



**Многолетние тренды изменения фитоценотических свойств и влажности  
напочвенного растительного покрова тундровой зоны и их связь с деградацией  
мерзлоты (на примере района Марре-Сале, п-ов Ямал)**

*Корниенко С.Г.*

г. Москва, ИКИ РАН, 13.11.2025 г.

## Актуальность

- Общие выводы о влиянии климата на мерзлоту не могут в полной мере характеризовать ее изменения на региональном и локальном уровне, поскольку темпы ее **деградации** зависят от многих факторов, в том числе от **особенностей рельефа, состояния растительности, структуры и влажности почвы**.
- В этой связи актуальны исследования, касающиеся применения **данных ДЗЗ** для характеристики связей между особенностями рельефа, изменением состояния растительности, влажности почвы и **глубины сезонно-талого слоя (СТС)**.

## Основные цели исследований:

- характеристика многолетних трендов изменения фитоценотических свойств напочвенного **растительного покрова (НРП)** и **влажности почвы** на разных **геоморфологических уровнях**;
- оценка информативности данных ДЗЗ для характеристики связей между изменениями НРП, влажности почвы и **глубины СТС**.

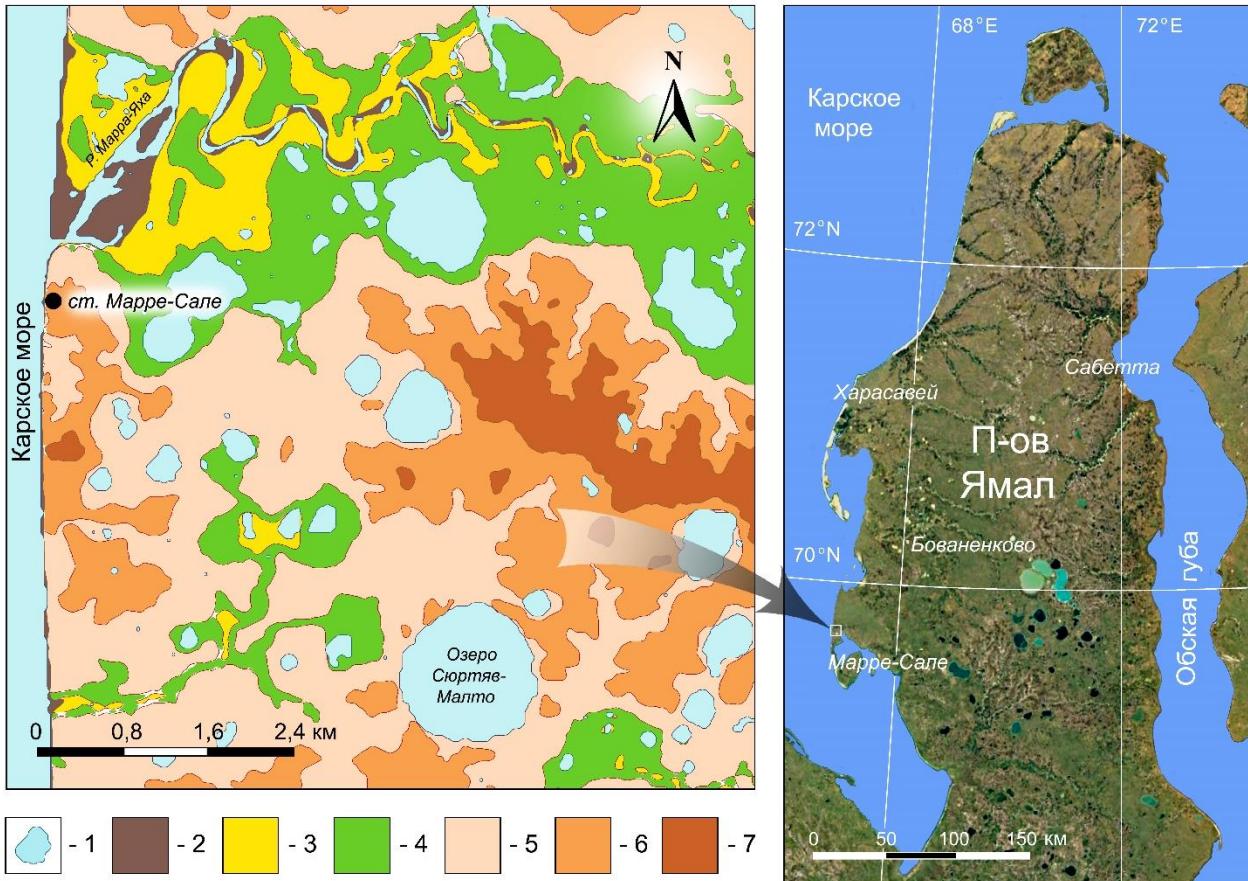
## Исходные данные:

- **43 снимка** со спутников Landsat 4, 5, 7, 8, 9 (июль, август) за период с 1985 по 2024 гг. на территорию **полигона Марре-Сале** (западное побережье п-ва Ямал);
- **геоморфологическая карта** (М 1: 100 000) на основе ЦМР Arctic DEM.
- данные об **изменении глубины СТС** в районе Марре-Сале за период с 1978 по 2022 гг.

## Расчетные параметры:

- вегетационный индекс **NDVI**;
- индекс **влажности** на поверхности покрова **NDWI**;
- индекс **водной** поверхности **MNDWI**;
- температурно-вегетационный индекс **WI**, характеризующий **влажность НРП и почвы в корневой зоне** (Sadeghi et al., 2017).

## Расположение и характеристика полигона Марре-Сале



1 – водные объекты; 2 – песчаные отмели; 3 – лайда; 4 – поймы рек; 5 – I и II террасы;  
6 – III терраса; 7 – IV терраса

Территория – 7 x 7 км

Подзона северных  
субарктических тундр

Сплошное распространение  
мерзлоты

Перепад высотных отметок  
0 – 42 м.

Сплошной растительный покров  
(мхи, лишайники кустарнички,  
травы) мощностью 2-15 см.

Тренд повышения температуры  
воздуха - 0,056 град/год

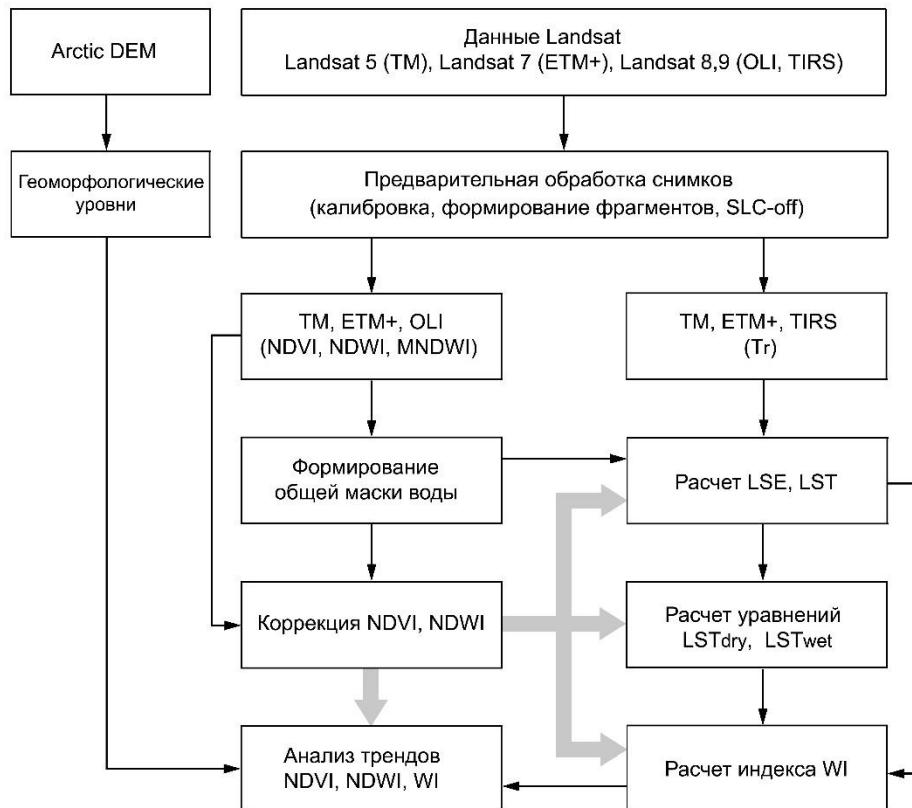
Глубина сезонно-талого слоя  
(СТС) 0,4 – 2,2 м

