



Двадцать вторая международная конференция
«Современные проблемы дистанционного
зондирования Земли из космоса»



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

Спектральные характеристики трансформированных ландшафтов севера Красноярского края на данных съемки Landsat

Сыроежко Михаил Юрьевич, ИЛ СО РАН, ИЭиГ СФУ
Пономарёв Евгений Иванович, ИЛ СО РАН, ИЭиГ СФУ

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-20007,
<https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки.

Москва 2024

Актуальность

Высокие темпы освоения арктических экосистем, в дополнение к прогнозируемым изменениям в будущем могут стать причинами трансформации значительных территорий криолитозоны. Наблюдается необходимость в количественной оценке и долговременном контроле состояния как трансформированных, так и фоновых территорий по данным дистанционного зондирования. Дистанционные данные в комплексе с натурными исследованиями являются наиболее эффективным способом контроля состояния экосистем и масштабов происходящих изменений.



Территория исследования (1 – Оганер, 2 – Боганида)
(Фото Сыроежко М. Ю.)

Цель и задачи

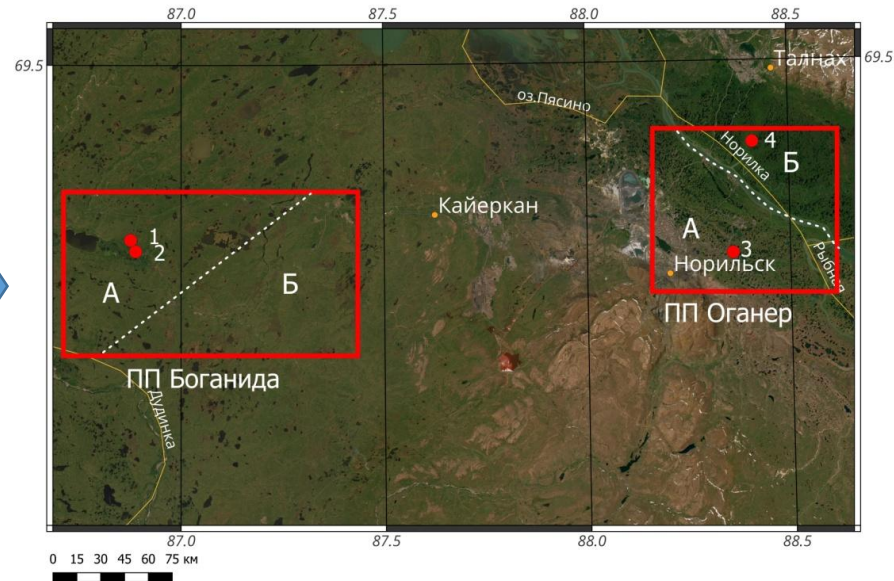
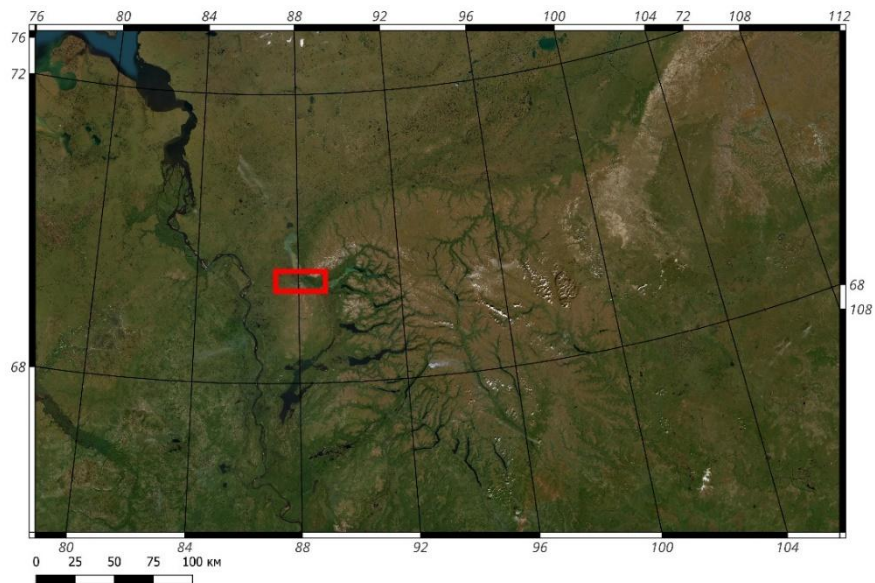


