



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

Технология космического мониторинга объектов недропользования и контроля выполнения лицензионных соглашений

А.А. Курсанов, И.О. Смирнова, К.Л. Липияйнен, Г.А. Курсанов, Н.В. Камышникова

Двадцать вторая международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

ИКИ РАН г. Москва 11 - 15 ноября 2024 г.

Технология космического мониторинга объектов недропользования

Космический мониторинг объектов недропользования - систематическое слежение в период разработки, освоения, эксплуатации и ликвидации месторождений для выявления случаев нарушения законодательства о недрах, основанное на интерактивном дешифрировании разновременных данных дистанционного зондирования (ДДЗ).

В институте Карпинского разработана технология космического мониторинга объектов недропользования на базе программного обеспечения ERDAS и ARC GIS с использованием космических снимков (КС) Sentinel-2 на примере 7 тестовых площадей: Республик Башкортостан и Бурятия, Магаданской и Амурской областей, Алтайского, Камчатского и Забайкальского краёв. Технология включает:

- требования к пространственному, радиометрическому, временному разрешению и спектральным характеристикам ДДЗ, используемых при ведении мониторинга объектов недропользования,
- методику радиометрических, атмосферных и геометрических коррекций,
- создание дистанционных основ, цифровых моделей рельефа и ГИС-проектов на тестовые площади,
- тематическую обработку и анализ ДДЗ,
- выявление дешифровочных признаков объектов недропользования различного типа,
- интерактивное тематическое дешифрирование с созданием схем динамики разработки месторождений и схем нарушений границ лицензионных площадей,
- вычисление площадей нарушений ландшафта,
- создание пояснительной записки.

Требования к пространственному, радиометрическому, временному разрешению и спектральным характеристикам ДДЗ

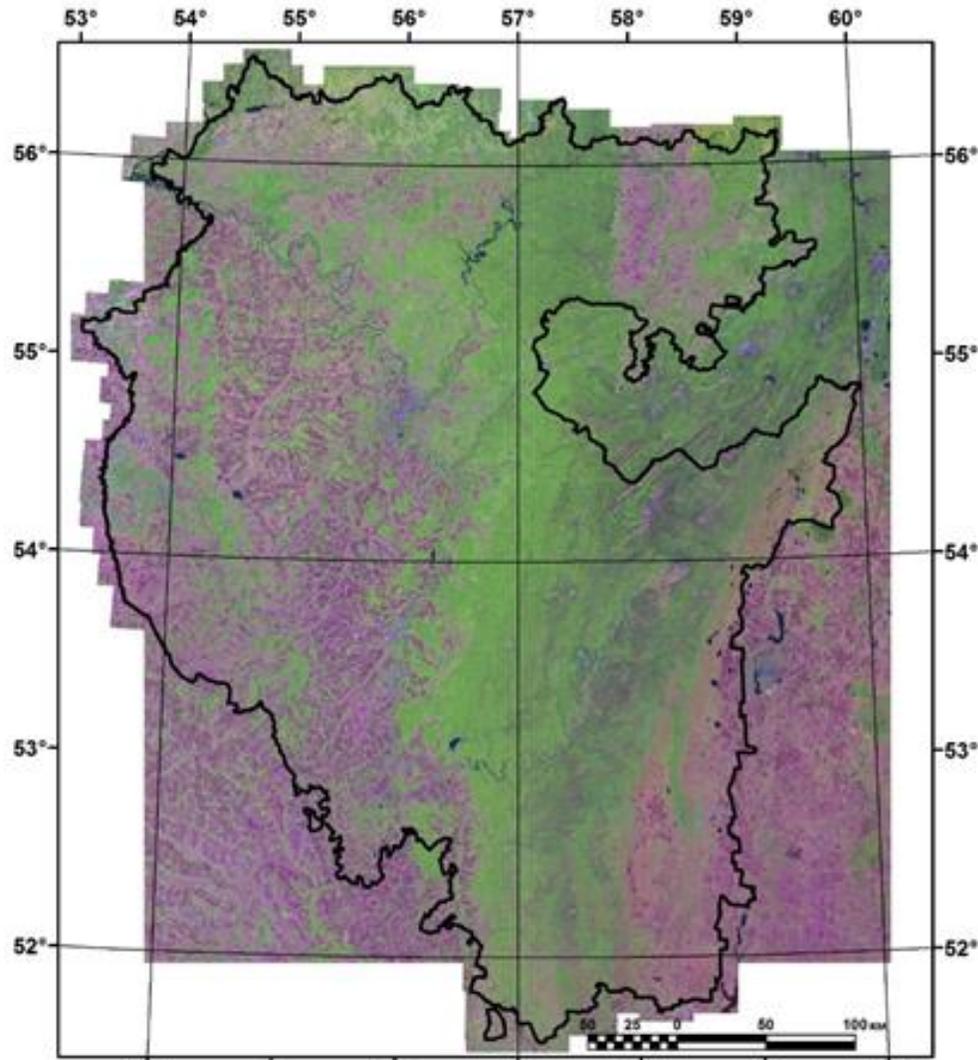
Пространственное разрешение (ПР) - минимальная линейная величина изобразившегося объекта местности, зафиксированного пикселем. Для выделения объектов площадью более 2-3 кв. км достаточно снимков с ПР 30 м, для объектов 0,1-0,5 кв. км – снимки с ПР 10 м, а для более мелких объектов предпочтительны снимки со сверхвысоким ПР.

Радиометрическое разрешение (РР) определяется шириной динамического диапазона используемого датчика (градациями различимых на снимке яркостей, соответствующих переходу от яркости абсолютно черного к абсолютно белому цвету) и указывается числом бит на пиксель. Современные сенсоры имеют высокое РР (10 бит, 11 бит, 12 бит, 16 бит - 65536 градаций), позволяющее различать больше деталей на очень ярких или очень темных областях снимка.

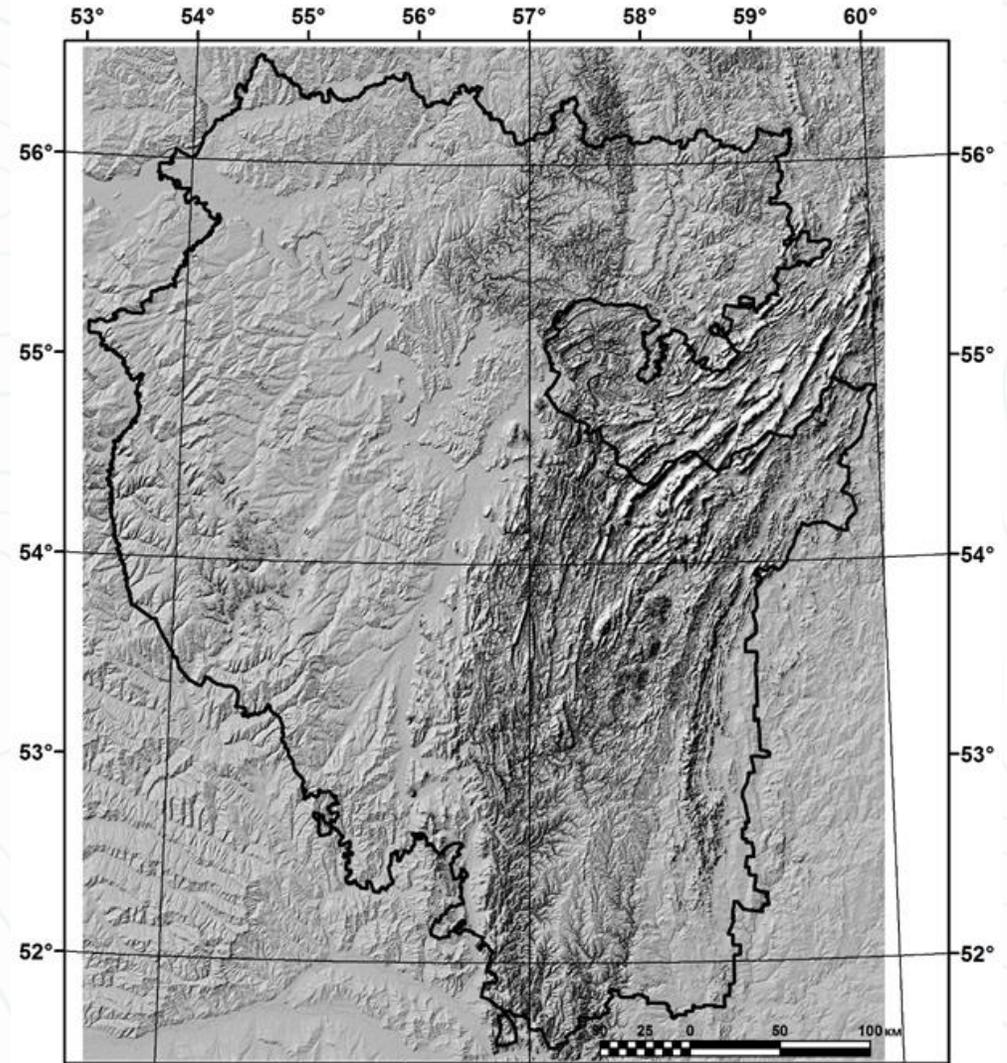
Временное разрешение определяет, как часто датчик получает изображение определенной области на поверхности Земли и оценивается интервалом времени между повторными съёмками. Для проведения мониторинга по разновременным ДДЗ предпочтительно получение снимков в один сезон и выполнение атмосферных, радиометрических и геометрических коррекций.