Геокриологические наблюдения  
с 1978 года

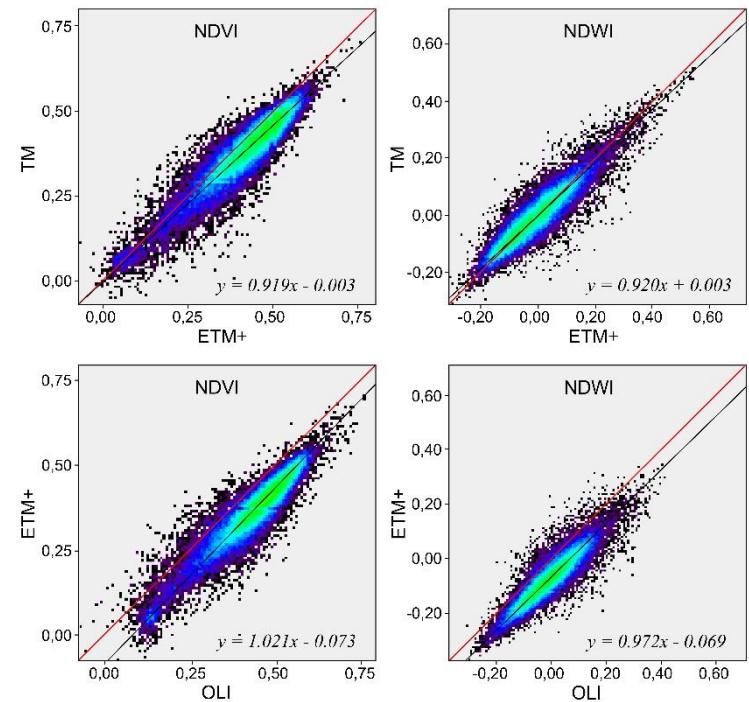
Отсутствие факторов  
антропогенного влияния