Цель работы – проведение предварительной классификации участков в районе Норильского промышленного района по данным ДЗЗ с учетом материалов натурных обследований, а также оценка динамики спектральных индексов NDVI и LST в условиях различной степени трансформации растительности и напочвенного покровов.

Задачи исследования:

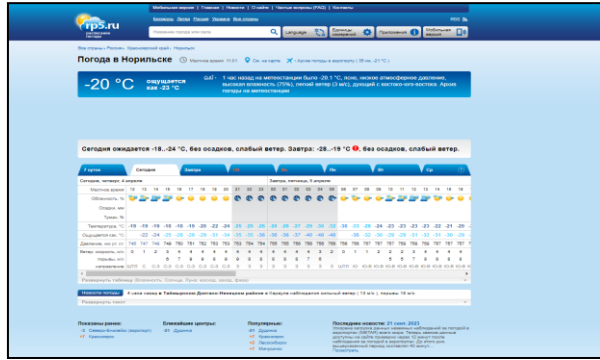
1. Уточнение классификации ландшафтов по материалам спутниковых данных Landsat – 8 на основе данных предварительных натурных обследований;
2. Характеристика соотношения выделяемых классов;
3. Особенности спектральных характеристик естественных и трансформированных ландшафтов на рассмотренных территориях.

Район исследования



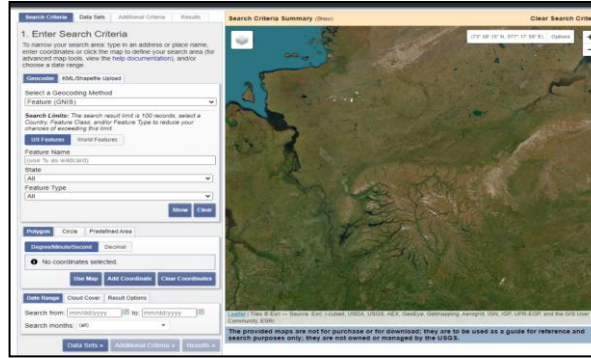
Территория района исследований: 1 – ПП Боганида (А – фоновый участок; Б фоновый с включением инфраструктурных объектов); 2 – ПП Оганер (А - трансформированный; Б – умеренно трансформированный). Точки: 1 ПП Боганида (фон, тундра); 2 – ПП Боганида (фон, древостой); 3 – ПП Оганер (трансформированный участок); 4 – ПП Оганер (редколесье)

Источники первичных данных



Сайт с архивом
климатических данных
ООО «Расписание Погоды»
(www.rp5.ru)

Данные о температуре
воздуха за 2016 – 2023 год



Открытый банк данных (USGS)
(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

Сцены спутниковых снимков Landsat
8 за 2016 – 2023 год



Полевой эксперимент в
районе исследования
2023 – 2024

Данные о состоянии
напочвенного и
растительного покрова

Методы обработки

1. **Классификация** спутникового снимка **методом максимального подобия** на основе предварительной обучающей выборки для района исследования по данным полевых исследований

2. **Land Surface Temperature (LST):**

$$LST = (BT/1) + W * (BT/14380) * Ln(E)$$

где BT – верхняя яркостная температура атмосферы ($^{\circ}C$);

W – длина волны излучения (мкм);

ϵ – коэффициент излучения земной поверхности ($Дж/м^2$).