Спектральные характеристики ДДЗ. Карьеры и отвалы чётко выделяются на КС в красной зоне спектра (0,62-0,69 мкм), изменения в растительности в ближней ИК (0,76-0,9 мкм), состав пород в средней ИК (1.5-2.4 мкм). Для улучшения спектральной выраженности объектов недропользования используются цветовые композиции RGB этих зон спектра. Использование SWIR диапазонов, имеющих у систем среднего разрешения, таких как Sentinel 2 и Landsat 7, 8 позволяет получить дополнительную информацию о составе разрабатываемых пород и загрязнениях почв.

Создание дистанционных основ, цифровых моделей рельефа. Республика Башкортостан



ДО по данным съемки Sentinel 2 (RGB 11,8,4 каналов)

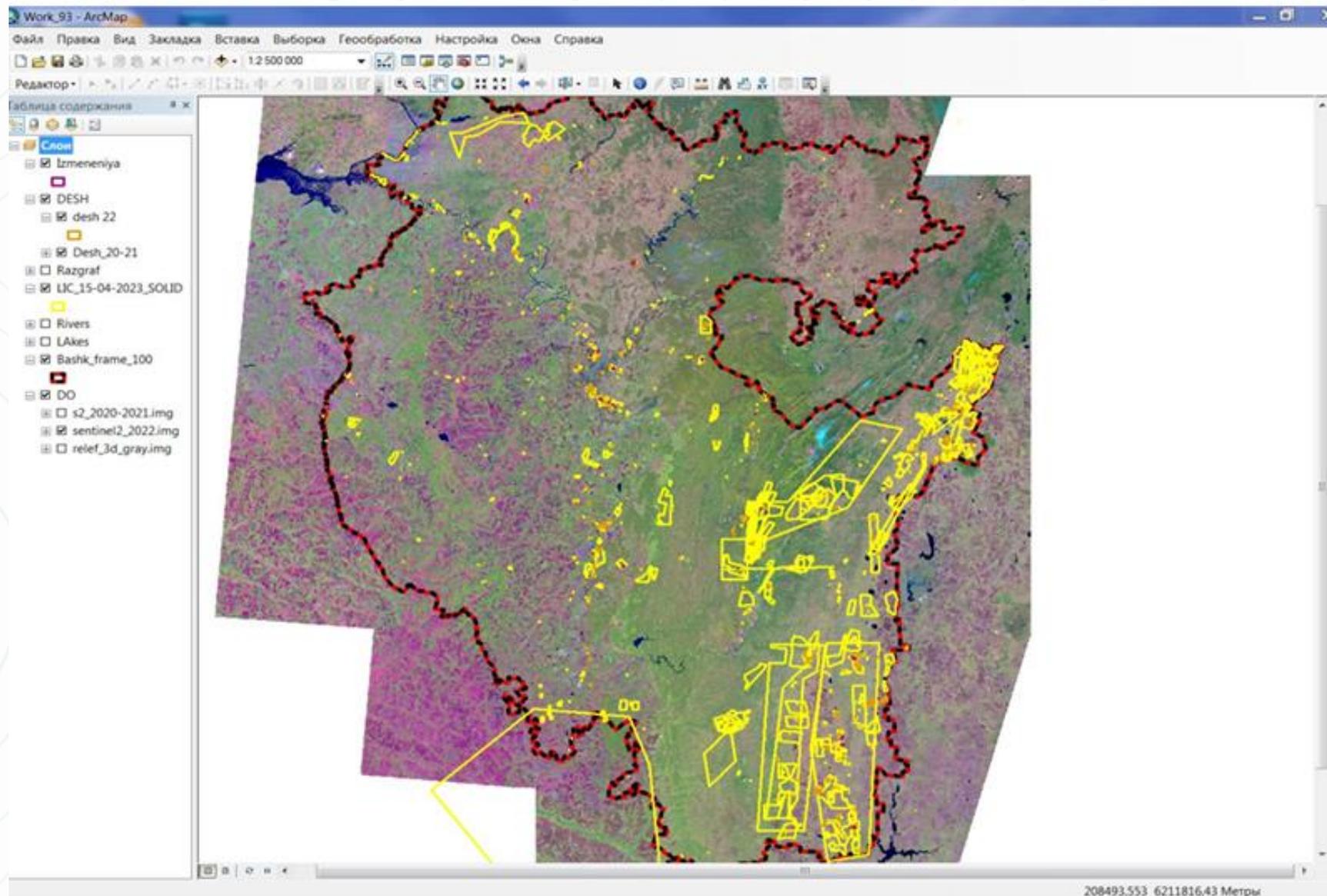


ЦРМ по радиолокационным данным SRTM

Создание ГИС-проекта Республики Башкортостан

Состав информационных слоев ГИС проекта:

- ДО по КС 2020 г.,
- ДО по КС 2022 г.,
- ЦМР по радиолокационным данным SRTM,
- схемы дешифрирования ДО 2020 г. и 2022 г.,
- схема изменений площадей разработки месторождений с 2020 по 2022 г.,
- лицензионные площади (на основе данных ФГИС «АСЛН»)



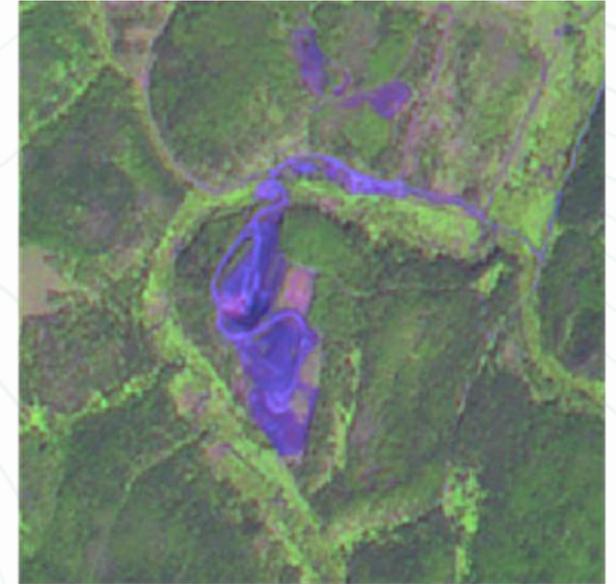
Дешифровочные признаки объектов недропользования различных типов. Спектральные характеристики на композициях 11, 8 и 4 каналов Sentinel 2