# Подготовка и обработка данных

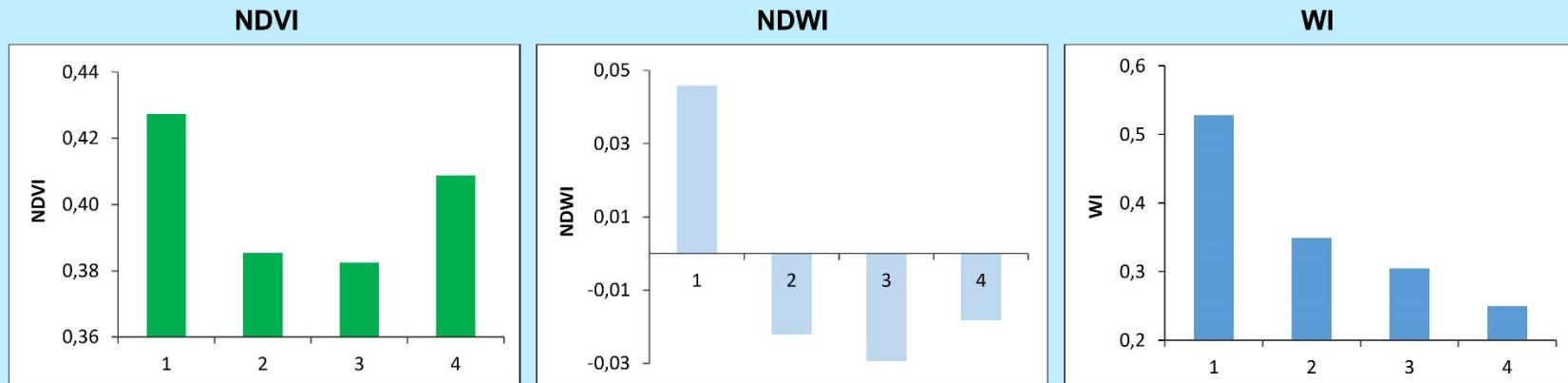
## Блок-схема обработки данных



## Коррекция индексов NDVI и NDWI по данным съемок с разницей в один день



## Средние за годы наблюдений значения индексов NDVI, NDWI, WI на разных геоморфологических уровнях

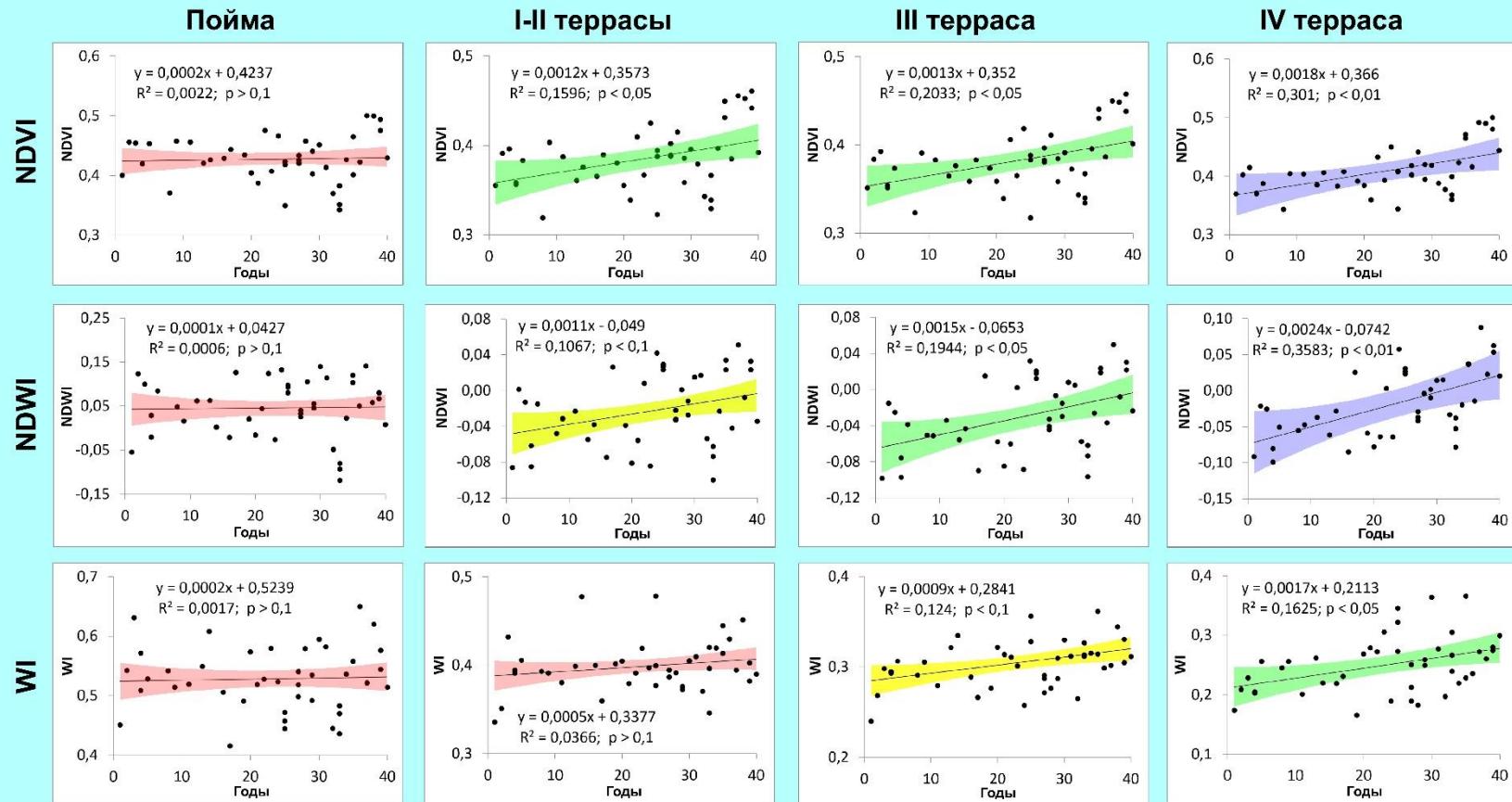


### Условные обозначения:

1 – пойма (0-5 м); 2 – I-II террасы (6-20 м); 3 – III терраса (21-30 м); 4 – IV терраса (31-42 м).