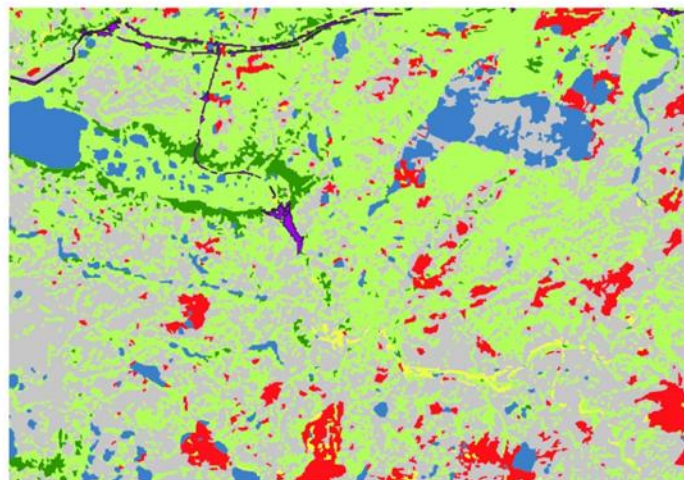
3. **Normalized difference vegetation index (NDVI)**

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

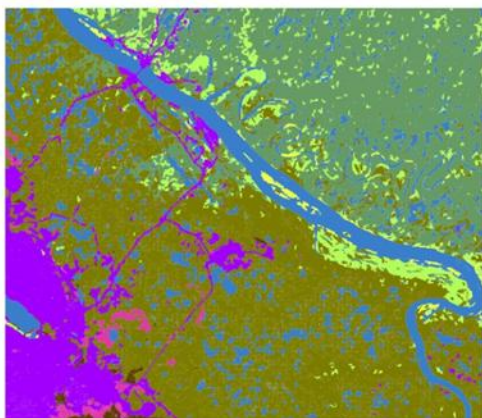
где NIR – значения пикселей из инфракрасного канала ($\lambda = 0,845 - 0,885$ мкм);

RED – значения пикселей из красного канала ($\lambda = 0,630 - 0,680$ мкм).

Классификация спутниковых данных



0 2,5 5 км



0 1 2 км

ПП Боганида

Легенда

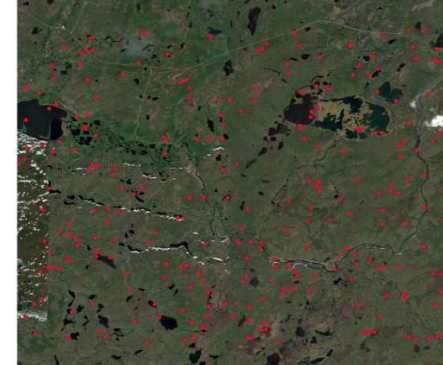
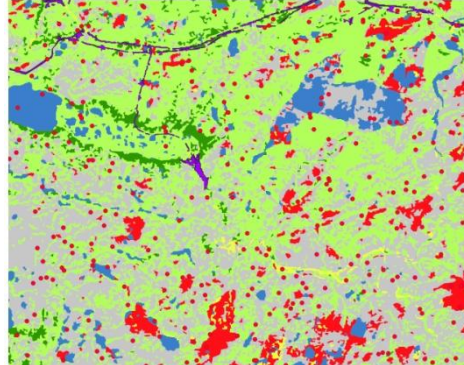
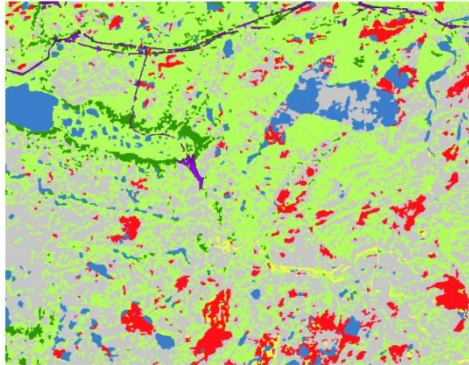
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

ПП Оганер

Номер класса	Название класса
1	Реки и озера
2	Инфраструктура
3	Мелкотравянистая тундра
4	Трансформированные участки заболоченной тундры
5	Аллювиальные лишённые растительности участки
6	Долинные комплексы лиственничников и ельников
7	Кустарничковая тундра
8	Участки на техногенных субстратах
9	Аэротехногенно-нарушенные лесотундровые ландшафты
10	Умеренно изменённые лесотундровые участки
11	Гольцы и открытые участки