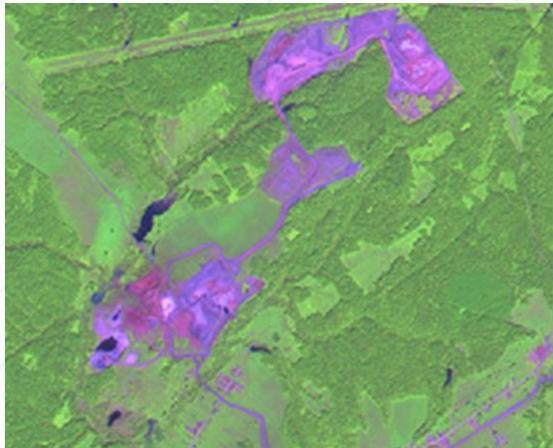
Кварцевые песчаники



Известняки



Кварц-флюоритовые руды



**Гипс,
марганцевые
руды**



**Карбонатно-
флюоритовые
руды**

Дешифровочные признаки объектов недропользования различных типов. Рисунок изображения

Полосчатый рисунок изображения при разработке карьеров

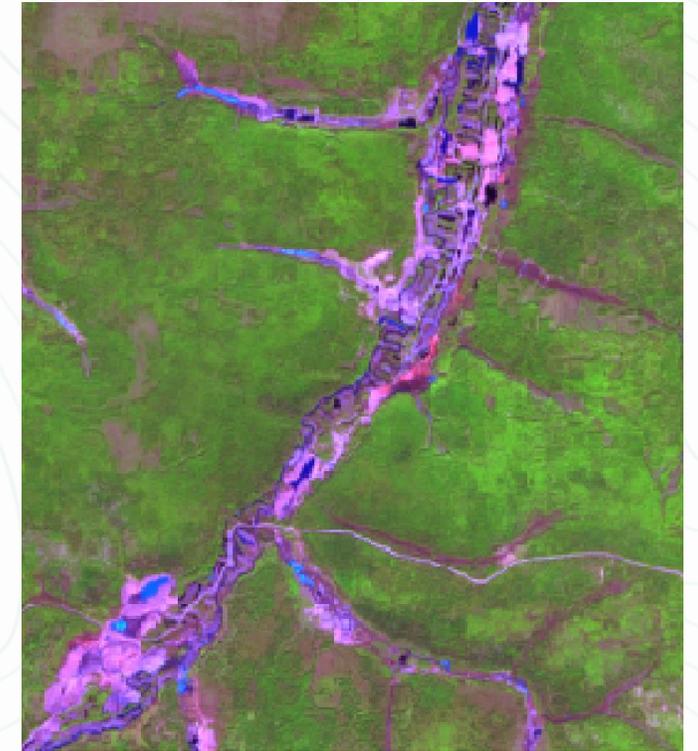


Бурый уголь

Рисунок при разработке россыпей

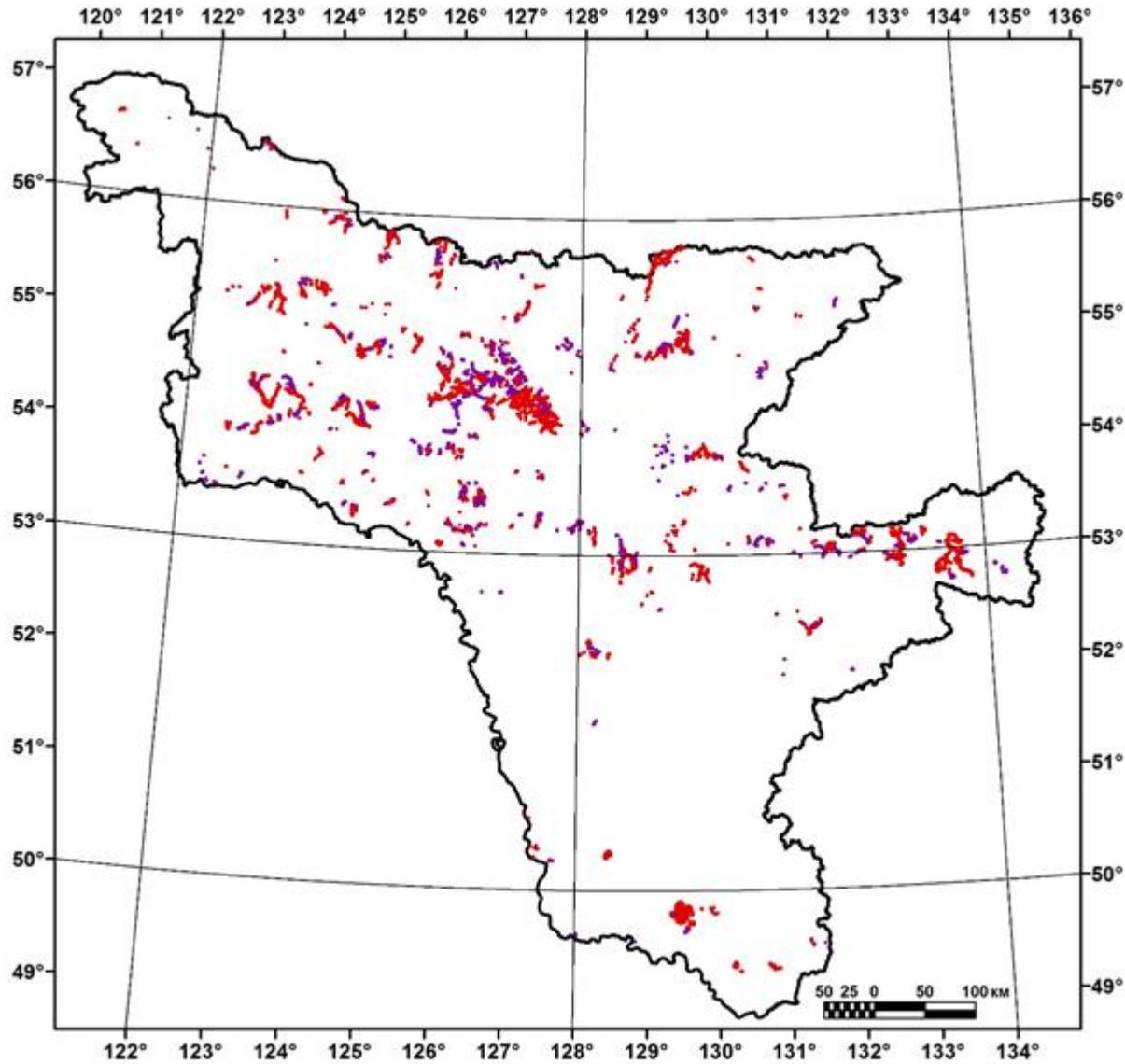


Железные руды

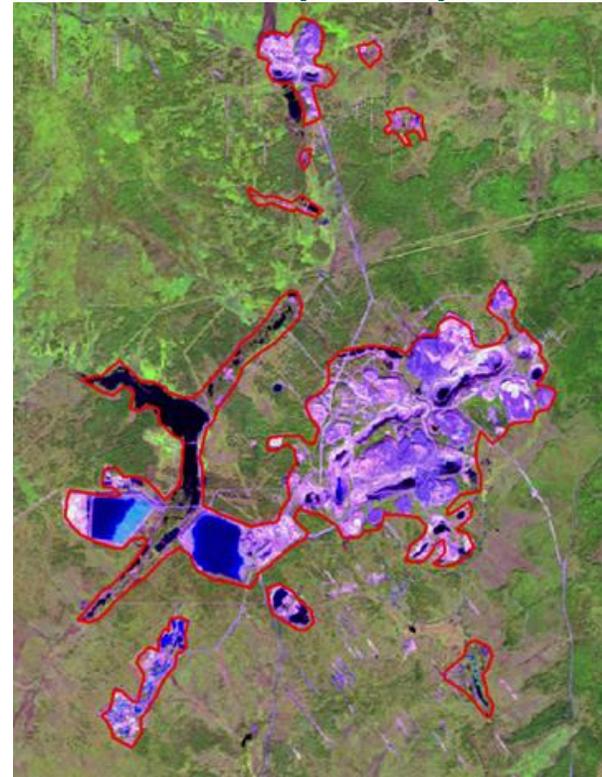


