



Институт проблем нефти и газа РАН



Опыт применения температурно-вегетационного индекса для характеристики изменений влажности почвенного растительного покрова тундровой зоны (на примере полигона Бованенковского месторождения, п-ов Ямал)

Корниенко С.Г.

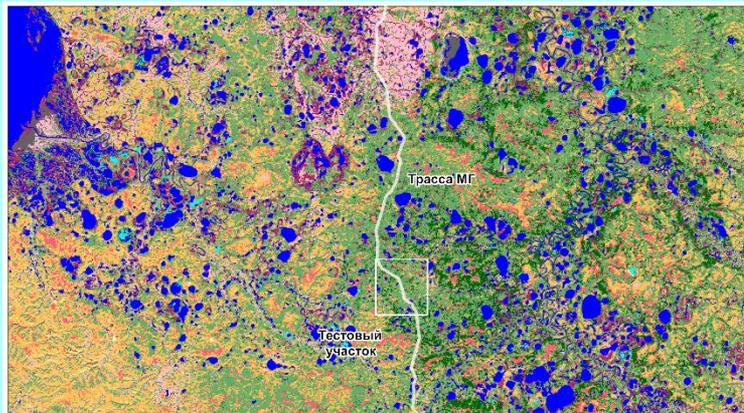
г. Москва, ИКИ РАН, 11-15.11.2024 г.

- **Актуальное направление изучения арктических регионов** - характеристика и прогнозирование деградации мерзлоты в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия (акад. Эпов М.И.).
- **Для разных типов ландшафта криолитозоны** реакция мерзлоты на потепление может идти не только с разной интенсивностью, но и неоднозначно (Конищев В.Н., 2009).
- **Увеличение глубины сезонно-талого слоя (СТС) (деградация мерзлоты)** прямо зависит от суммы положительных температур воздуха и обратно от влажности СТС и **теплоизоляционных свойств почвенного растительного покрова (НРП)**, которые в свою очередь также **зависят от влажности**.

Температурно-вегетационный индекс WI - индикатор влажности различных типов почвенного растительного покрова (НРП) тундровой зоны

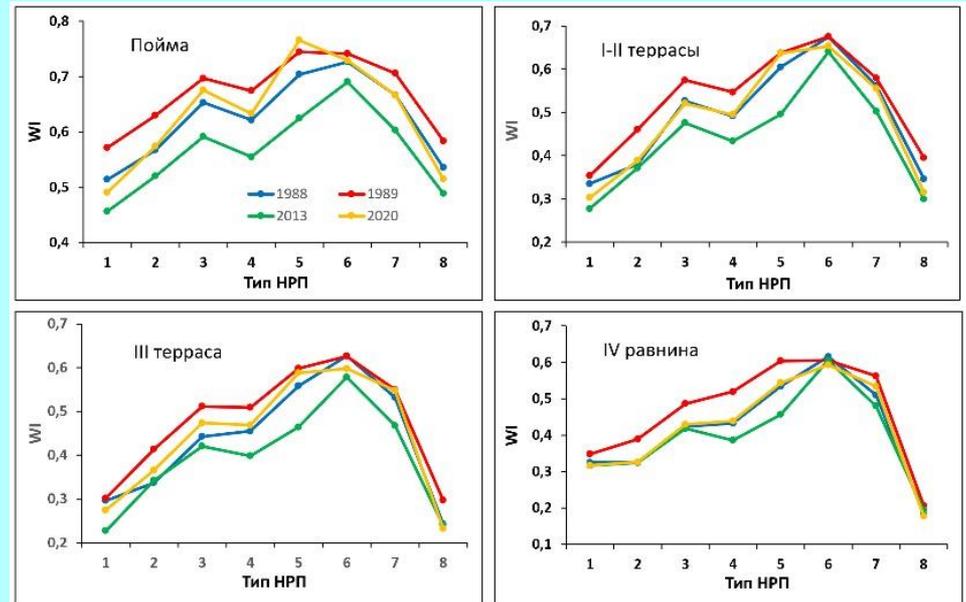
$$WI = \frac{LST_{dry} - LST_s}{LST_{dry} - LST_{wet}} = \frac{(a_{dry} \cdot NDVI + b_{dry}) - LST_s}{(a_{dry} \cdot NDVI + b_{dry}) - (a_{wet} \cdot NDVI + b_{wet})}$$