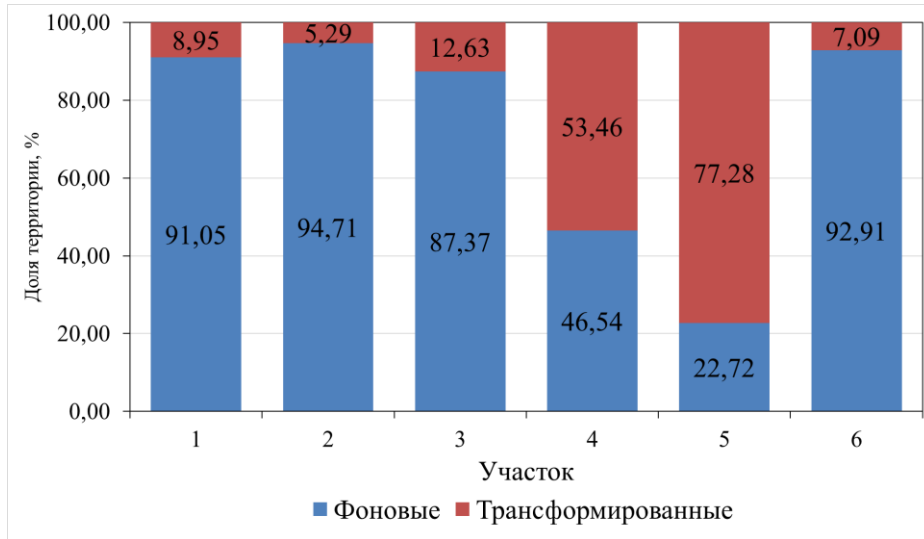
Матрица ошибок

OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	Total	U_Accuracy	Kappa
0	C_1	19	0	1	0	0	0	2	22	0,86	0
1	C_2	0	9	0	0	0	0	1	10	0,90	0
2	C_3	0	4	108	22	1	1	9	145	0,74	0
3	C_4	0	0	0	24	0	0	0	24	1,00	0
4	C_5	1	1	0	3	5	0	0	10	0,50	0
5	C_6	0	0	1	0	0	4	5	10	0,40	0
6	C_7	5	0	18	5	0	6	106	140	0,76	0
7	Total	25	14	128	54	6	11	123	361	0,00	0
8	P_Accuracy	0,76	0,64	0,84	0,44	0,83	0,36	0,86	0	0,76	0
9	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,66