Золото

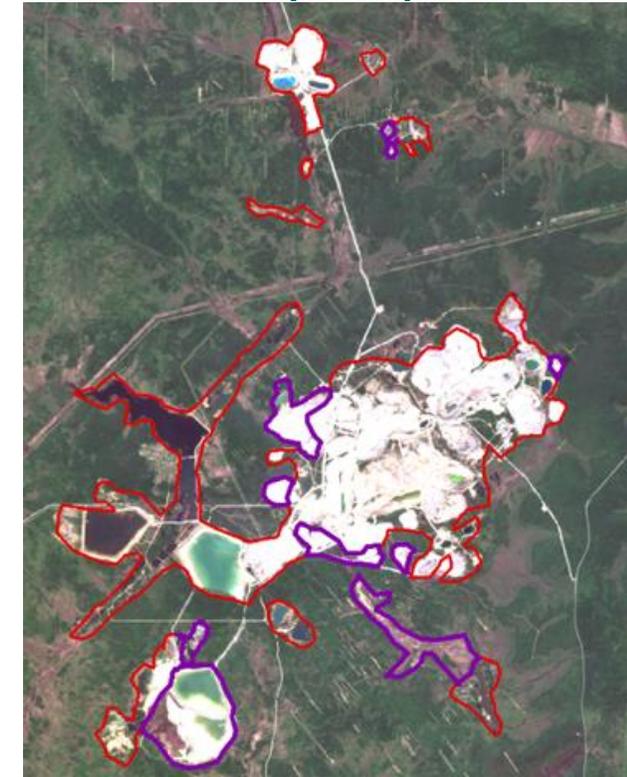
Интерактивное тематическое дешифрирование с созданием схем динамики недропользования. Амурская область



Sentinel 2 (11,8,4) 2017



Sentinel 2 (4,3,2) 2023

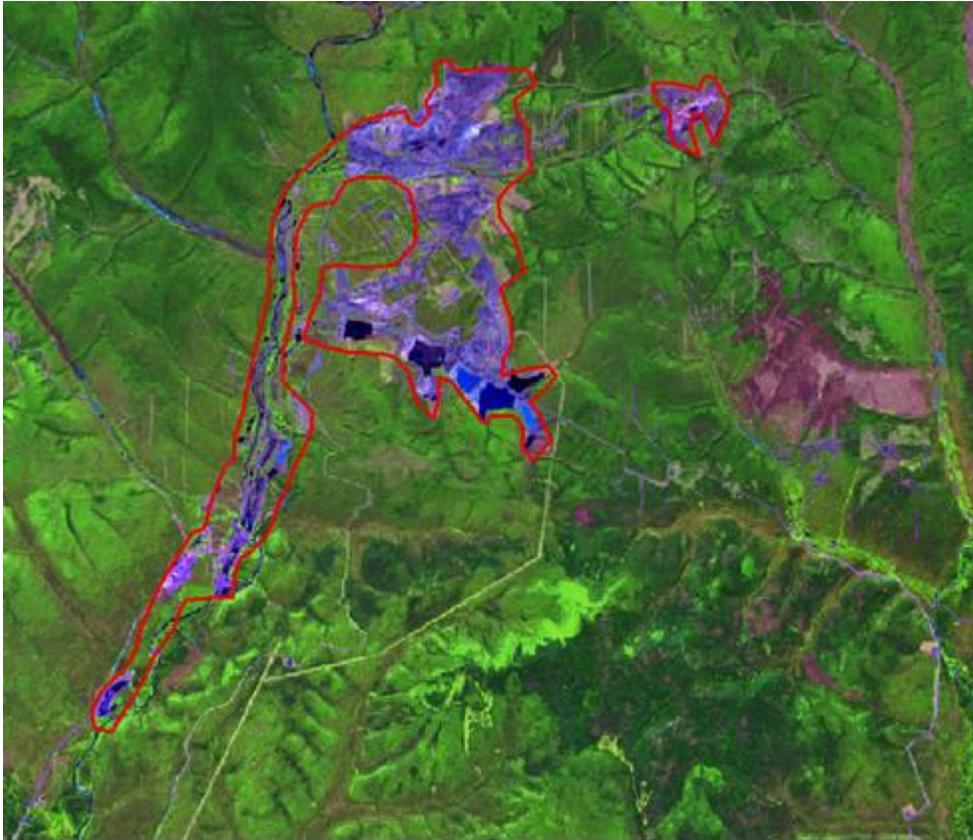


Динамика разработки месторождения коренного золота Пионер.

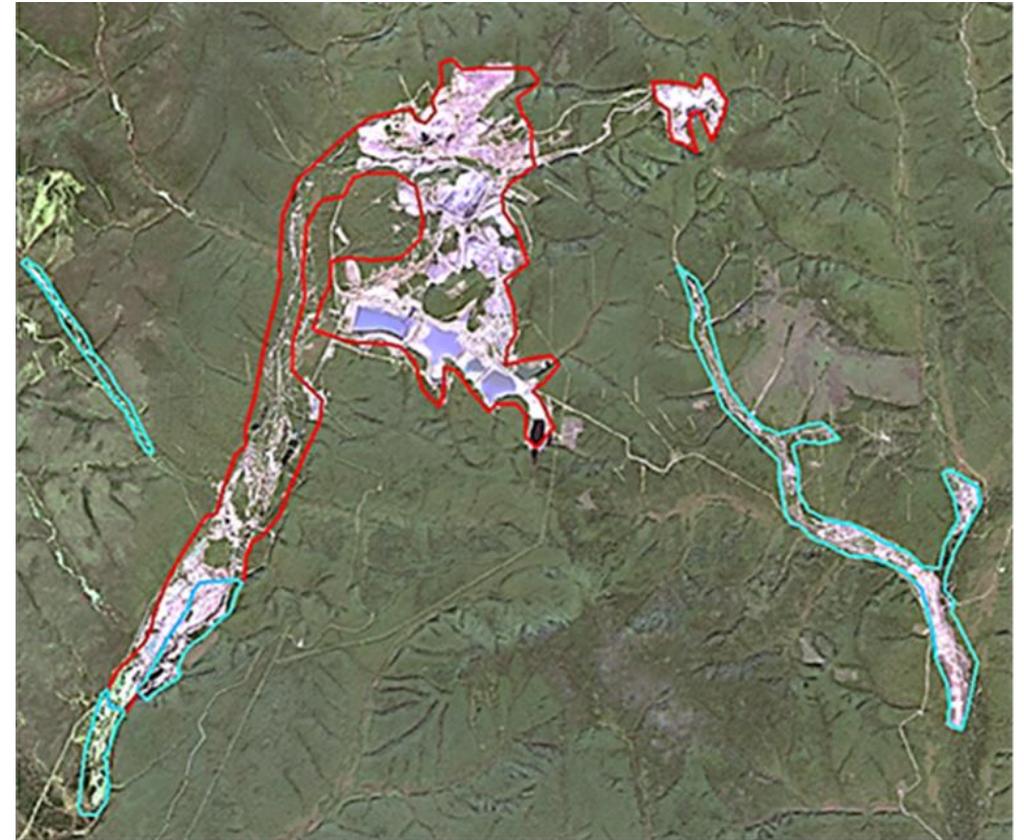
Результаты дешифрирования ДО 2017 г. (красный цвет), изменения недропользования к 2023 г. (фиолетовый цвет)