Карта типов растительного покрова (М 1: 100 000)



- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 - кустарничково-лишайниковые тундры | 6 - болота сфагновые |
| 2 - тундры мохово-лишайниковые | 7 - болота грядово-мочажинные |
| 3 - тундры моховые | 8 - луговины |
| 4 - тундры кустарничково-моховые | 9 - пески |
| 5 - ивняки | 10 - водные поверхности |

Распределение индекса WI по типам НРП с различной влажностью



Цель исследований – оценка информативности температурно-вегетационного индекса WI для характеристики изменений влажности напочвенного растительного покрова тундровых зон

Исходные данные –

- 15 снимков со спутников Landsat 5, 7, 8 (июль, август) за период с 1984 по 2023 гг. на территорию полигона Бованенковского НГКМ (п-ов Ямал);
- геоморфологическая карта (М 1: 100 000) на основе ЦМР Arctic DEM (30 м);
- данные метеонаблюдений со станции Марре-Сале.

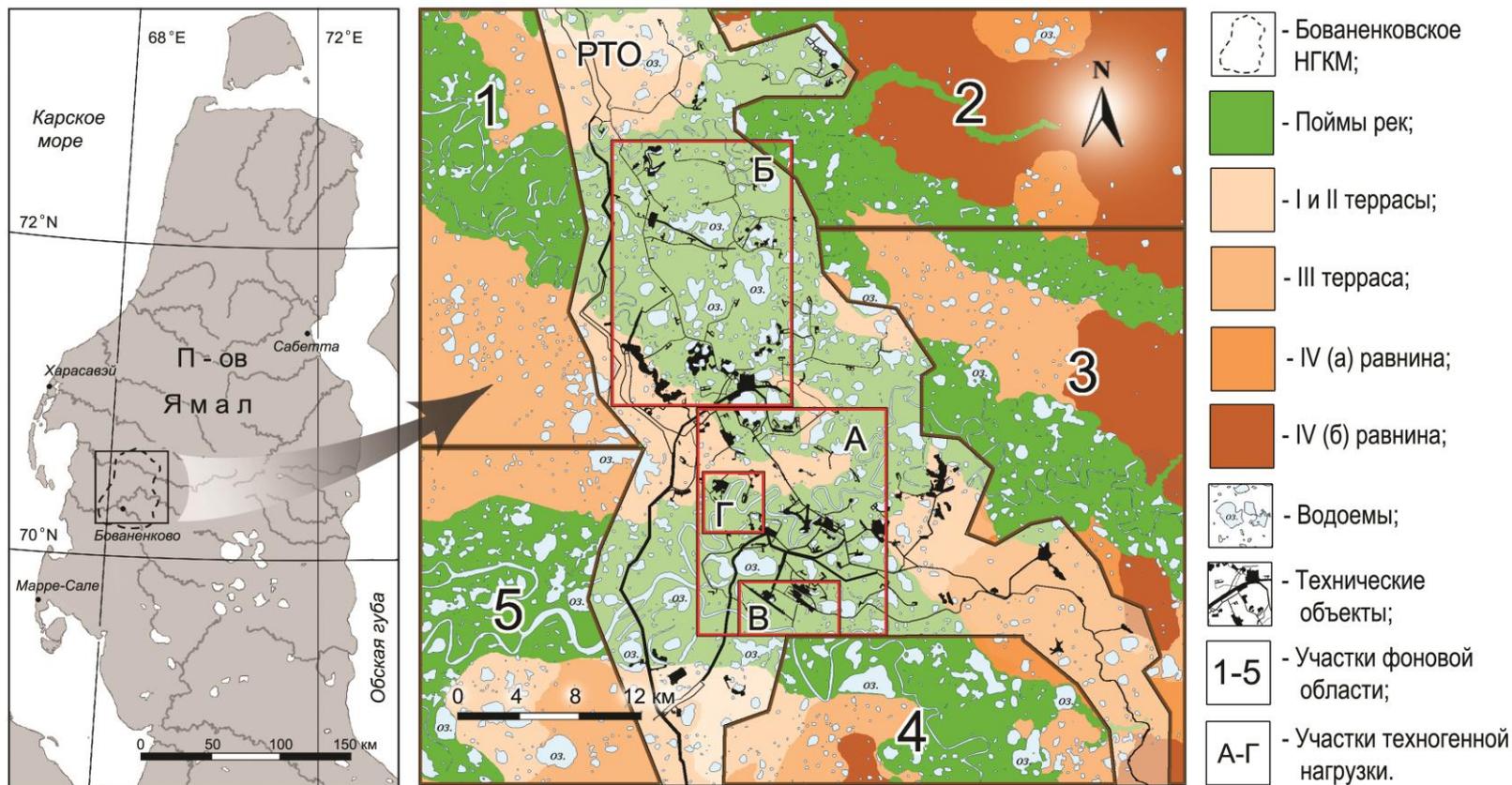
Расчетные параметры -

- вегетационный индекс **NDVI** (концентрация зеленой массы в растительности);
- индекс влажности на поверхности покрова **NDWI**;
