



Мониторинг восстановления пост-техногенных ландшафтов на основе спутниковой ИК съемки

Н.Д. Якимов^{1,2}, Т.В. Пономарева^{1,3}, К.Ю. Литвинцев⁴, К.А. Финников^{4,1}, Е.И. Пономарев^{3,1}

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Федеральный исследовательский центр Красноярский научный центр СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН), Красноярск, Россия

³Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

⁴Институт теплофизики СО РАН, Новосибирск, Россия



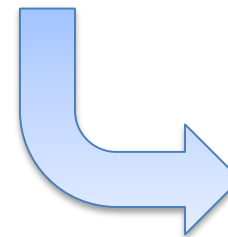
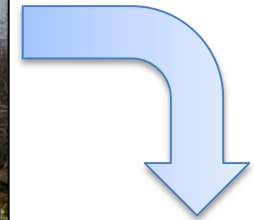
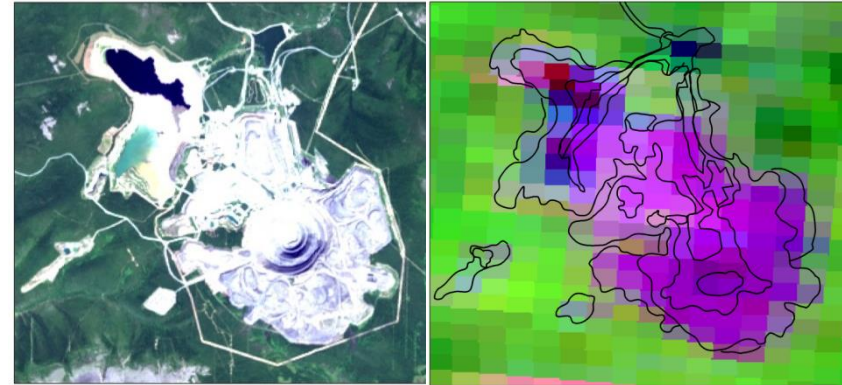
Работа выполнена при поддержке: РФФИ-КФН №20-44-242002 Инструментальный мониторинг физических свойств и численное моделирование состояния техногенно-нарушенных почв Сибири.

Цель

Провести валидацию метода мониторинга долговременного состояния пост-техногенных экосистем с использованием спутниковой съемки среднего пространственного разрешения Landsat в тепловом диапазоне спектра в условиях Сибири.

Состояние вопроса

Нарушение почвенно-растительного покрова является причиной изменения тепловых режимов локальных участков. Такие изменения в совокупности способны оказывать существенное воздействие на состояние и динамику экосистем, почвы, мерзлотных слоев [Knorre et al. 2019, Orgogozo et.al. 2019, 3. Kirdyanov et. al. 2020 , Ponomarev et. al. 2020]. Использование данных с тепловых каналов, помимо традиционных вегетационных, увеличивают период наблюдений срока восстановления поврежденных участков. Вследствие зарастания вегетационные характеристики теряются, в то время как тепловые сохраняются.