Интерактивное тематическое дешифрирование с созданием схем динамики недропользования. Амурская область

Sentinel 2 (11,8,4) 2017

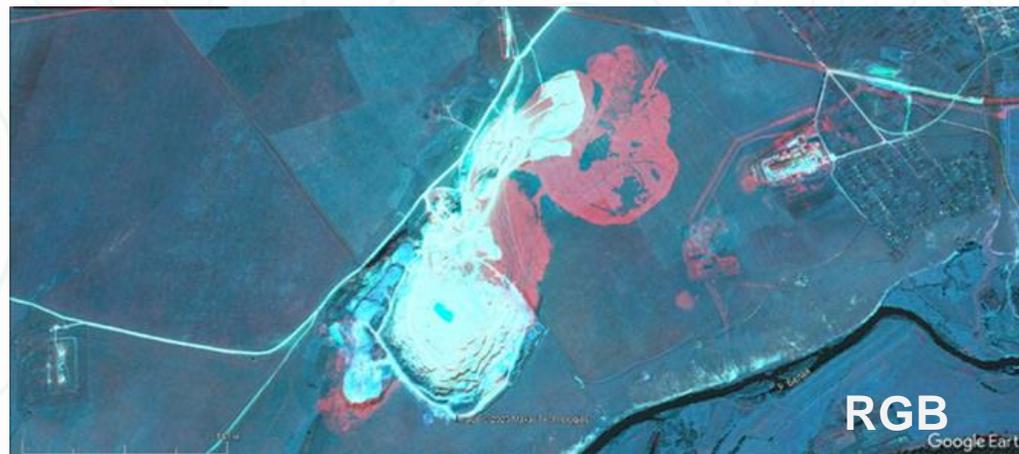


Sentinel 2 (4,3,2) 2023



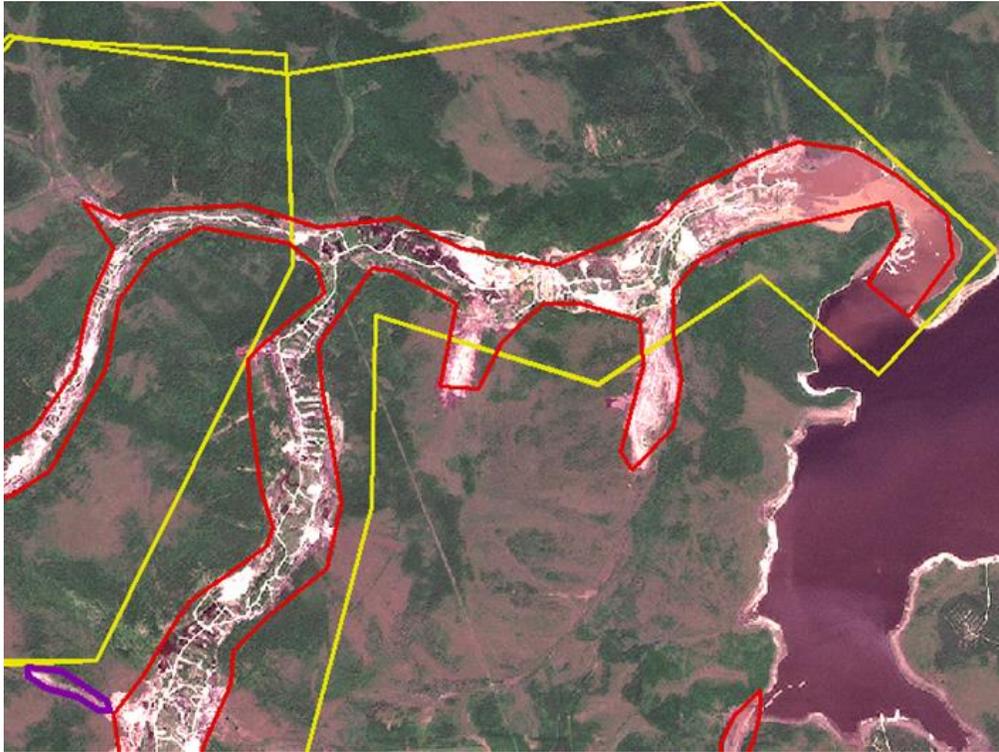
Маломырский рудный узел (коренное и россыпное золото). Красный контур – результаты дешифрирования КС 2017 г., голубой – изменения в недропользовании, произошедшие в период с 2017 по 2023 гг.

Создание схем динамики недропользования в автоматическом режиме. Республика Башкортостан

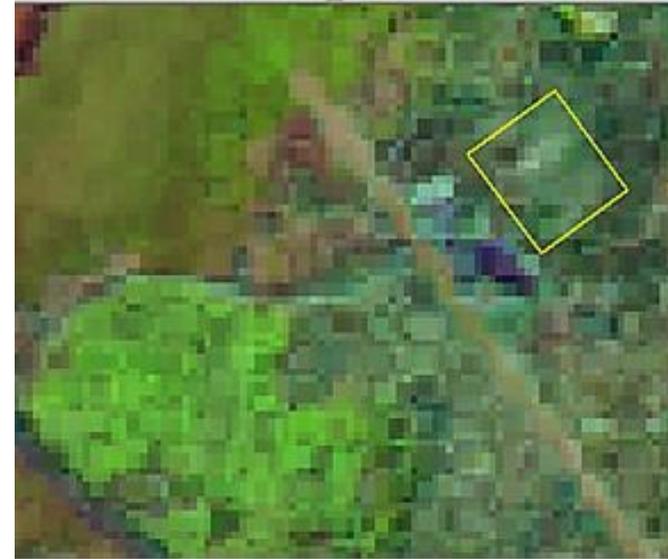


Выделение изменений ландшафта в результате разработки карьера флюсовых известняков у пос. Укшук с 2006 по 2022 г. **методом создания цветowych композиций (RGB) разновременных КС.** Красный цвет- изменения недропользования

Интерактивное тематическое дешифрирование с созданием схем нарушений границ лицензионных площадей. Амурская область



Нарушение площади лицензионного участка (жёлтый цвет) при разработке россыпного золота в районе ручья Дамбуки. Результаты дешифрирования – красный цвет.



КС Sentinel-2 (2017)



КС Sentinel-2 (2023)

Нарушение площади лицензионного участка Жердёвый при разработке карьера по добыче песчаника, появившегося в период между 2017 и 2023 гг. Площадь нарушений составляет 0,16 кв. км и практически полностью выходит за пределы лицензионного участка.