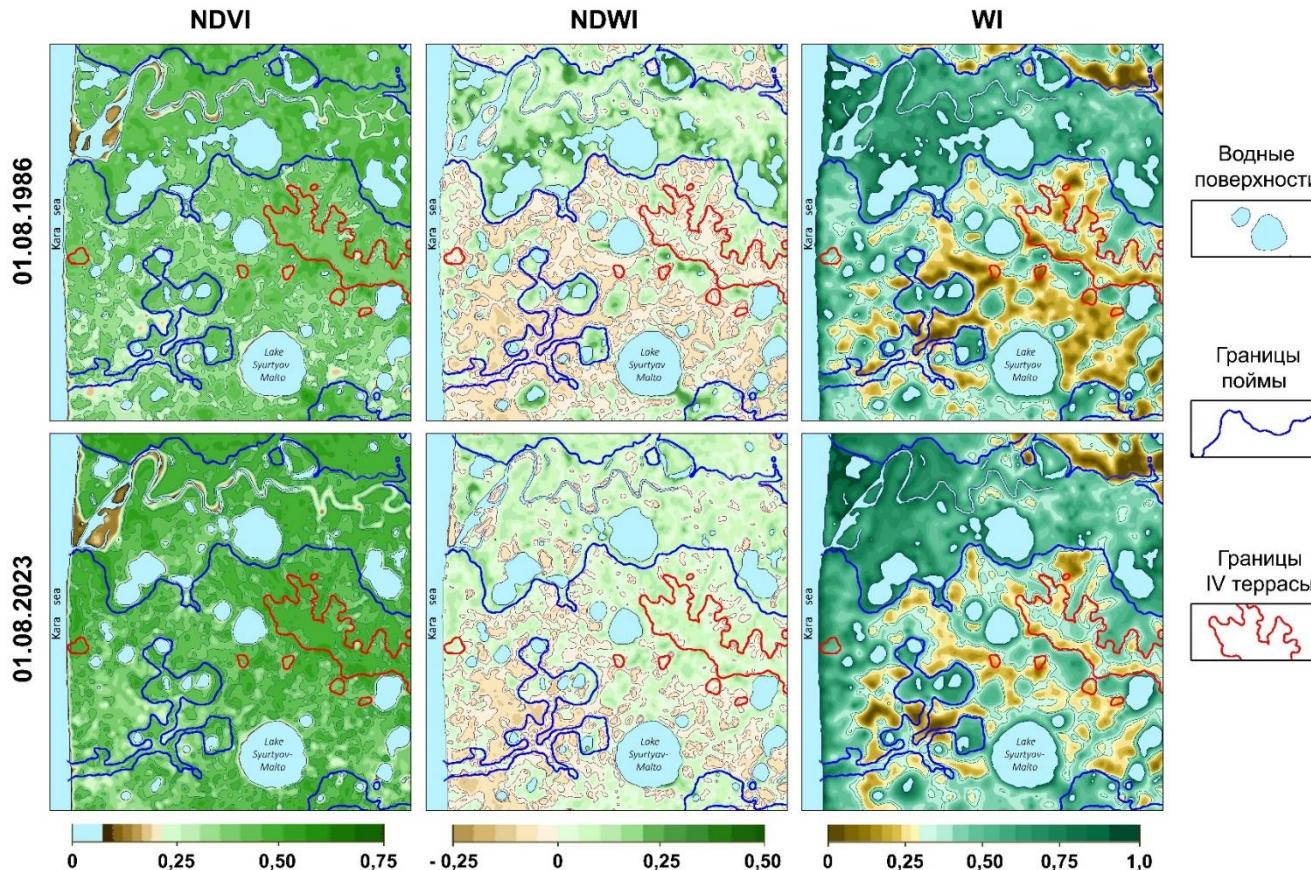
Отмечается устойчивая тенденция снижения индекса WI (влажность почвы) при повышении геоморфологических уровней (высотных отметок)

## Многолетние тренды изменения индексов NDVI, NDWI и WI на разных геоморфологических уровнях



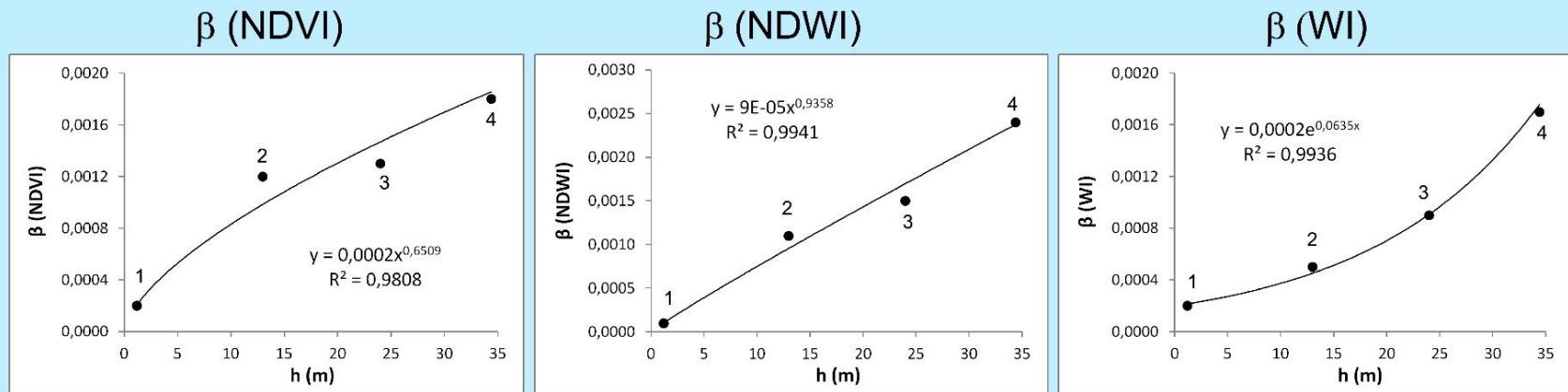
**Отмечаются более высокие темпы роста индексов на более дренированных поверхностях (высоких геоморфологических уровнях)**

## Примеры пространственного распределения значений NDVI, NDWI и WI



Карты подтверждают неслучайный характер распределения индексов и их явное повышение в границах IV террасы за период с 1986 по 2023 год

## Зависимости темпов роста ( $\beta$ ) индексов NDVI, NDWI и WI от средних значений высотных отметок (h) на разных геоморфологических уровнях

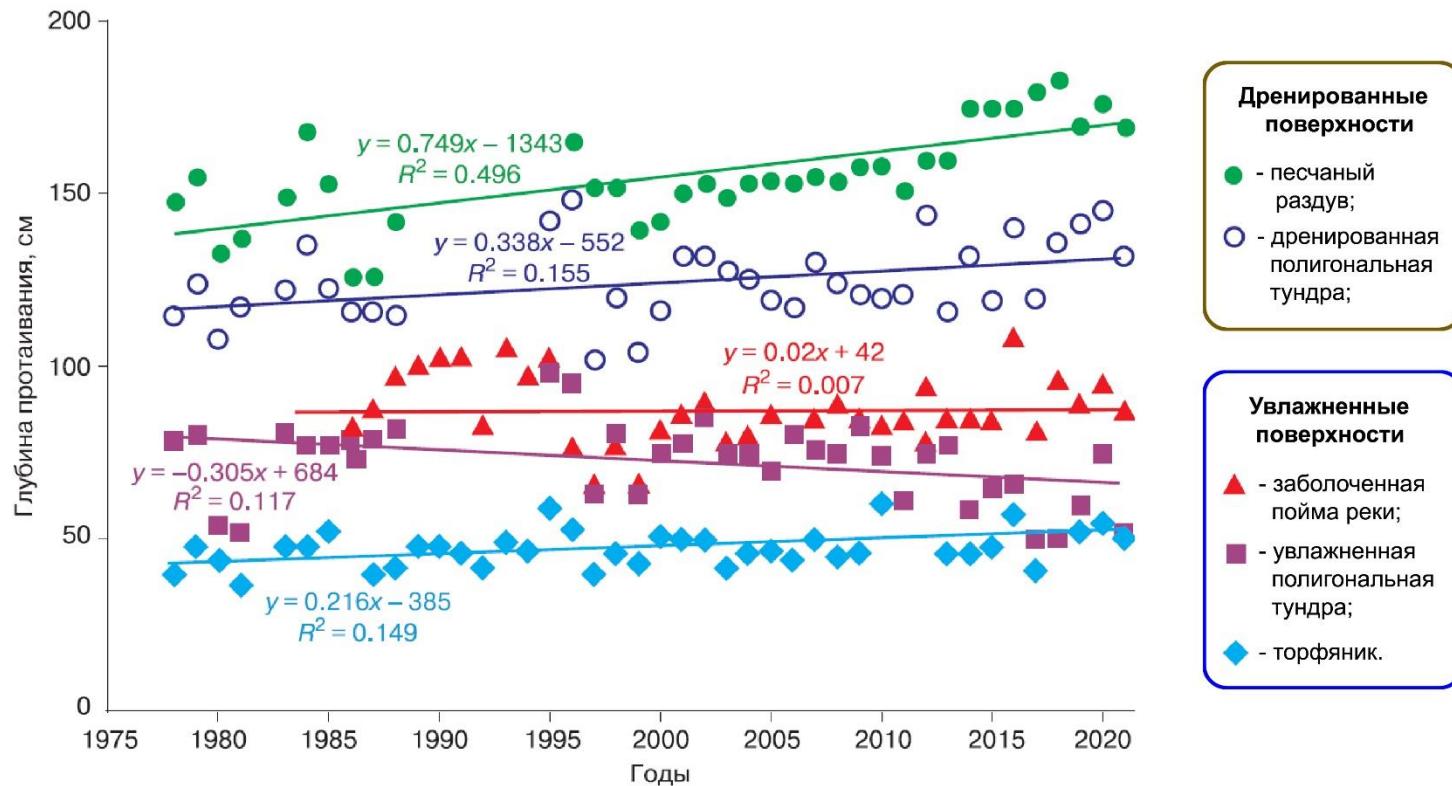


Условные обозначения:

1 – пойма ; 2 – I-II террасы; 3 – III терраса; 4 – IV терраса

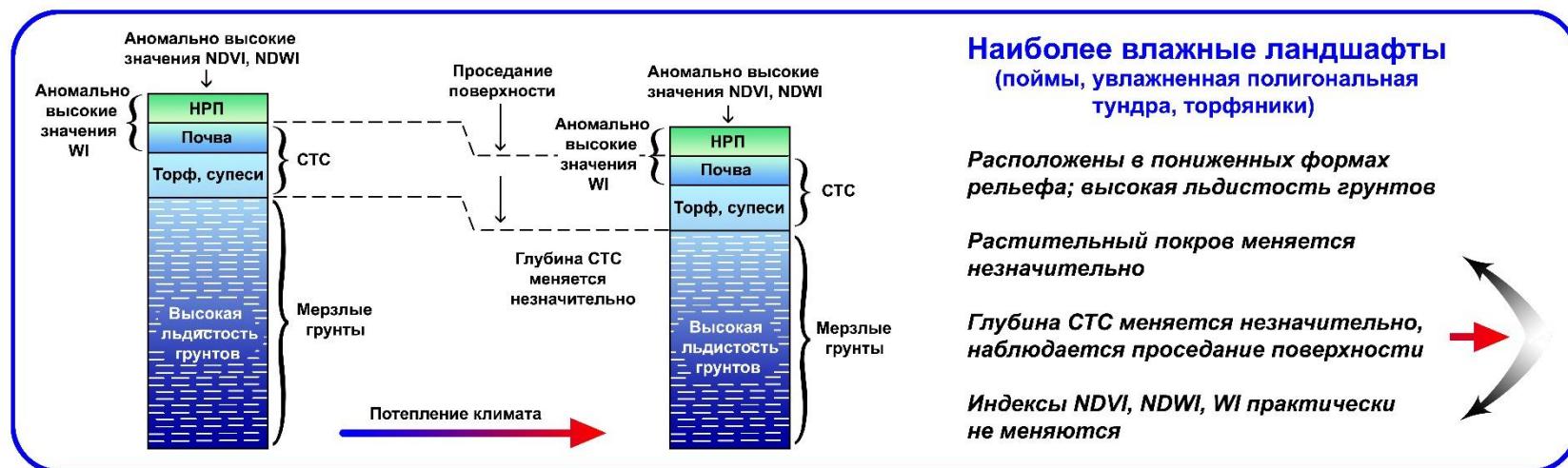
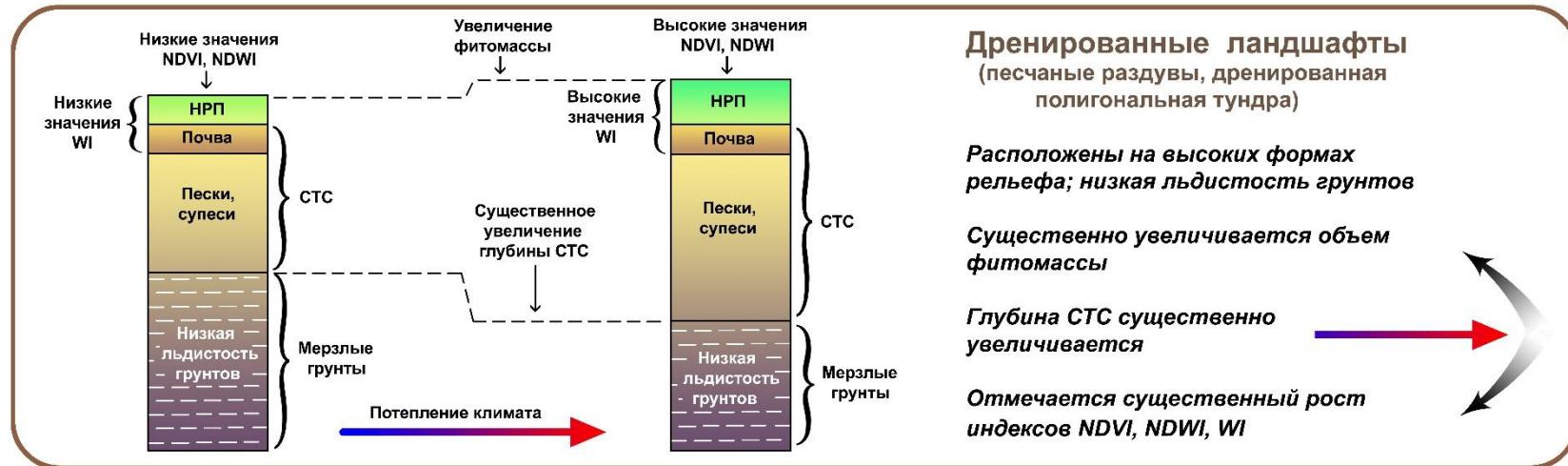
В связи с потеплением климата отмечаются устойчивые тенденции повышения темпов роста растительности и влажности почвы при повышении высотных отметок и степени дренирования поверхности

# Изменение глубины сезонного протаивания в доминантных ландшафтах типичной тундры в районе геокриологического стационара Марре-Сале (Васильев и др., 2023; Oblogov et al., 2020)



Отмечаются более высокие темпы роста глубины СТС на более дренированных поверхностях

## Связь изменений состояния мерзлых грунтов и индексов NDVI, NDWI, WI



## Выводы

1. Впервые на основе данных со спутников Landsat по индексам NDVI, NDWI, WI выявлены, обусловленные потеплением климата **наиболее высокие темпы роста растительности и влажности почвы** на более высоких и более дренированных геоморфологических уровнях (III и IV террасы) и практически их отсутствие на пониженных и более влажных формах рельефа (поймы).
2. Сопоставление полученных трендов NDVI, NDWI и WI с результатами многолетних геокриологических наблюдений *in situ* свидетельствует о принципиальной возможности **использования этих индексов в качестве индикаторов изменения глубины СТС**.

## Практическая значимость полученных результатов

В районах строительства и функционирования объектов в криолитозоне предлагаемый метод анализа может быть использован **для выявления и прогнозирования участков наиболее интенсивного изменения глубины СТС**, обусловленного потеплением климата и антропогенным воздействием.

## Сопоставление с результатами других исследований

Полученные в данном исследовании результаты подтверждают сделанные ранее выводы (Liu et al., 2025; Pastick et al., 2015; Iijima et al., 2010; Park et al., 2013) о **положительной связи** между тенденциями повышения индекса NDVI, влажности почвы и глубины СТС как следствие изменения климата.



***Спасибо за внимание !***