- температура поверхности **LST**;
- суммарная площадь водоемов (**СПВ**) (по индексу водной поверхности **MNDWI**);
- индекс **WI** (Wet Index), характеризующий влажность НПП и субстратов до глубины проникновения суточных колебаний температуры (СКТ).

Дополнительная обработка данных со спутников Landsat –

- относительная радиометрическая нормализация параметров по участкам ненарушенного (фонового) состояния ландшафтов для снижения влияния неинформативных факторов (сезонные вариации, метеорологические условия, пропускание атмосферы, расхождения в калибровочных характеристиках и т.д.).

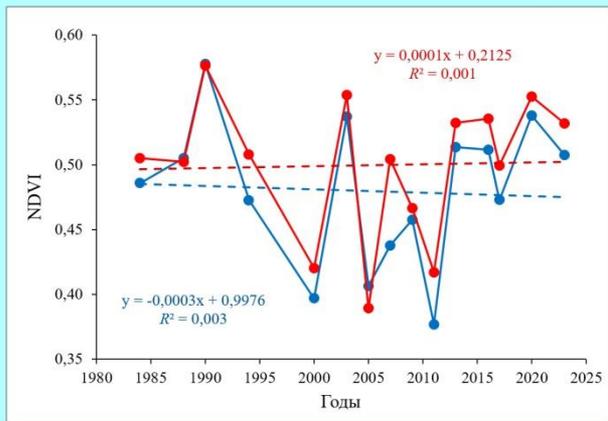
Расположение и характеристики полигона Бованенковского НГКМ на полуострове Ямал



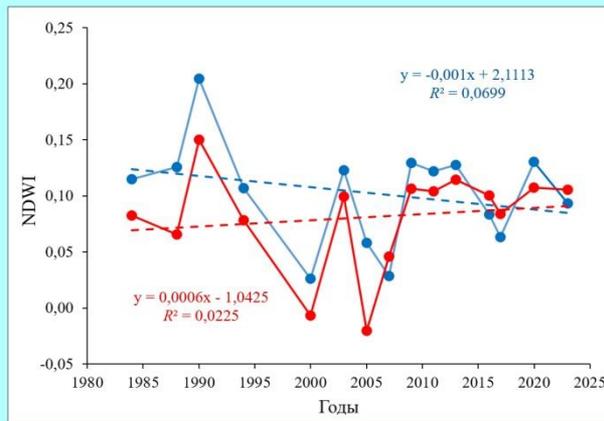
Территория – 50 x 50 км. Подзона северных субарктических тундр. Сплошное распространение мерзлоты. Залегающие близко к поверхности льды на террасах и равнинах. Высокая обводненность и заболоченность в поймах. Поверхности преимущественно плоские. Сплошной растительный покров мощностью 2-15 см.