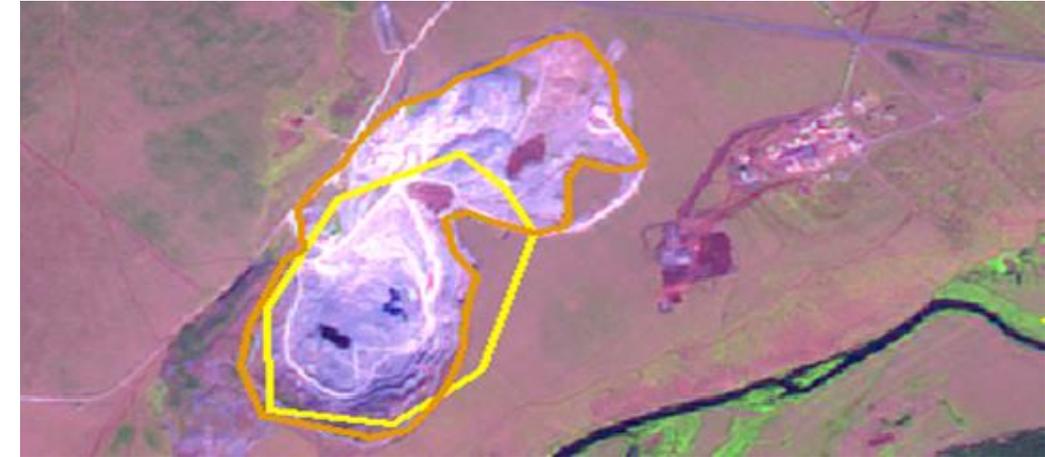
Создание схем динамики недропользования и нарушений границ лицензионных площадей. Республика Башкортостан

КС Sentinel 2 (2020)



Нарушение площади лицензионного участка на Восточно-Семёновской площади (Au, Cu, Zn). Результаты дешифрирования КС 2020 г. (красный контур) с произошедшими к 2022 г. изменениями (фиолетовый контур).

КС Sentinel (2022)



Нарушение площади лицензионного участка на карьере по добыче флюсовых известняков (Пугачёвское месторождение) по КС Sentinel 2 (2021 г.)

Границы лицензионных участков – жёлтый контур.

Нарушение лицензионных соглашений

Республика Бурятия

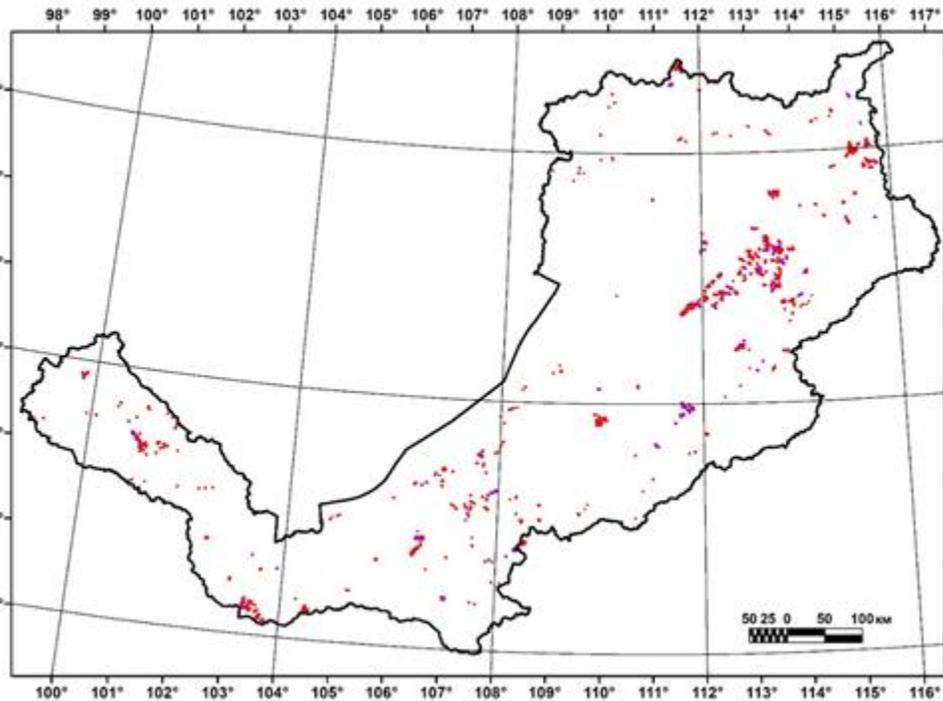
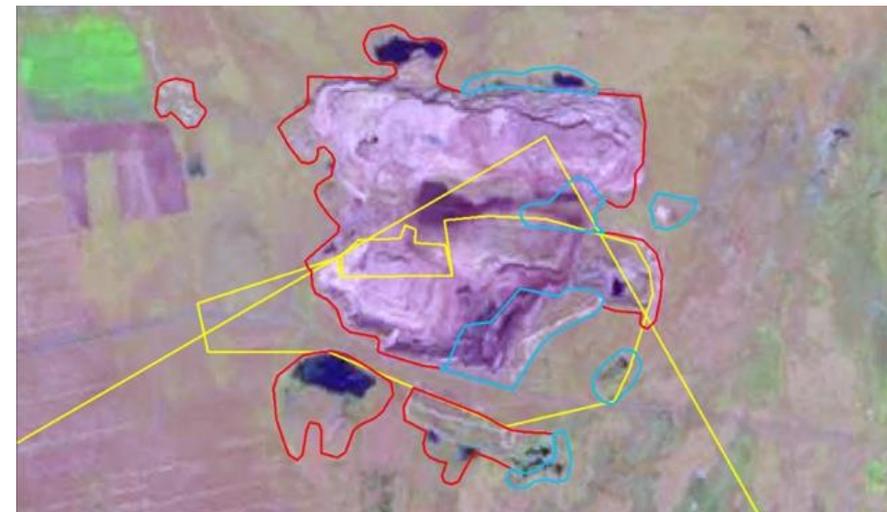


Схема дешифрирования ДО 2017-2021 г. республики Бурятия и динамики изменений.



Ермаковское месторождение флюорит-бериллия. Sentinel 2 (RGB: 4,3,2, 2017 г.).

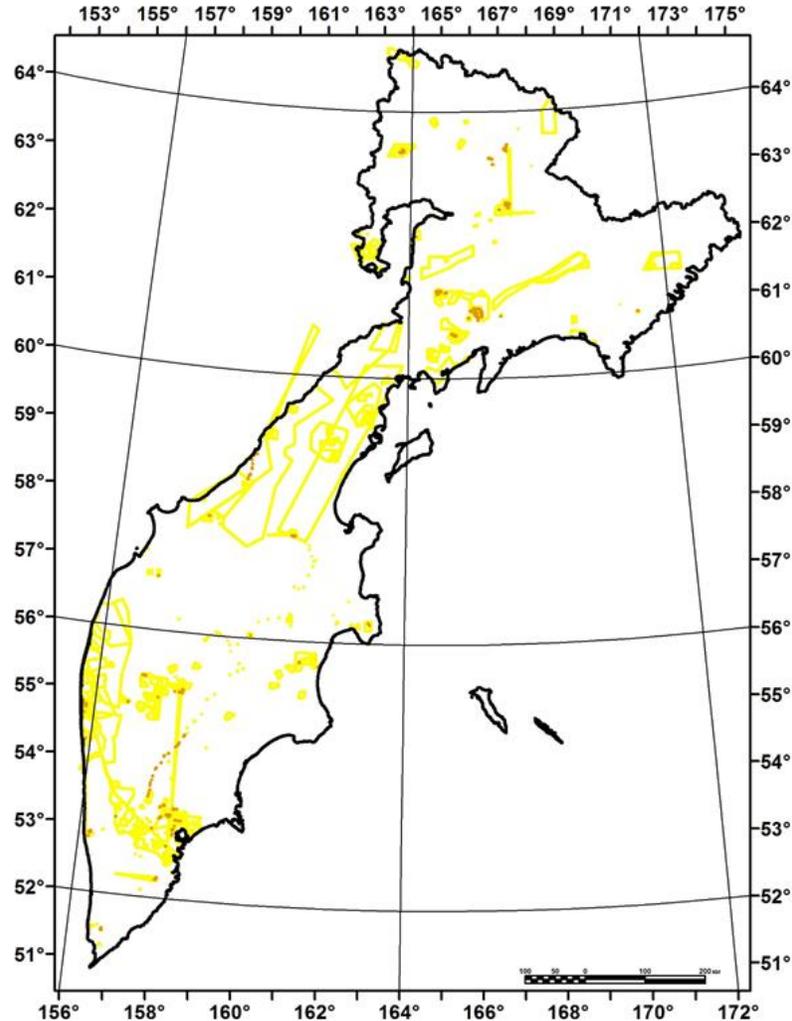


Месторождение Окино-Ключевское (бурый уголь). Sentinel 2 (RGB: 11,8, 4, 2021 г.).

