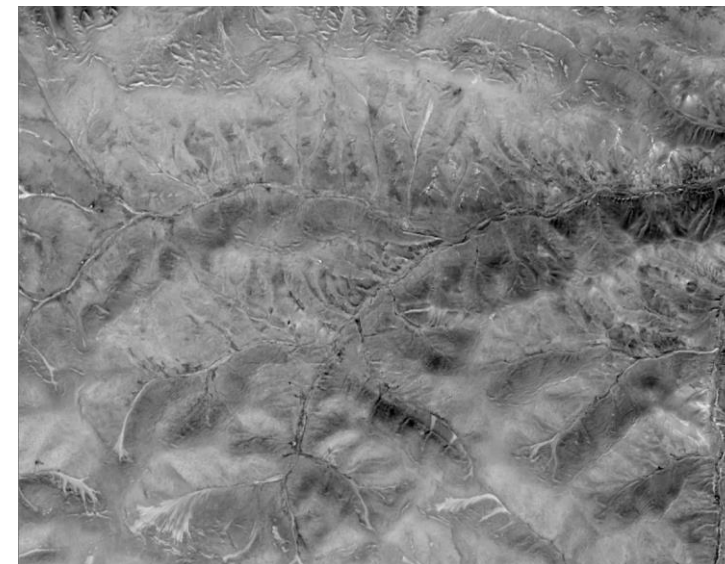
Синтезированное изображение 1,2 и 3 компонент



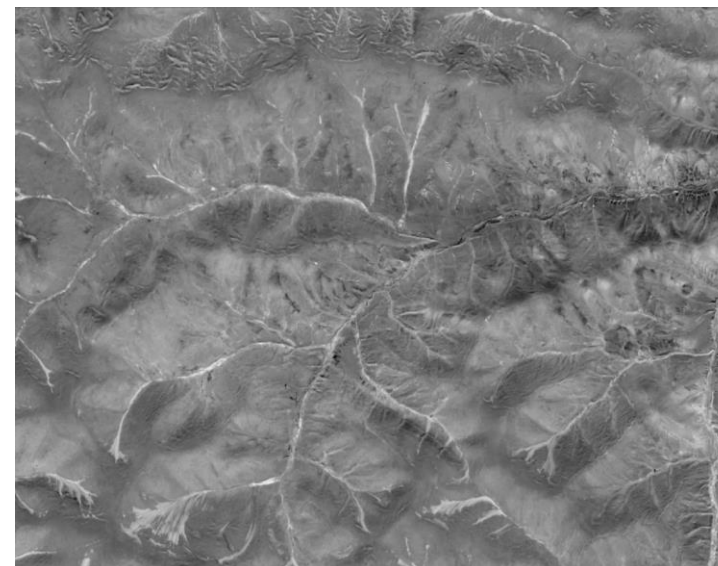
1 компонента



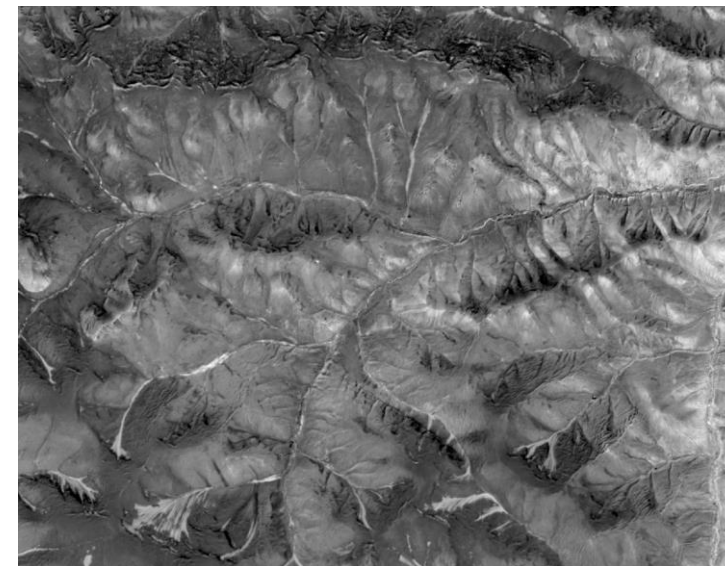
2 компонента



3 компонента



4 компонента



Камеральная обработка данных

Программный модуль для спектрального анализа ДДЗ

Автоматическое выделение зон ожелезнения

Использование двух моделей:

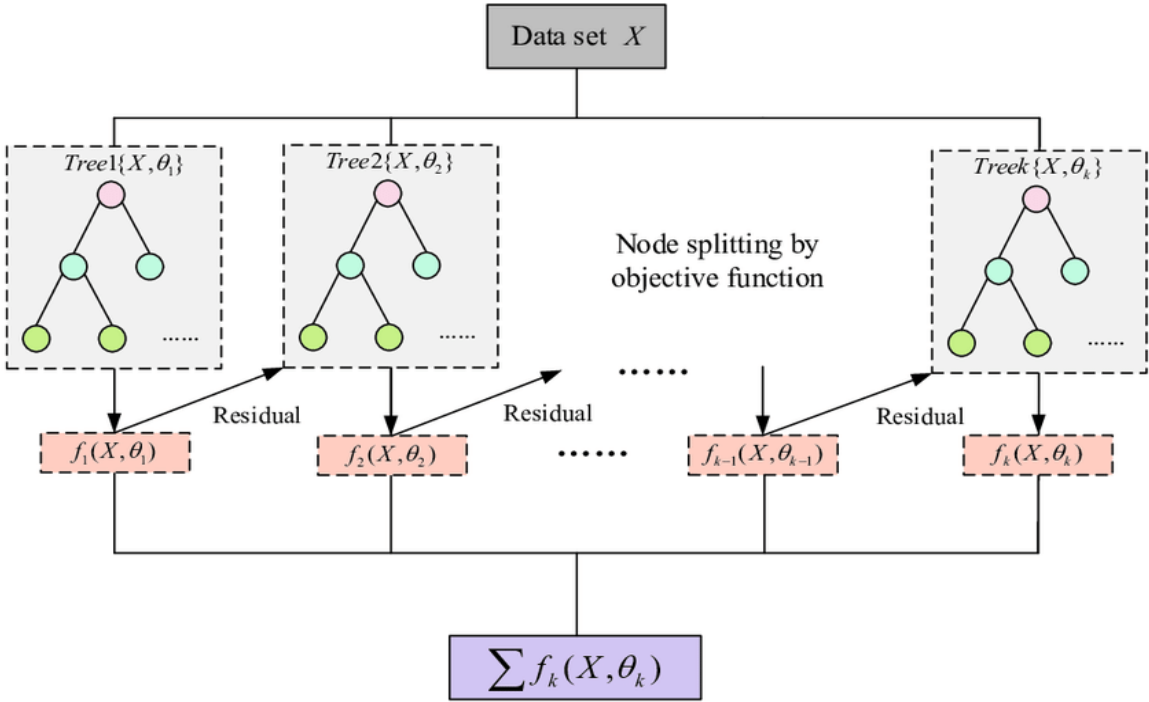
- Support Vector Machine для выделения аномалий по космическим снимкам;
- LightGBM - ансамбль градиентного бустинга. Ансамбли строятся на основе моделей дерева решений. Деревья добавляются по одному в ансамбль и обучаются для исправления ошибок прогнозирования, сделанных предыдущими моделями

Исходные данные:

- Космические снимки Sentinel-2
- Экспертная разметка

Выходные данные:

- разметка – участки распространения оксидов железа, выходов светлых минералов
- метрики оценки качества работы модели:
 - Accuracy
 - Precision
 - Recall
 - F1