Многолетние изменения средних значений NDVI, NDWI, WI и СПВ по поймам и террасам фоновой области

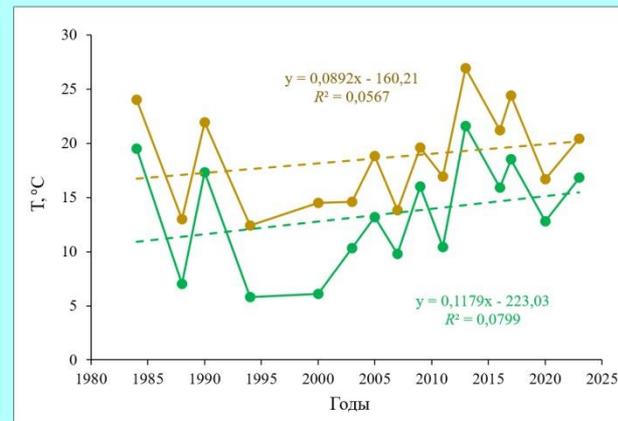
Концентрация зеленой массы (хлорофилла)



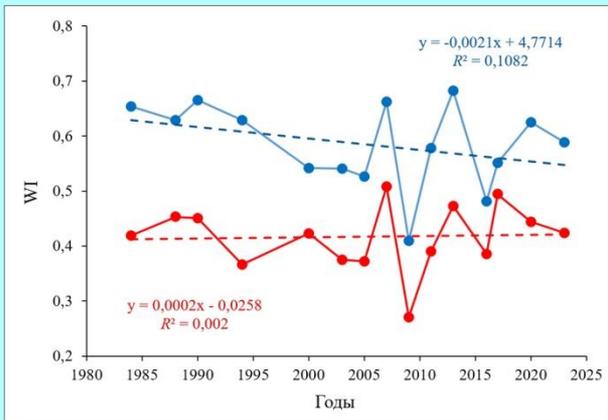
Влага на поверхности покрова



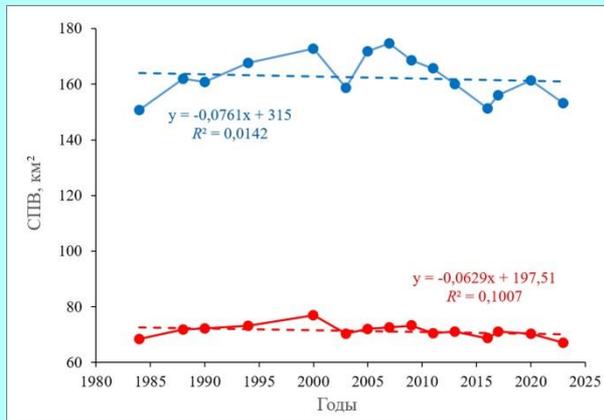
Температура воздуха на даты КС



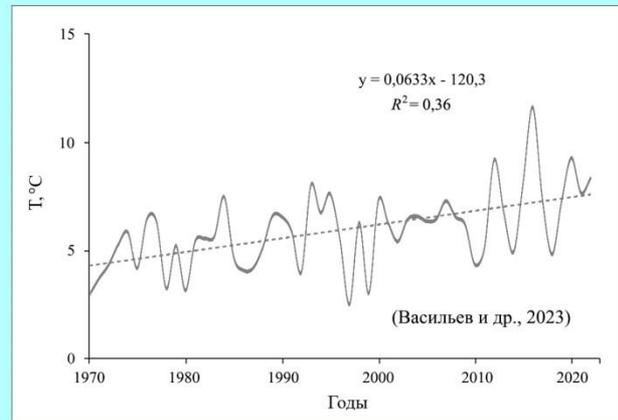
Влажность поверхности в слое СКТ



Площадь поверхности водоемов



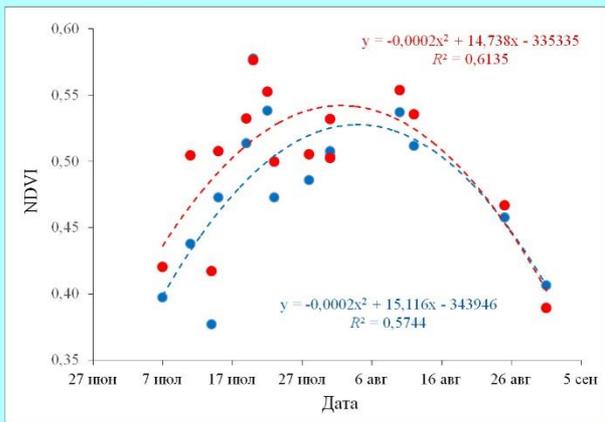
Среднегодовая температура воздуха



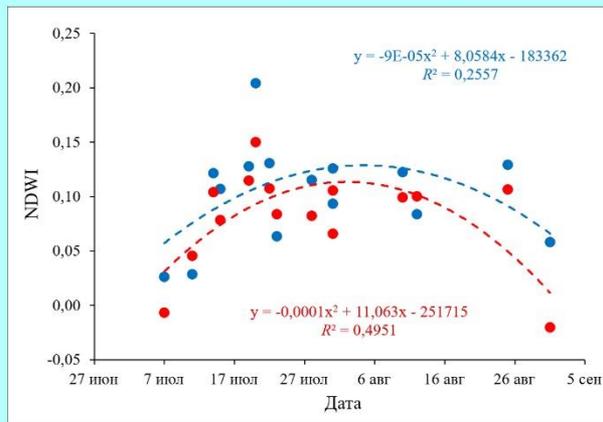
● - Поймы;
 ● - Террасы;
 ● - Среднесуточная Тв;
 ● - Максимальная Тв;
 — Среднегодовая Тв

Сезонные (летние) вариации средних значений NDVI, NDWI, WI, СПВ по поймам и террасам фоновой области

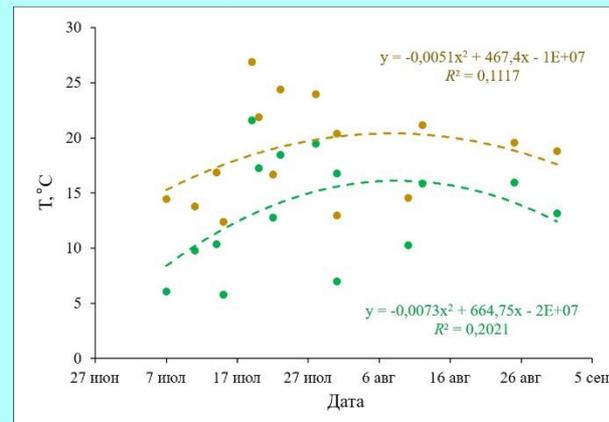
Концентрация зеленой массы (хлорофилла)



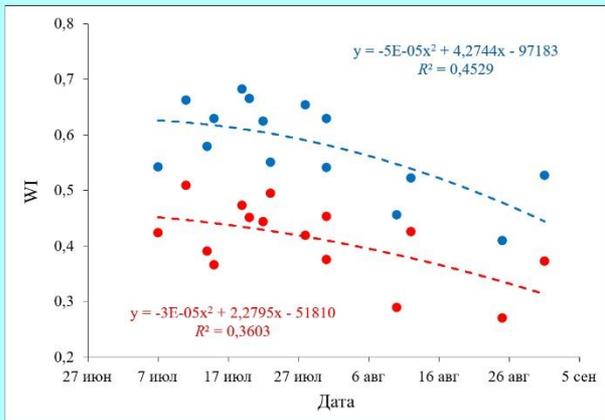
Влага на поверхности покрова



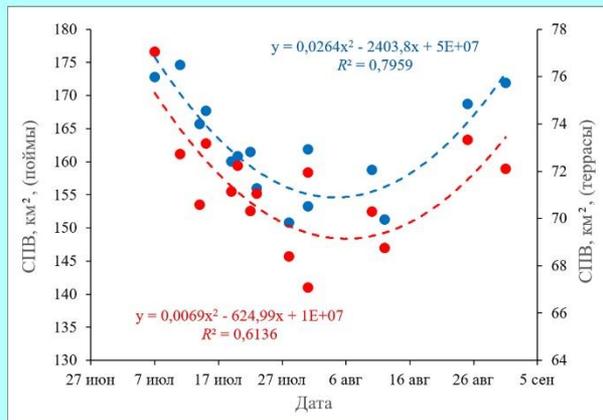
Температура воздуха на даты КС



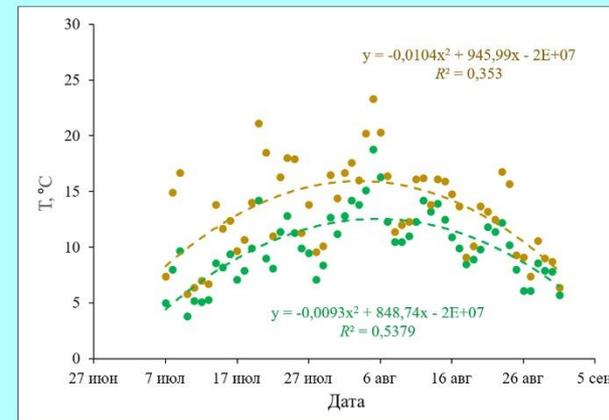
Влажность поверхности в слое СКТ



Площадь поверхности водоемов



Температура воздуха по дням в 2021 г.



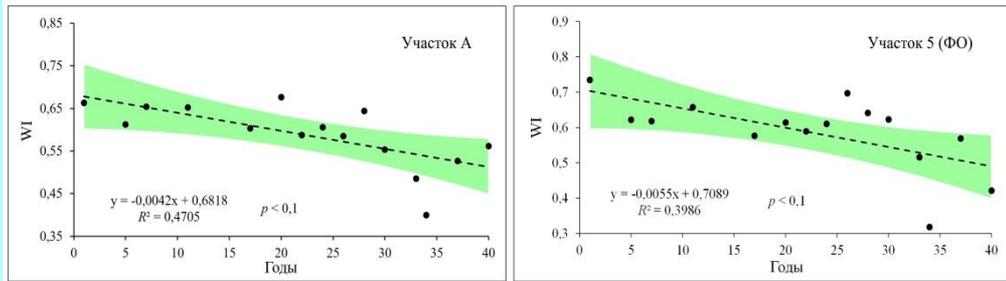
● - Поймы ● - Террасы ● - Среднесуточная Тв ● - Максимальная Тв

Тенденции многолетних изменений средних значений нормализованных индексов WI, NDWI, NDVI

(b – коэффициент наклона тренда;
 R^2 – коэффициент детерминации;
 p – доверительная вероятность)



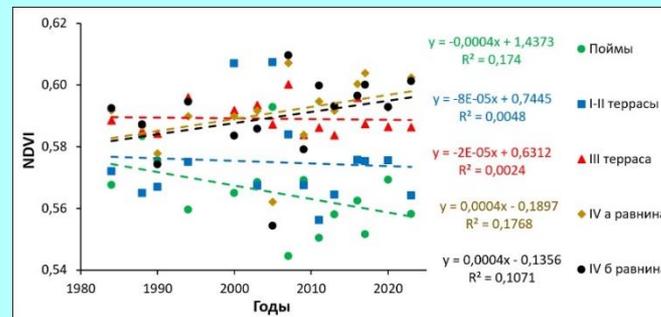
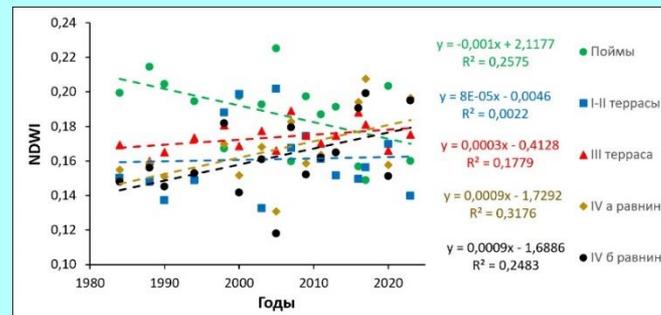
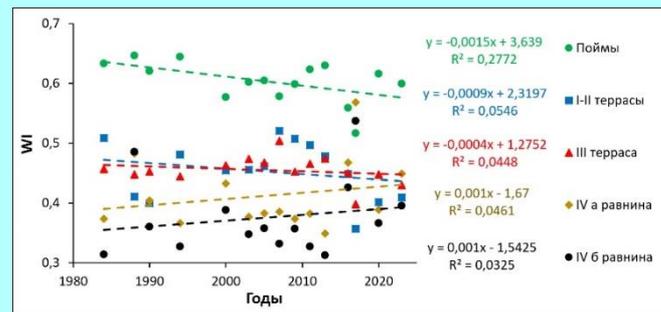
Тренды снижения индекса WI по участкам А и 5 (ФО) в пойме



Характеристики трендов индекса WI по участкам ФО и А, Б в пойме

Стат. Параметр	Участки в пойме						
	1	2	3	4	5	А	Б
b	-0,0008	-0,0002	-0,0002	-0,0028	-0,0055	-0,0042	-0,0010
R^2	0,0174	0,0019	0,0036	0,2397	0,3986	0,4705	0,0413
p	> 0,1	> 0,1	> 0,1	> 0,1	< 0,1	< 0,1	> 0,1

Изменения WI, NDWI, NDVI по геоморфологическим уровням фоновой области (ФО)



Различия информативности нормализованных индексов NDWI и WI при характеристике влажности НРП (по данным съемки 2013 и 2017 гг.)