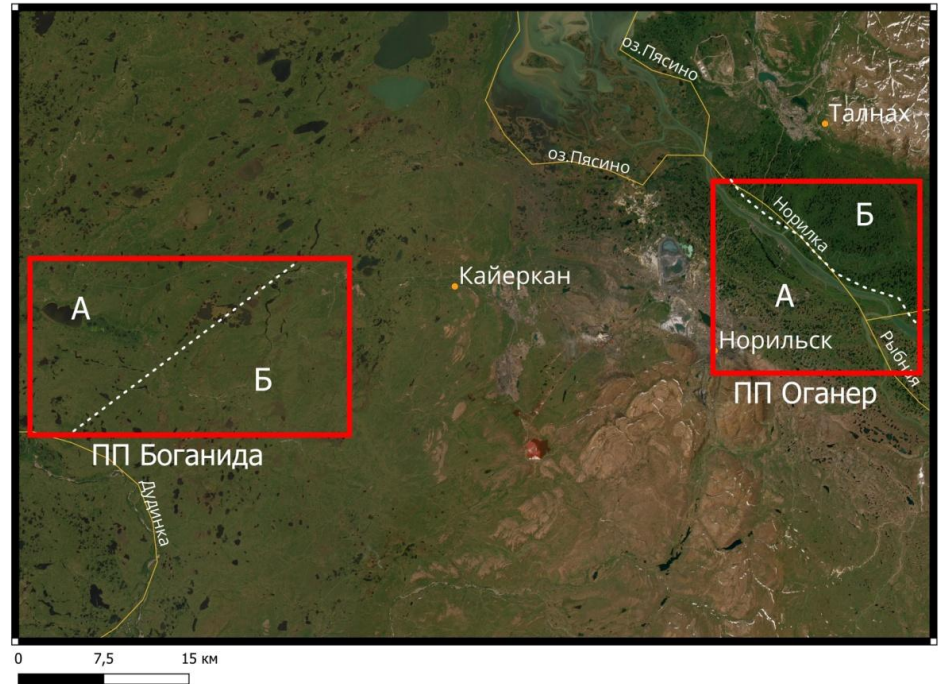


А – фрагмент карты для проведения оценки точности классификации, Б – точки для оценки точности; В – векторный слой обучающей выборки (WorldView-2, 46 см на пиксел)

Оценка масштабов трансформации



1 – ПП Боганида; 2 – ПП Боганида - А (фоновый); 3 – ПП Боганида – Б (фоновый с включением инфраструктурных объектов) 4 – ПП Оганер; 5 – ПП Оганер (трансформированный); 6 – ПП Оганер (умеренно-трансформированный)



Территория района исследований: 1 – ПП Боганида (А – участок фонового состояния; Б – участок с наличием природных трансформаций); 2 – ПП Оганер (А - участок с высокой степенью трансформаций; Б – умеренно трансформированный участок).

Естественные и трансформированные ландшафты Норильского промышленного района

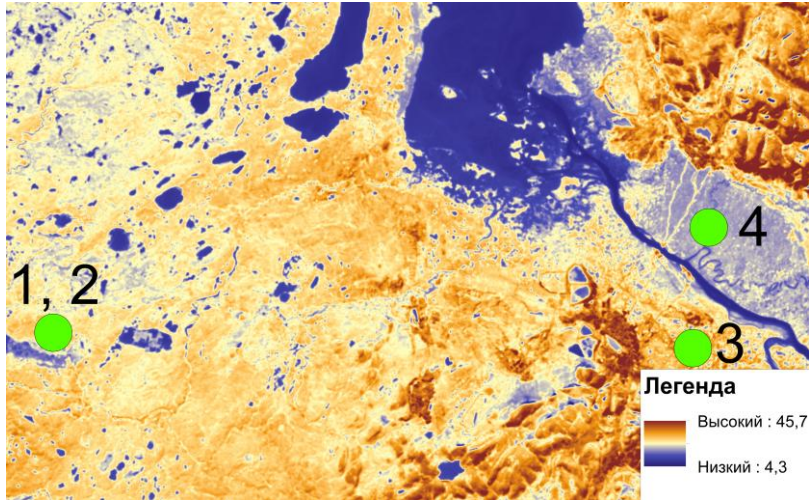


ПП Боганида



ПП Оганер

Относительное отклонение значений LST ($\Delta T_{\text{отн}}$, %)