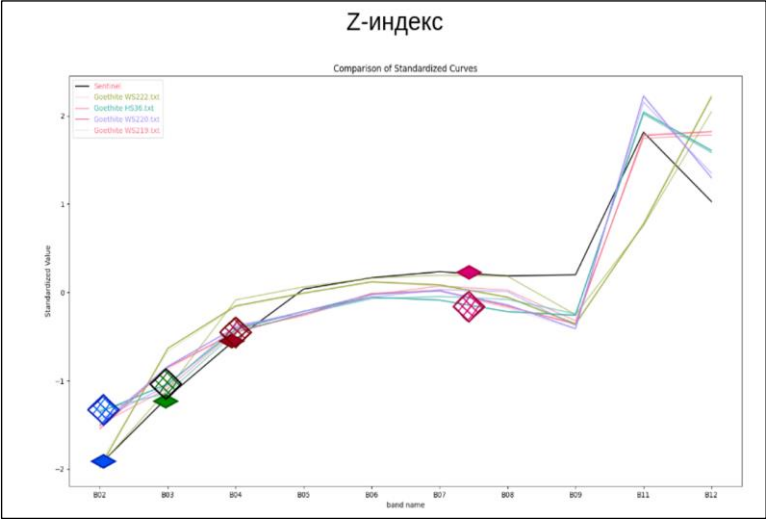
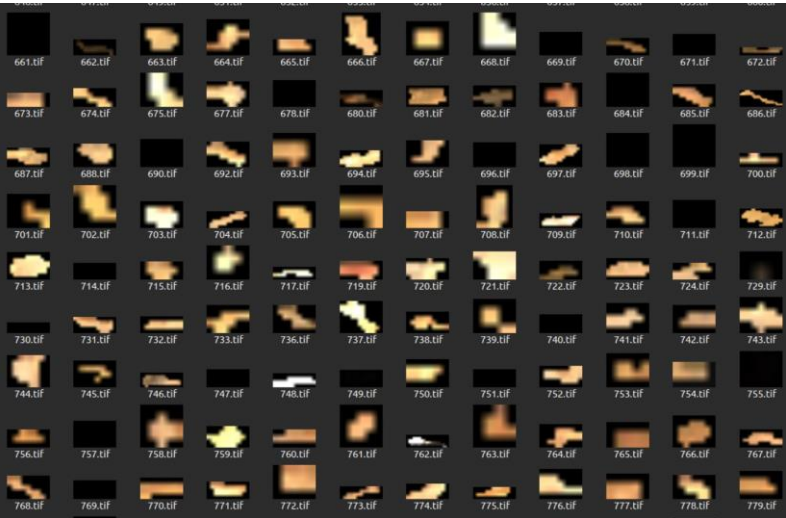
Камеральная обработка данных

Программный модуль для спектрального анализа ДДЗ

Классификация по химическому составу на основе кривых спектральной яркости

- 1. Автоматическое выделение участков распространения оксидов железа и выхода светлых пород;
- 2. Сравнение данных спектральных кривых с эталонными;
- 3. Получение метрик.

Продолжается работа над увеличением объема разметки и дообучение моделей



	9784 10270			3013 6863			4166 5993			9288 10065		
	AVG	MODE	MEDIAN	AVG	MODE	MEDIAN	AVG	MODE	MEDIAN	AVG	MODE	MEDIAN
Albite GDS30	0.66	0.36	0.67	0.61	0.35	0.63	0.68	0.33	0.70	0.66	0.35	0.68
Albite HS66	0.48	0.44	0.48	0.48	0.37	0.49	0.23	0.17	0.25	0.39	0.36	0.39
Albite HS324	0.38	0.27	0.35	0.54	0.50	0.53	0.40	0.36	0.38	0.37	0.27	0.34
Calcite HS48	0.48	-0.05	0.46	0.51	-0.20	0.46	0.22	-0.46	0.15	0.38	-0.19	0.35
Calcite WS272	0.46	0.34	0.46	0.62	0.56	0.63	0.46	0.33	0.46	0.45	0.30	0.44
Calcite CO2004	0.49	0.36	0.49	0.62	0.44	0.62	0.39	0.15	0.38	0.44	0.28	0.44
Chalcedony CU91-6A	0.31	0.09	0.32	0.50	0.33	0.51	0.26	0.02	0.28	0.27	0.02	0.28
Galena S102-1B	-0.58	-0.52	-0.57	-0.74	-0.58	-0.71	-0.79	-0.58	-0.79	-0.63	-0.52	-0.63
Galena S26-40	-0.53	-0.71	-0.54	-0.64	-0.76	-0.64	-0.82	-0.86	-0.82	-0.82	-0.76	-0.63
Galena S26-39	-0.63	-0.57	-0.61	-0.70	-0.56	-0.72	-0.88	-0.70	-0.89	-0.71	-0.61	-0.70
Galena S105-2	-0.76	-0.68	-0.75	-0.81	-0.74	-0.81	-0.93	-0.75	-0.93	-0.82	-0.69	-0.81
Galena S102-17	-0.55	-0.65	-0.57	-0.69	-0.78	-0.67	-0.81	-0.75	-0.81	-0.62	-0.66	-0.64
Galena HS37	-0.46	-0.54	-0.44	-0.60	-0.65	-0.59	-0.78	-0.73	-0.77	-0.55	-0.59	-0.54
Goethite WS222	0.84	0.88	0.84	0.85	0.83	0.84	0.93	0.91	0.93	0.87	0.89	0.87
Goethite HS36	0.37	0.43	0.35	0.22	0.22	0.21	0.28	0.24	0.27	0.35	0.39	0.33
Goethite WS220	0.84	0.86	0.84	0.91	0.89	0.90	0.96	0.95	0.96	0.88	0.89	0.88
Goethite WS219	0.88	0.91	0.89	0.94	0.92	0.95	0.98	0.97	0.99	0.91	0.94	0.92
Jarosite JR2501_K	0.89	0.90	0.89	0.97	0.88	0.97	0.87	0.77	0.87	0.88	0.87	0.88
Jarosite SJ-1_H30	0.87	0.92	0.87	0.98	0.95	0.98	0.87	0.83	0.87	0.86	0.90	0.86
Jarosite GDS599_K_Sy	0.87	0.92	0.87	0.98	0.91	0.99	0.86	0.79	0.86	0.86	0.89	0.86
Jarosite NMNH95074	0.88	0.92	0.88	0.97	0.89	0.97	0.92	0.86	0.92	0.89	0.91	0.89
Jarosite GDS24_Na	0.88	0.92	0.88	0.98	0.90	0.97	0.91	0.84	0.91	0.89	0.90	0.89
Jarosite GDS598_K_Sy	0.83	0.87	0.83	0.95	0.90	0.95	0.81	0.75	0.81	0.81	0.83	0.81
Jarosite GDS100_NaSy	0.81	0.82	0.80	0.92	0.83	0.92	0.79	0.70	0.79	0.79	0.78	0.79
Jarosite WS368_Pb	0.89	0.89	0.90	0.93	0.87	0.93	0.86	0.78	0.86	0.88	0.86	0.88
Jarosite GDS101_NaSy	0.87	0.88	0.86	0.97	0.86	0.97	0.88	0.77	0.87	0.87	0.86	0.86
Hematite GDS69b	0.42	0.46	0.42	0.41	0.47	0.40	0.62	0.67	0.61	0.49	0.52	0.49
Hematite WS161	0.52	0.58	0.51	0.61	0.62	0.60	0.70	0.73	0.70	0.56	0.62	0.55
Hematite HS45	0.05	0.25	0.03	0.27	0.34	0.27	-0.01	0.10	-0.03	-0.03	0.17	-0.05
Hematite2_Qtz98	0.61	0.58	0.58	0.68	0.61	0.66	0.51	0.45	0.49	0.56	0.53	0.53
Hematite GDS69a	0.51	0.52	0.50	0.49	0.39	0.49	0.67	0.60	0.66	0.56	0.57	0.56
Hematite GDS69c	0.41	0.48	0.41	0.36	0.40	0.36	0.61	0.66	0.61	0.49	0.56	0.49
Hematite FE2602	0.63	0.66	0.62	0.68	0.68	0.67	0.83	0.85	0.83	0.69	0.73	0.69
Hematite GDS69f	0.54	0.58	0.54	0.55	0.54	0.54	0.75	0.77	0.75	0.61	0.65	0.61
Hematite GDS69e	0.50	0.52	0.51	0.48	0.49	0.49	0.71	0.72	0.72	0.58	0.60	0.59
Hematite GDS69d	0.45	0.45	0.46	0.40	0.40	0.42	0.66	0.66	0.67	0.53	0.53	0.54
Hematite GDS69g	0.59	0.61	0.58	0.62	0.61	0.62	0.81	0.81	0.80	0.66	0.68	0.66
Hematite GDS27	0.75	0.77	0.74	0.82	0.80	0.81	0.90	0.90	0.89	0.79	0.81	0.78
Kaolinite KSG-1	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.67	0.47	0.43	0.47	0.47	0.46	0.47
Kaolinite GDS11	0.60	0.47	0.60	0.66	0.66	0.67	0.46	0.40	0.46	0.47	0.42	0.47

Заключение

Выводы:

- Методы ДЗЗ необходимы для планирования и выполнения геологоразведочных работ особенно на поисково-оценочной и рекогносцировочной стадиях.
- Дистанционные методы вспомогательные и требуют геологической заверки прямыми методами;
- Комплекс прямых и дистанционных методов – это необходимое условие для эффективной работы

Преимущества разрабатываемого программного комплекса:

- Скорость обработки, масштабируемость;
- Автоматический расчет полного набора продуктов, необходимого для геологической интерпретации, для загруженного снимкам;
- Отображение результатов в едином интерфейсе пользователя;
- Возможность расширения тематической обработки данных на данные с БВС.