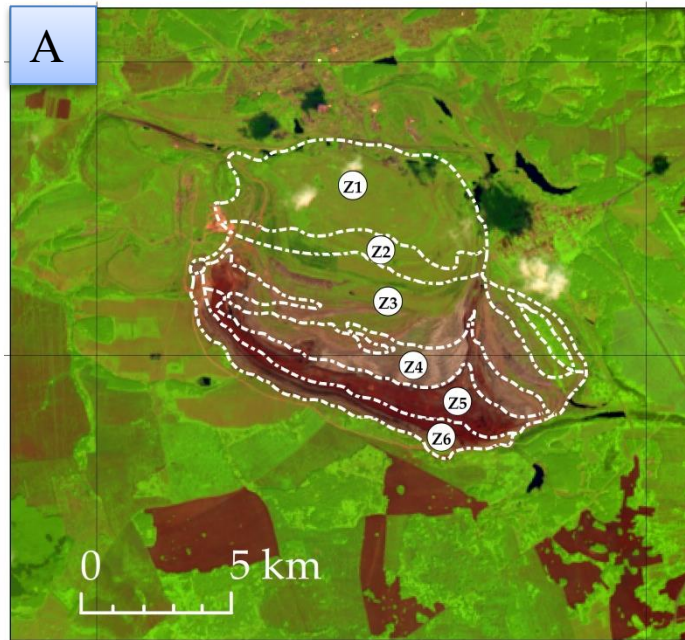
Источники спутниковых данных

1. Спутниковые снимки Terra/MODIS: из базы данных ФИЦ КНЦ СО РАН (1999-2021 гг.).

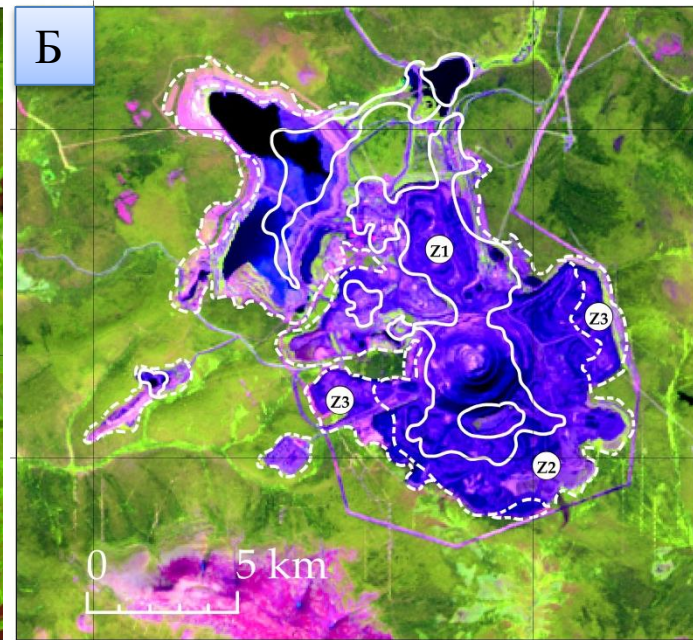
2. Спутниковые снимки Landsat: получены с сайта геологической службы США, точка доступа - <https://earthexplorer.usgs.gov>.



Зонирование техногенных объектов



БУР, Landsat-8/OLI, 2018



ГОК, Landsat-8/OLI, 2019

1960-1975

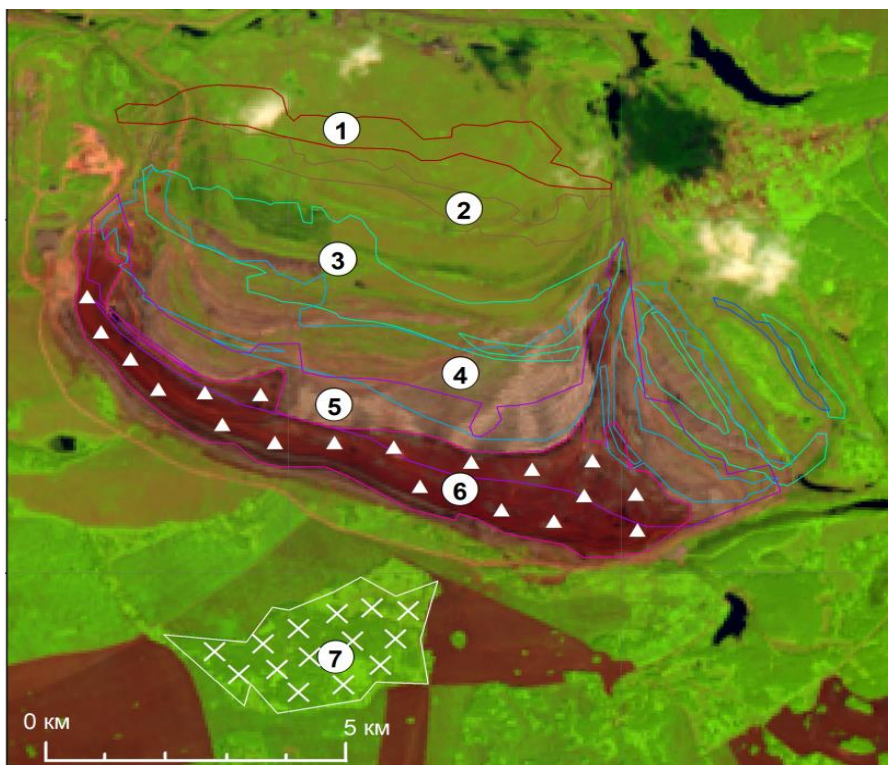
2018

1989-2000

2019

Хроноряды для техногенных объектов формируются на одном и том же спутниковом снимке, так как различные участки имеют разный срок нарушенности Z1-Z6. Используя такой подход можно оценивать участки до 50+ лет.

Методика



Территория Бородинского угольного разреза, Landsat-8 OLI/TIRS, 02.07.2018

Замеры спектральных характеристик за определенный временной период:

▲ – внутри нарушенного полигона;

X – фоновой растительности.

Активные зоны карьера:

1 – Landsat-2 1975.07.01;

2 – Landsat-3 1980.07.01;

3 – Landsat-5 1990.08.06;

4 – Landsat-7 2000.07.01;

5 – Landsat-5 2010.06.19;

6 – Landsat-8 2018.07.20;

7 – фоновый участок леса.

Методика

Анализ амплитуды отклонений значений нарушенных участков от фоновых (%) для «Т», проводились за вегетационный период по следующим формулам:

$$\Delta T/T_{\text{фон}} = 100 \cdot (T_{\text{цель}} - T_{\text{фон}})/T_{\text{фон}} \quad (1)$$

$T_{\text{фон}}$ – тепловое поле для фоновой растительности

$T_{\text{цель}}$ – тепловое поле на нарушенных участках

$$\Delta \alpha/\alpha_{\text{фон}} = 100 \cdot (\alpha_{\text{цель}} - \alpha_{\text{фон}})/\alpha_{\text{фон}} \quad (2)$$

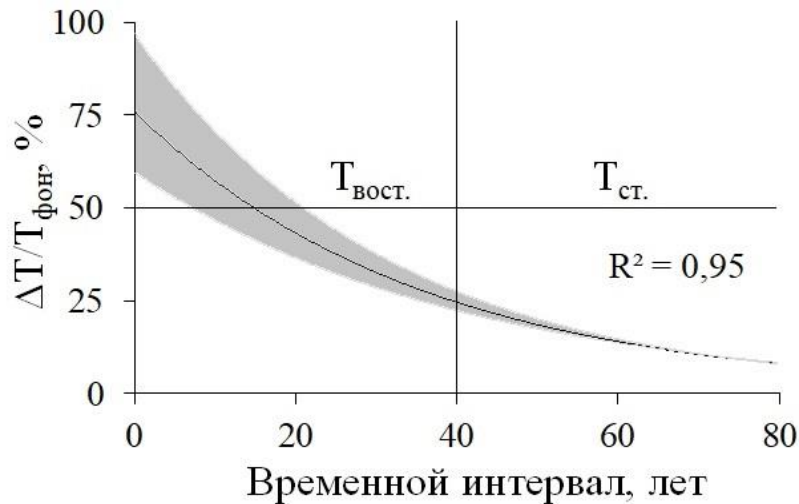
$\alpha_{\text{фон}}$ – спектральное альbedo для фоновой растительности

$\alpha_{\text{цель}}$ – спектрально альbedo на нарушенных участках

Анализ различий в спектральном альbedo выполнялся по аналогичному принципу (относительно фоновых значений).

$$\alpha_1 - 0.620-0.670_{\text{мкм}} \quad / \quad \alpha_2 - 0.841-0.876_{\text{мкм}} \quad \Delta T/T_{\text{фон}} \begin{cases} \rightarrow L5 - 10.40-12.50_{\text{мкм}} \\ \rightarrow L7 - 10.40-12.50_{\text{мкм}} \\ \rightarrow L8 - 10.60-11.19_{\text{мкм}} \end{cases}$$

Результаты



Многолетняя динамика температуры поверхности на территории угольного карьера

В период 40 – 60 лет наблюдается стабилизация температурных параметров ($T_{ст}$).

Спад $\sim 15\%$ за каждый десятилетний период, после первого, в случае максимальных значений.

В сравнение с фоновыми значениями наблюдается повышение радиояркостной температуры поверхности.

В течение 1 года – аномалия теплового поля находилась в пределах $\Delta T/T \sim 70-100\%$.

В течение **10 лет** – $\Delta T/T \sim 45-65\%$.

В течение **20 лет** – $\Delta T/T \sim 39-51\%$.

В течение **30 лет** – $\Delta T/T \sim 28-35\%$.

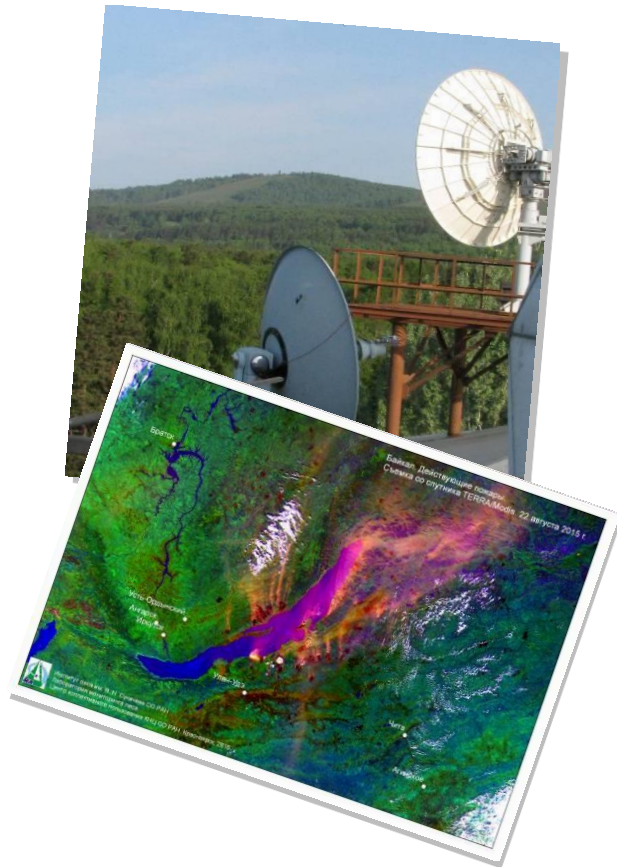
В течение **40 лет** – $\Delta T/T \sim 19-20\%$.

В течение **60 лет** – $\Delta T/T \sim 13-15\%$.

Выводы

1. В условиях повышенной инсоляции на пост-техногенных участках наблюдаются более “контрастны” условия по сравнению с фоном, а процессы восстановления теплового режима занимают более 60 лет. Формируются “*Нео-техногенные экосистемы*”, характеризующиеся особыми тепловыми режимами почв, отличными от фоновых. Таким образом, мониторинг поверхностных тепловых аномалий может быть использован в качестве дополнительного диагностического критерия состояния пост-техногенных экосистем в контексте развития территорий.
2. Используя временные ряды спутниковых данных (Landsat и Terra/MODIS), возможна косвенная оценка восстановления нарушенных экосистем с точки зрения выравнивания аномалии спектральных характеристик (спектральное альbedo в коротковолновых диапазонах и радиояркостная температура) по сравнению с характеристиками фоновых областей.

Спасибо за внимание!



Работа выполнена при поддержке: РФФИ-КФН №20-44-242002 Инструментальный мониторинг физических свойств и численное моделирование состояния техногенно-нарушенных почв Сибири.

В работе использовались данные и аппаратура предоставленная ФИЦ КНЦ СО РАН.