Красный контур – результаты дешифрирования КС 2017 г., голубой – изменения в недропользовании, произошедшие в период с 2017 по 2021 гг., жёлтый – границы лицензионных участков.

Нарушение лицензионных соглашений

Камчатский край



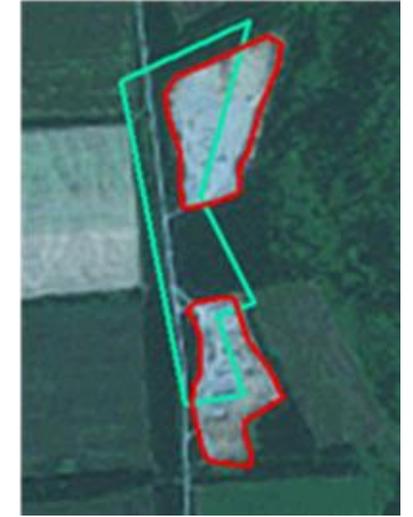
Сопоставление схемы дешифрирования ДО Камчатского края и лицензионных участков



Ольховое месторождение гранодиоритов. Площадь нарушенных земель $S = 0,13$ кв. км



Пиначевское месторождение песчано-гравийных смесей. $S = 0.11$ и 0.09 кв. км

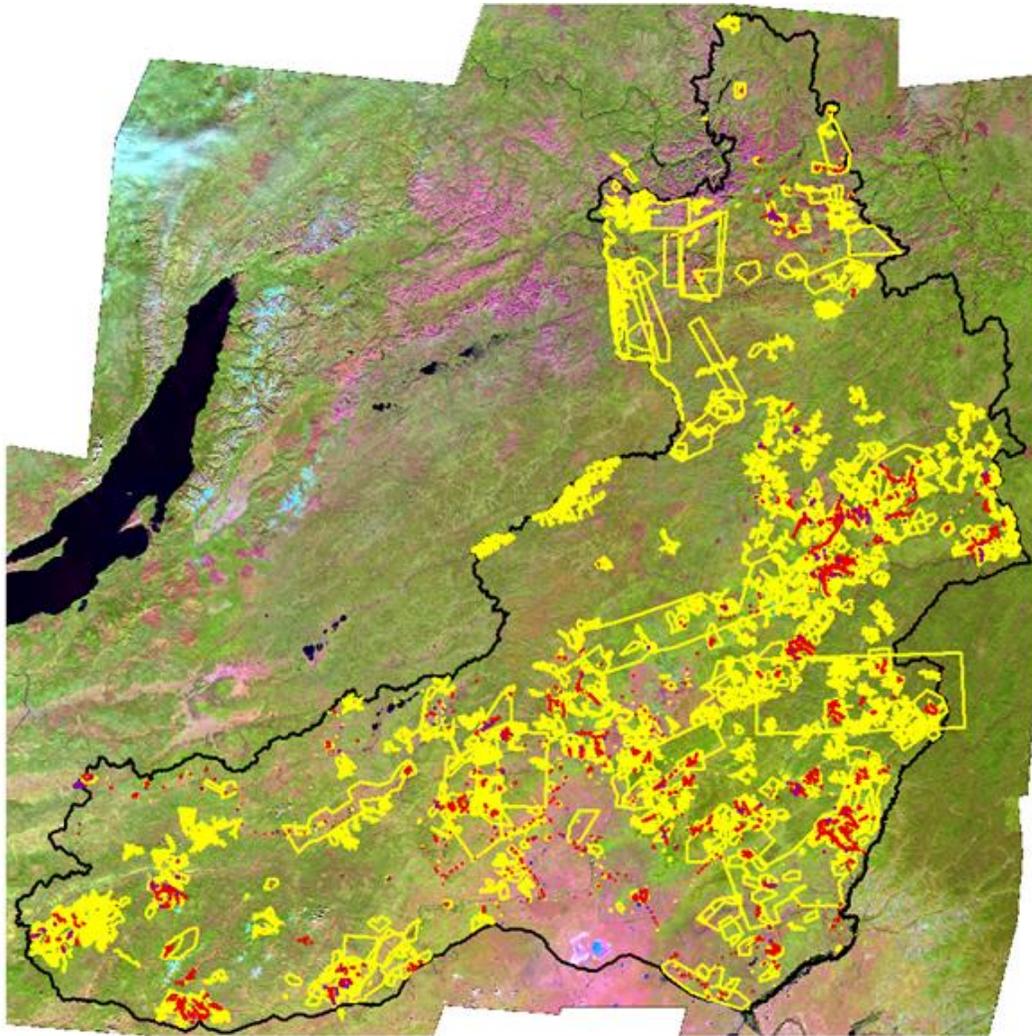


Заречное месторождение песчано-гравийных смесей. $S = 0,09$ и $0,03$ кв.км

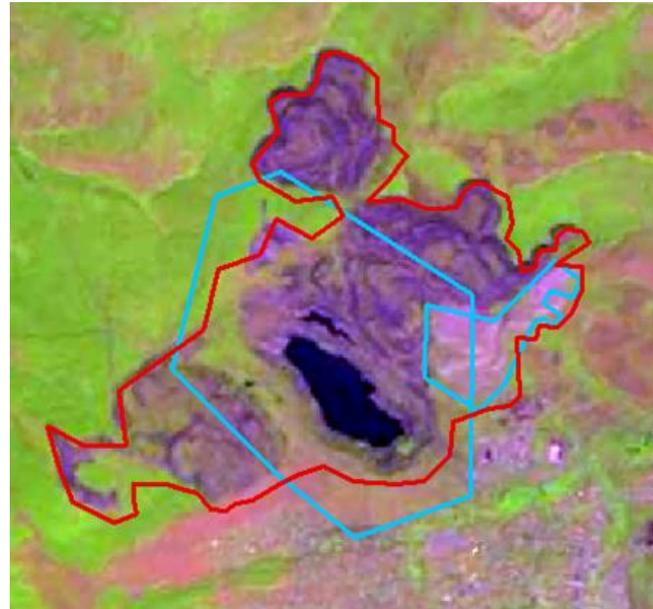
Красный контур – результаты дешифрирования КС Sentinel 2 (RGB: 4, 3 и 2 каналов, 2019 г.), зелёный - границы лицензионных участков

Нарушение лицензионных соглашений

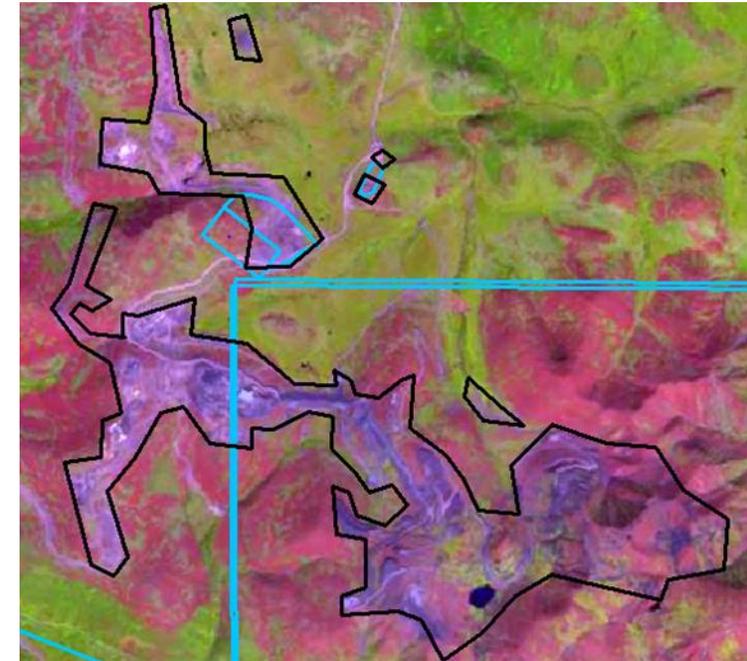
Забайкальский край



Сопоставление схемы дешифрирования ДО 2021 г. и лицензионных участков.



Месторождение лития
Завитинское

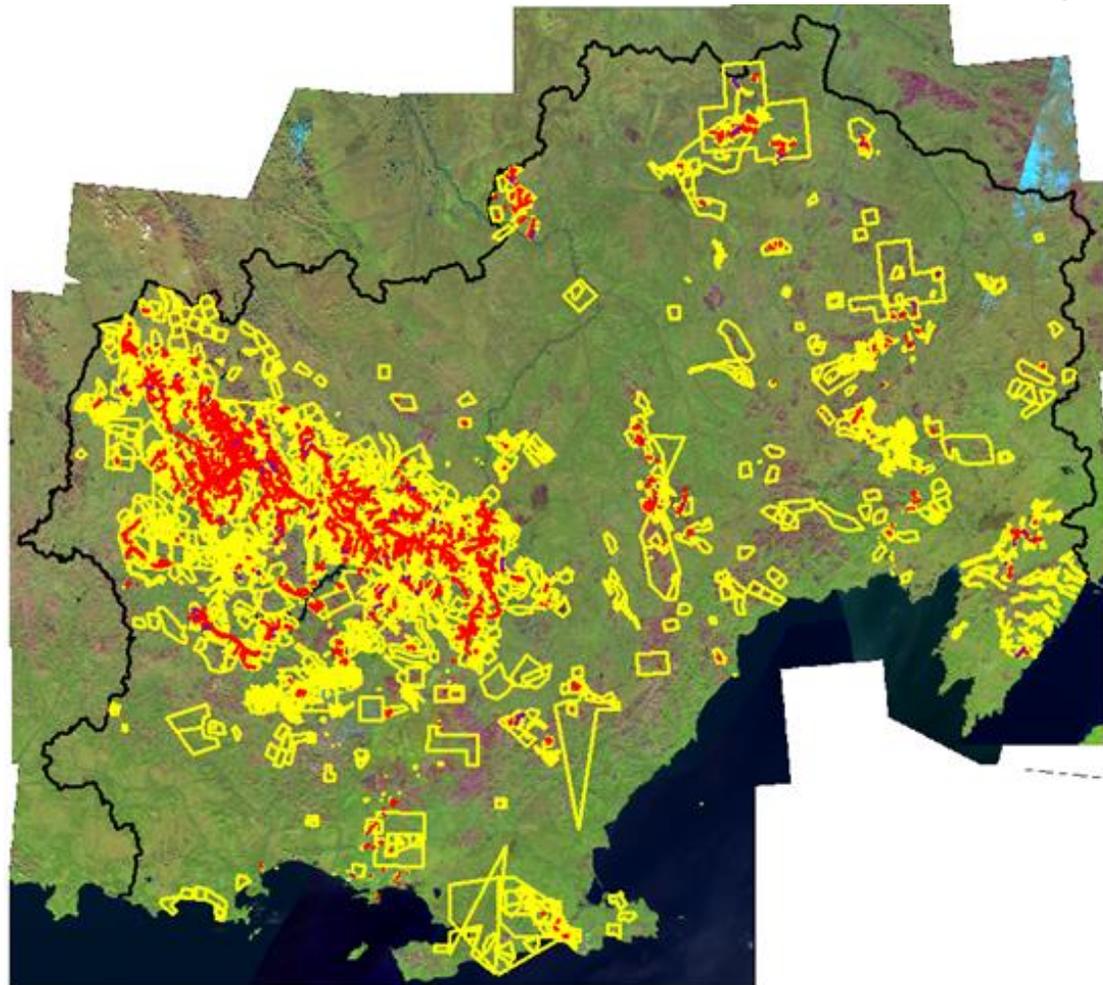


Удоканское месторождение меди
(нижняя правая часть) и
Эмегачинское месторождение
песчаника (левая верхняя часть)

Красный контур – результаты дешифрирования КС Sentinel 2 (2018 г.),
чёрный – результаты дешифрирования КС Sentinel 2 (2021 г.), голубой
– границы лицензионных участков

Нарушение лицензионных соглашений

Магаданская область

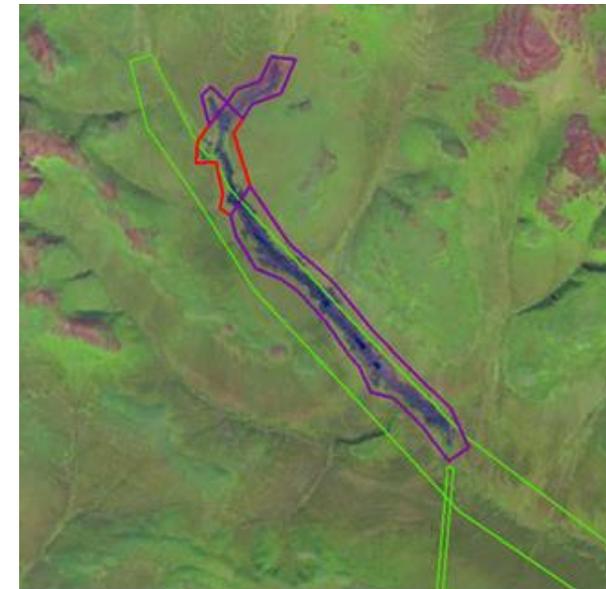


Сопоставление схемы дешифрирования ДО 2021 г. и лицензионных участков.

2018



2021



Россыпное месторождение золота в районе ручья Дремучего (левый приток реки Вечерняя).

Красный контур – результаты дешифрирования КС Sentinel 2 (2018 г.), фиолетовый – изменения в недропользовании с 2018 по 2021 г., зелёный – границы лицензионных участков

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Установлено, что карьеры, образующиеся в результате разработки различных типов месторождений полезных ископаемых, имеют специфические дешифровочные признаки, такие как тон, цвет (обусловленные различием спектральных характеристик), текстура, структура, рисунок изображения. форма и размеры объектов и др., что позволяет уверенно выделять объекты недропользования при визуальном дешифрировании.
- Различия в спектральных характеристиках объектов недропользования создают предпосылки для автоматического выделения изменений ландшафта в результате недропользования, как методом создания цветowych композиций разновременных КС, так и методами классификации по спектральным признакам.
- В результате работ созданы схемы динамики разработки месторождений и выделены изменения объектов недропользования: 49 по территории Республики Башкортостан с 2020 по 2022 гг., 156 по территории Республики Бурятия (2017-2021 гг.), 375 по территории Амурской области (2017-2023 гг.), 170 по территории Забайкальского края (2018-2021 гг.), 143 по территории Магаданской области (2018-2021 гг.).
- Сопоставление результатов и схем лицензионных участков показало, что лицензионные соглашения часто нарушаются, особенно при разработке россыпных месторождений золота и месторождений общераспространённых полезных ископаемых.



Спасибо за внимание

ВСЕРОССИЙСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. А. П. КАРПИНСКОГО

**ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Тел. (812)321 72 01