Концентрация зеленой массы НРП

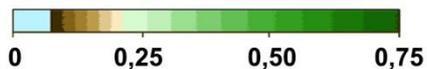
2013 г.



2017 г.



NDVI

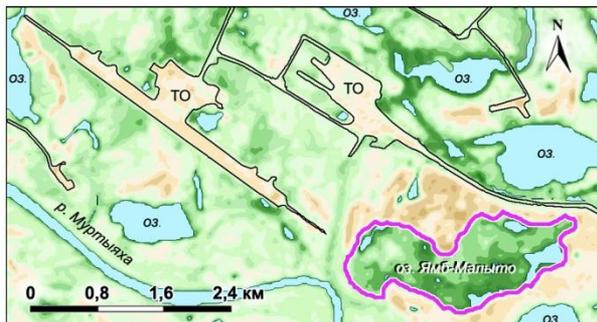


Влажность на поверхности НРП

2013 г.



2017 г.

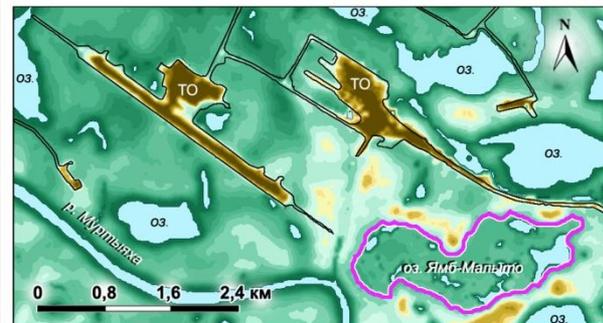


NDWI

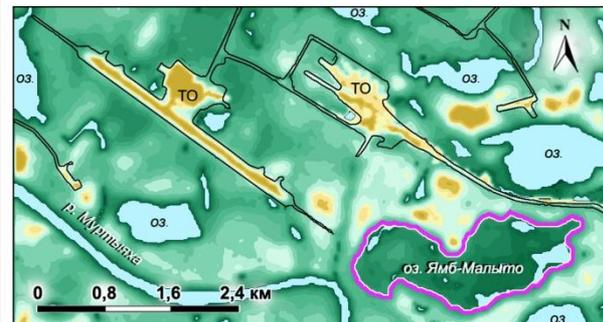


Влажность НРП слоя СКТ

2013 г.



2017 г.

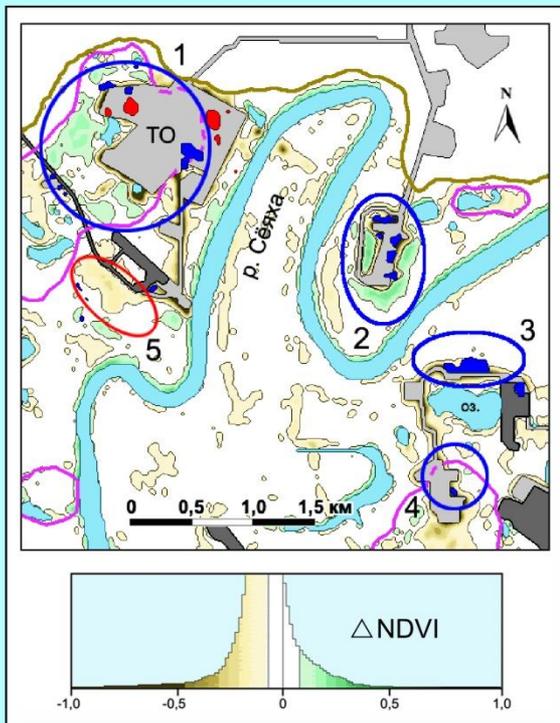


WI

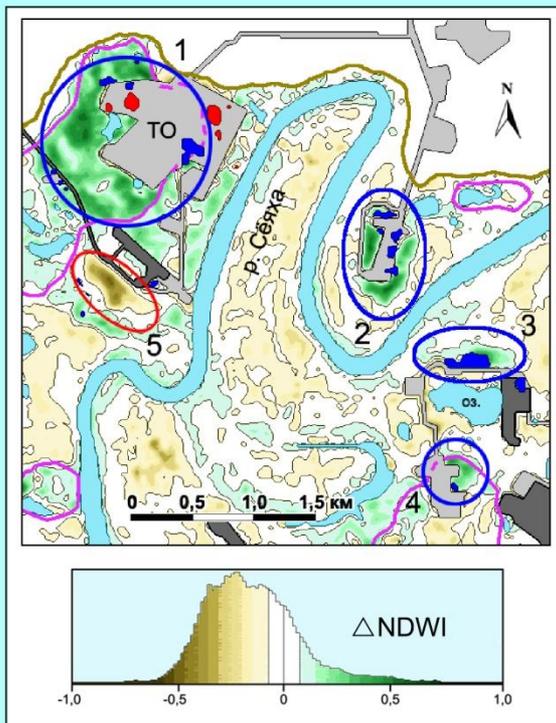


Фрагменты карт изменений нормализованных индексов NDVI, NDWI и WI, характеризующих аномальные изменения влажности НРП после строительства объектов за период с 2020 по 2023 гг.

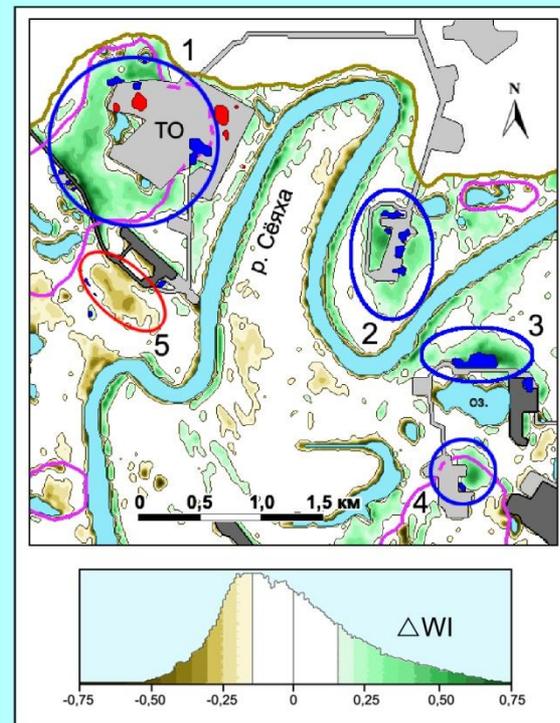
Изменение объема зеленой массы



Изменение влажности на поверхности



Изменение влажности НРП слоя СКТ



	- сохранившиеся водоемы;		- исчезнувшие водоемы;		- образовавшиеся водоемы;		- техн. объекты до 2020 г.;		- техн. объекты после 2020 г.;
	- контуры хасыреев;		- граница между поймой и террасами;		- участки повышения влажности НРП;		- участки снижения влажности НРП;		- номера участков.

Выводы

1. На примере полигона Бованенковского месторождения впервые по данным со спутников Landsat показана возможность применения температурно-вегетационного индекса WI для характеристики изменений влажности почвенного растительного покрова, в том числе обусловленных потеплением климата и антропогенным воздействием.
2. На участке более раннего освоения месторождения относительно фоновой области выявлен доминирующий тренд снижения индекса WI, характеризующий признаки уменьшения влажности поверхности, предположительно связанного с климатическим фактором.
3. Выявлены различия в тенденциях многолетних изменений почвенного покрова по индексам WI, NDWI и NDVI на разных геоморфологических уровнях подтверждающие представления о различной реакции типов криогенного ландшафта на потепление климата.
4. Схожие тенденции многолетних изменений индексов WI, NDWI и NDVI указывают на их взаимную связь, приуроченность к трансформациям растительного покрова, изменениям его влажности и теплоизоляционных свойств.



Спасибо за внимание !