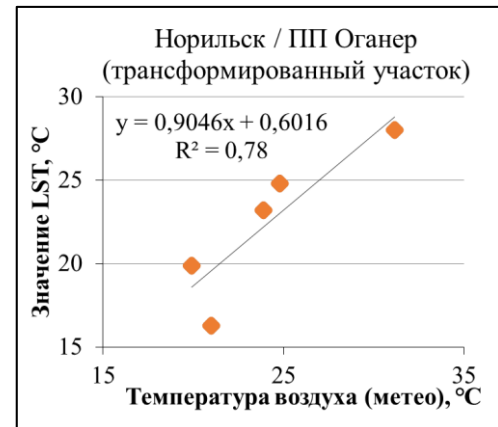
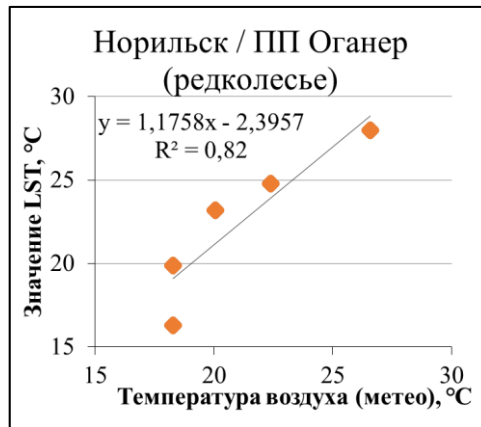
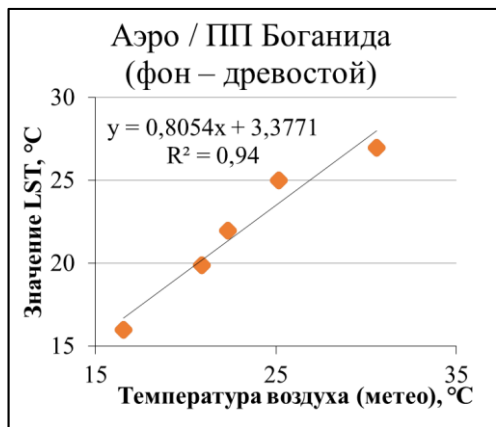
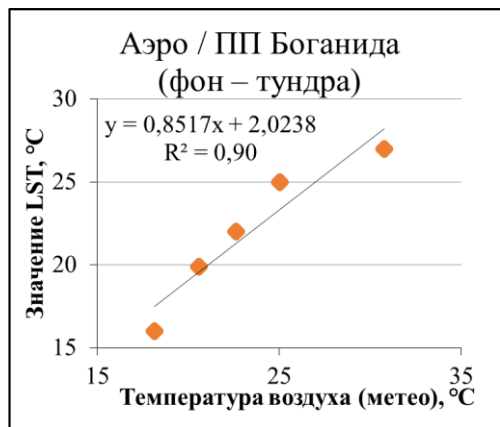
Среднее значение относительного отклонения значения LST от температуры воздуха по данным метеостанции для фоновых участков не превышало 5,7%, а для участков с разной степенью трансформации – 8,6%.

Отклонения средних значений индекса LST для трансформированных участков по отношению к фону:

ПП Оганер (трансформированный участок) / ПП Боганида (фон – тундра) – $3,62 \pm 7,44\%$;

ПП Оганер (редколесье) / ПП Боганида (фон – древостой) – $-7,22 \pm 9,99\%$.

Графики корреляционного поля



Достоверность линейной аппроксимации значений индекса LST и температуры воздуха по данным метеостанции в летний период 2016-2023

$$R^2 = 0,78 - 0,94$$

Уровень корреляции для рядов с температурой воздуха по данным метеостанции и данных индекса LST

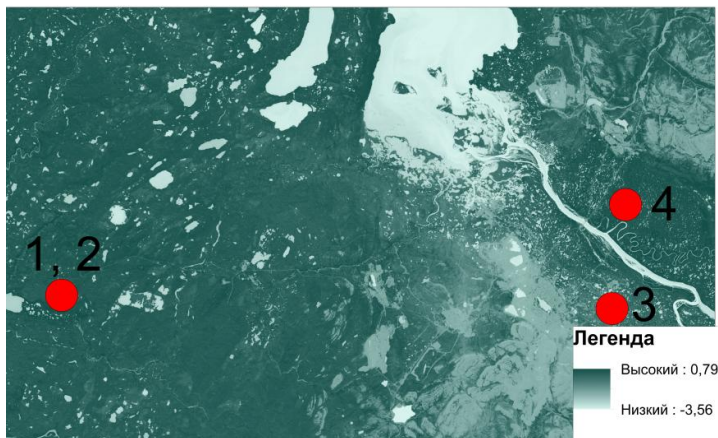
$$r = 0,88 - 0,97$$

*Норильск – Метеостанция г. Норильск

*Аэро – Метеостанция аэропорта г. Норильск

Вариативность индекса NDVI

Таблица 1 - Значения NDVI для выбранных точек



Год/Участок	ПП Боганида фон – древостой	ПП Боганида фон – тундра	ПП Оганер (трансформированный участок)	ПП Оганер (редколесье)
2016	0,68±0,02	0,57±0,03	0,33±0,04	0,56±0,04
2018	0,41±0,03	0,37±0,03	0,25±0,02	0,42±0,05
2019	0,59±0,01	0,48±0,02	0,31±0,04	0,52±0,04
2022	0,58±0,02	0,55±0,03	0,3±0,03	0,58±0,04
2023	0,62±0,03	0,59±0,03	0,33±0,05	0,6±0,03

Точки:

- 1 – ПП Боганида (фон – тундра);
- 2 – ПП Боганида (фон – древостой);
- 3 – ПП Оганер (трансформированный участок);
- 4 – ПП Оганер (редколесье)

Отклонение (снижение) средних значений индекса NDVI для участков с разной степенью трансформации по отношению к фону за 2016–2023 гг. достигали 39%:

- ПП Оганер (трансформированный участок) / ПП Боганида (фон – тундра) – **39 ±5,18%**;
- ПП Оганер (редколесье) / ПП Боганида (фон – древостой) – **6±8,26%**.

Заключение

- Получена классификация на участки в районе исследования. Выделено 11 классов ландшафтов, распределенных на два блока: естественные и трансформированные. Точность классификации достигает 70% в зависимости от детализации классов.
- На основе классификации выявлена доля участков с признаками трансформации от 9 до 53%. По результатам деления участков на фрагменты доля трансформации наблюдалась в диапазоне 5 – 77%.
- Получены значения спектральных индексов для исследуемых точек за период 2016 – 2023 год. Полученные данные индекса NDVI позволили выявить отклонение (снижение) значений в диапазоне 15 – 39% на трансформированных участках, относительно фоновых.
- Полученные значения LST для района исследования показали, что относительное отклонение значений фоновых участков от метеостанции не превышало 6%, а на участках различной степени трансформации – 9%. Значение достоверности аппроксимации данных составило $R^2 = 0,78 - 0,94$. Отклонение средних значений LST трансформированных участков относительно фона достигает 10%.
- Результаты классификации позволяют оптимизировать выбор дополнительных точек наземных обследований в районе интересов.

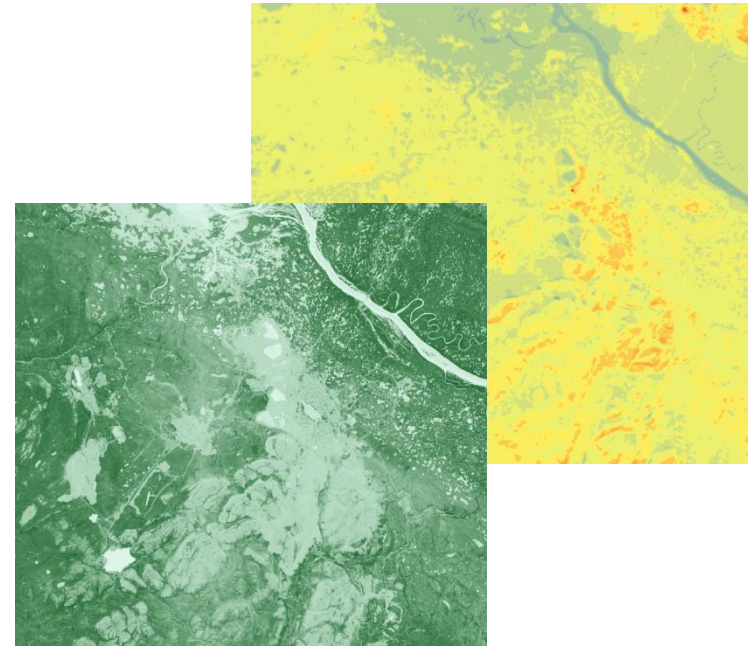
Спасибо за внимание

Тема: Спектральные характеристики трансформированных ландшафтов севера Красноярского края на данных съемки Landsat

Контактная информация:

Сыроежко Михаил Юрьевич

E-mail: syroezhko.michail@gmail.com



Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-20007,
<https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки.