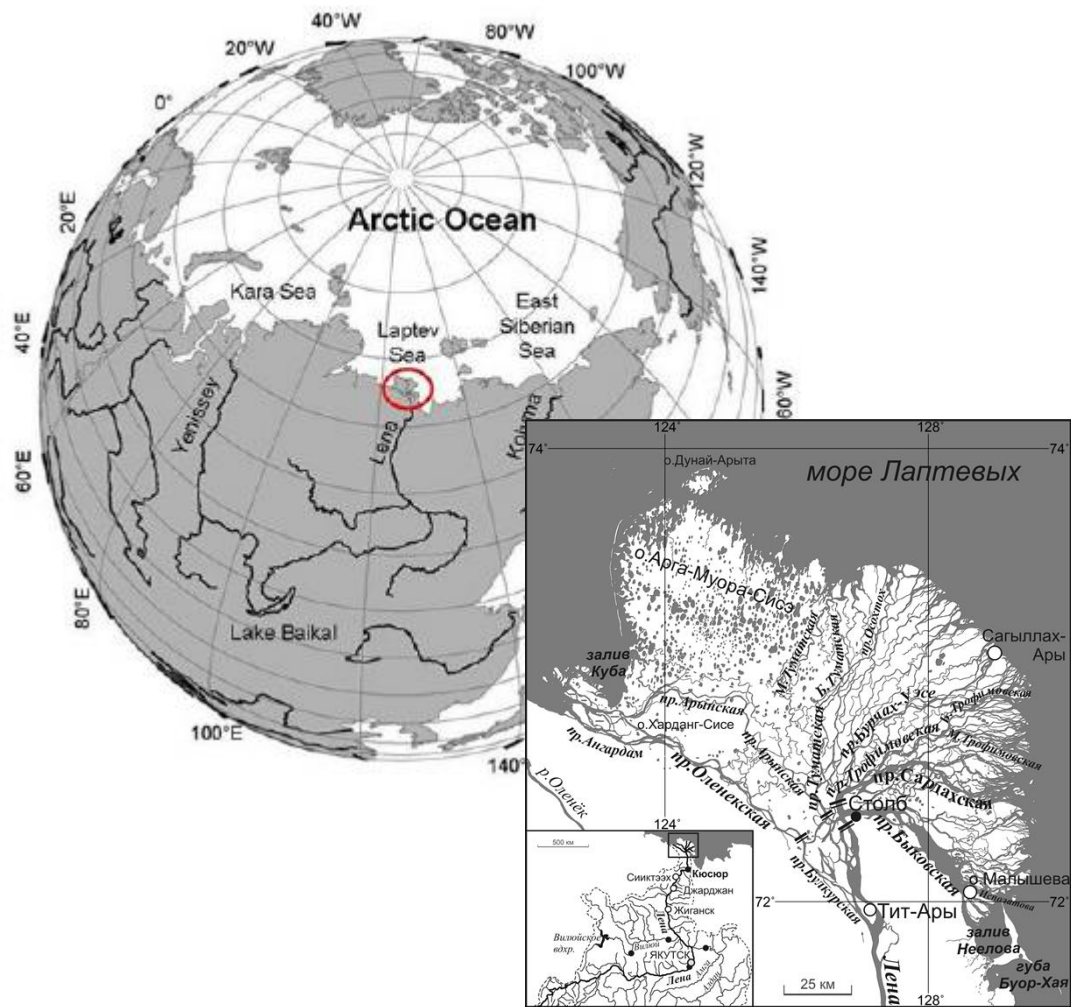




Возможности применения дистанционных методов для изучения стока взвешенных наносов в дельте реки Лена

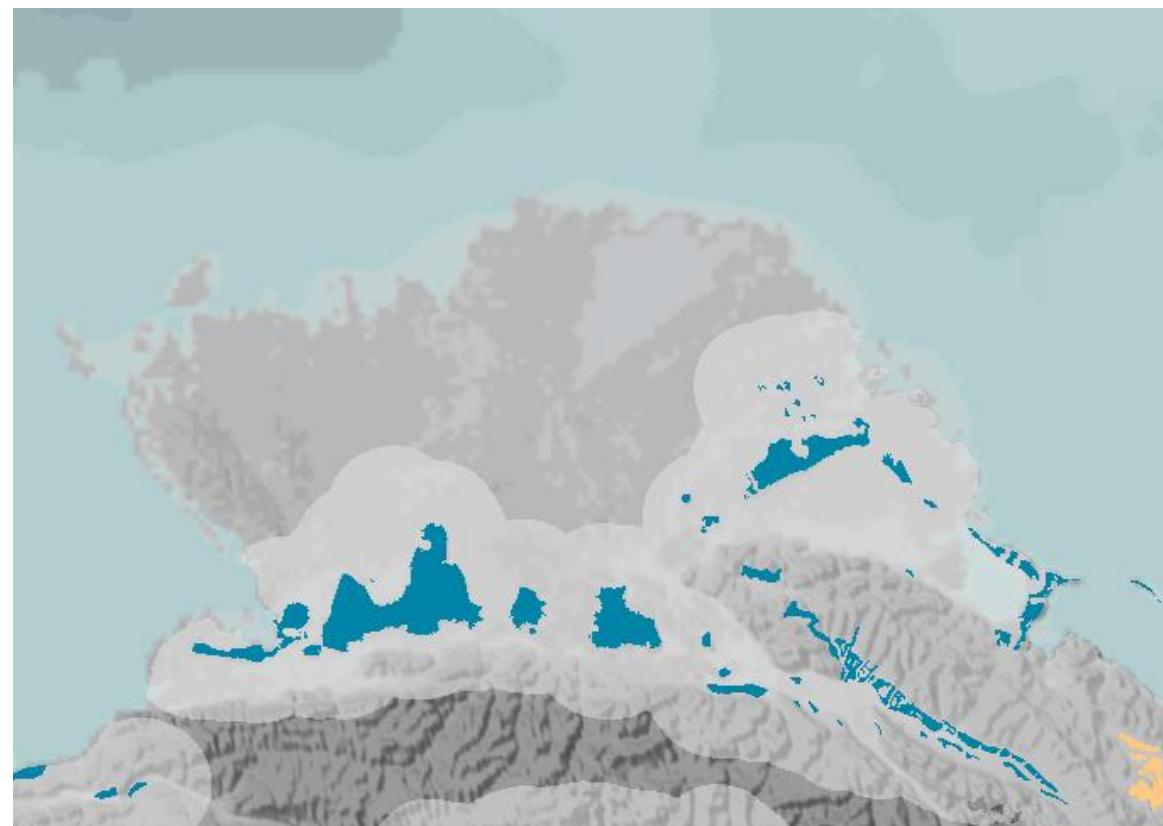
м.н.с. Прокопьева Кристина Николаевна
д.г.н., профессор Чалов Сергей Романович

КРУПНЕЙШАЯ АРКТИЧЕСКАЯ ДЕЛЬТА



Сложное гидрографическое строение

Strauss et al., 2021



Распространение многолетнемерзлых пород и ледового комплекса

КРУПНЕЙШИЕ МАТЕРИКОВЫЕ ЛЕДОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ



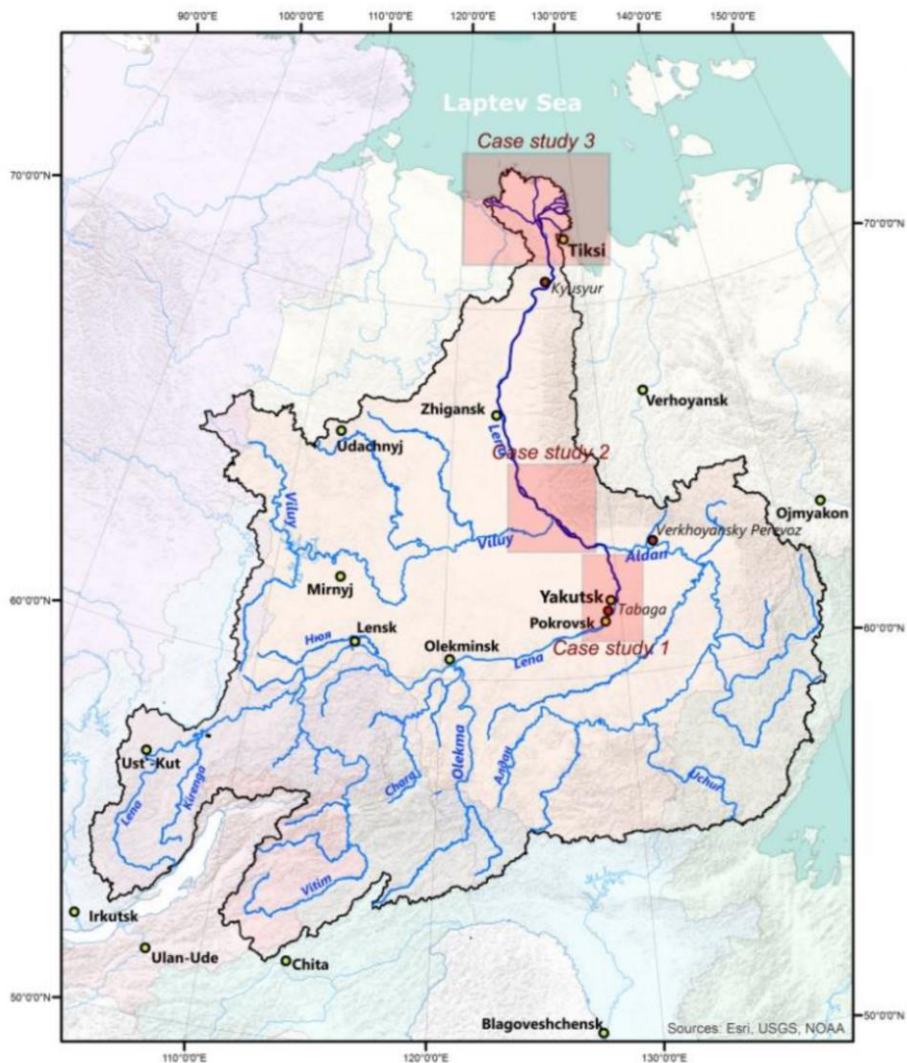
на о. Курунгнах (фото автора)



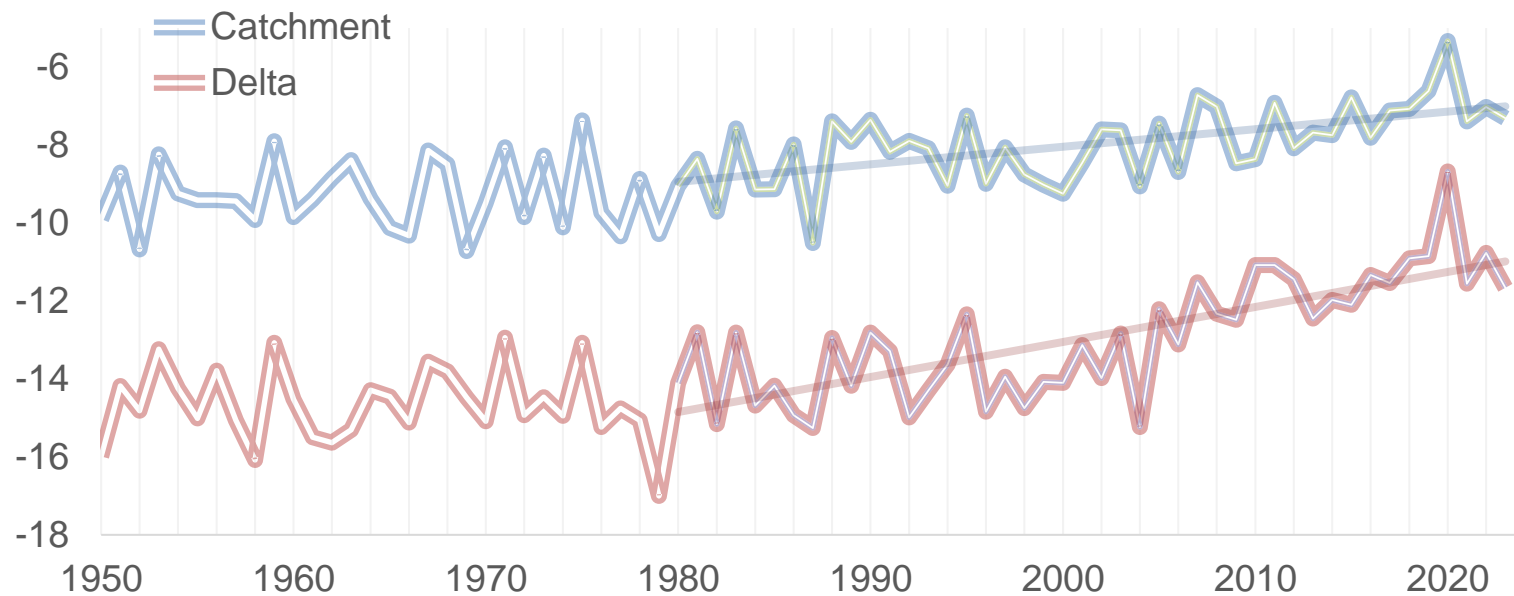
на о. Собо-Сисё (фото Thomas Opel/Alfred-Wegener-Institut)



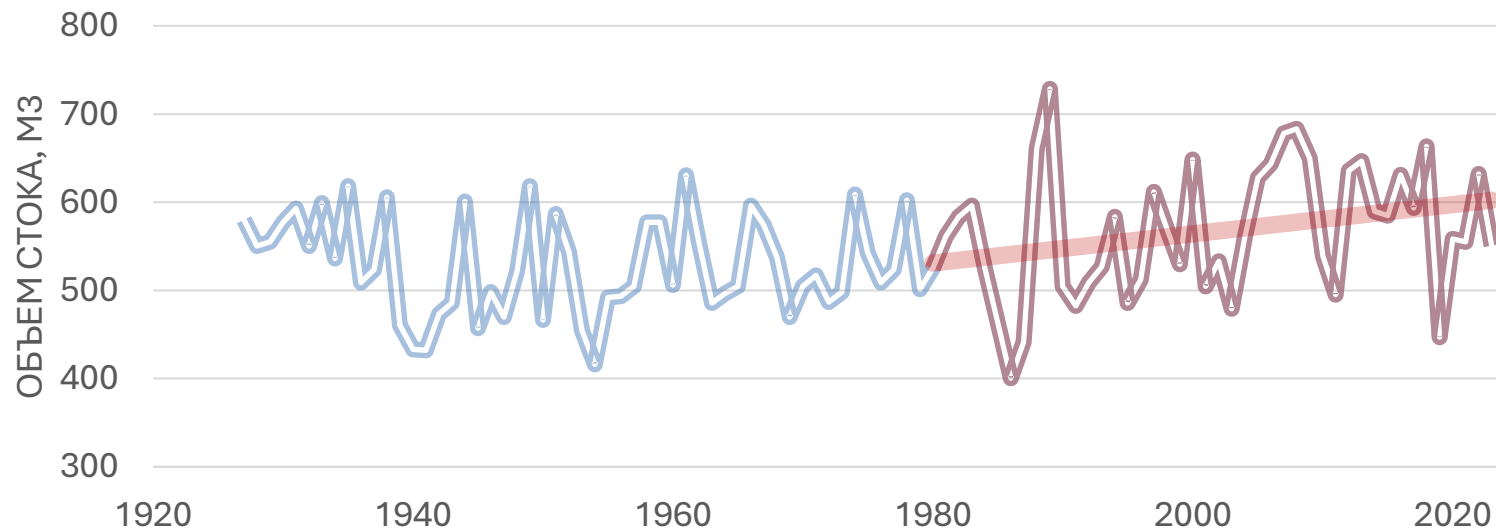
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ



Многолетние изменения температуры воздуха



Многолетние изменения стока воды



А СТОК НАНОСОВ?

Кто измеряет?

- Мониторинг на постах Росгидрометра отсутствует
- Данные экспедиционных исследований разовые и периодические

Как измерять?

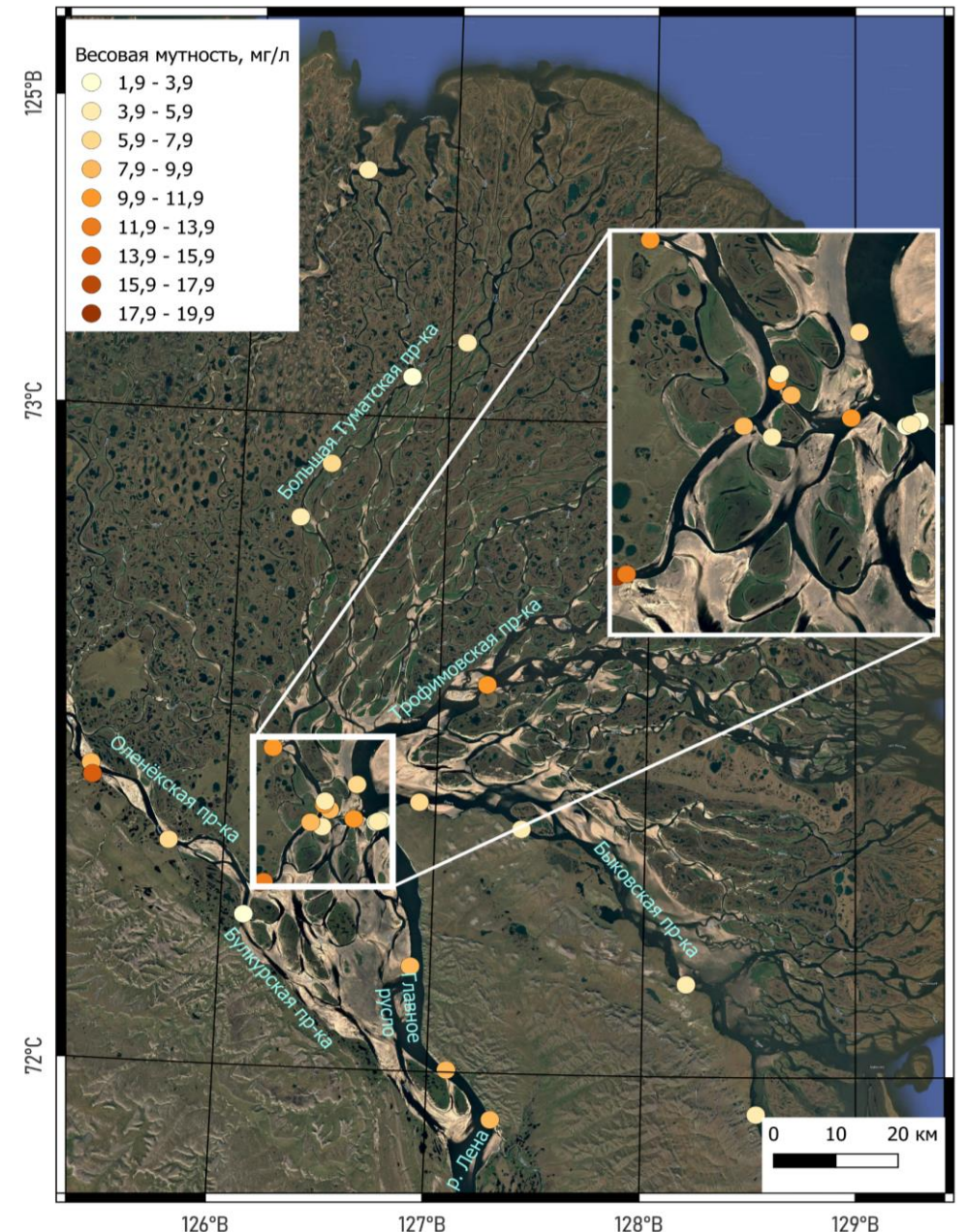
- Определение весовой мутности (S , мг/л)
- Определение оптической мутности (T , НТУ)
- Вывод региональных зависимостей вида $S = f(T)$

Как долго?

Отбор (день?) и фильтрование пробы воды (до 24 часов), сушка и взвешивание фильтров (5 часов минимум)

ПРОБЛЕМА

Пространственные и временные масштабы/охваты
Многофакторность процесса формирования стока наносов



Измерения мутности воды экспедиции в 2024 году

ДАННЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

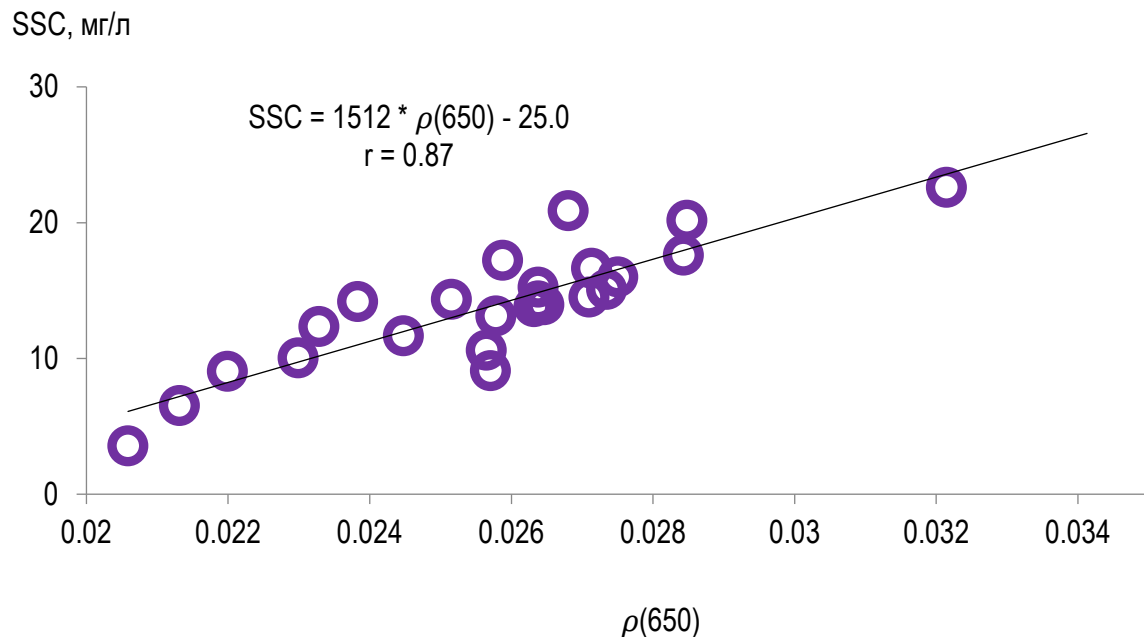
11-15 августа 2022



29 июля – 23 августа 2024

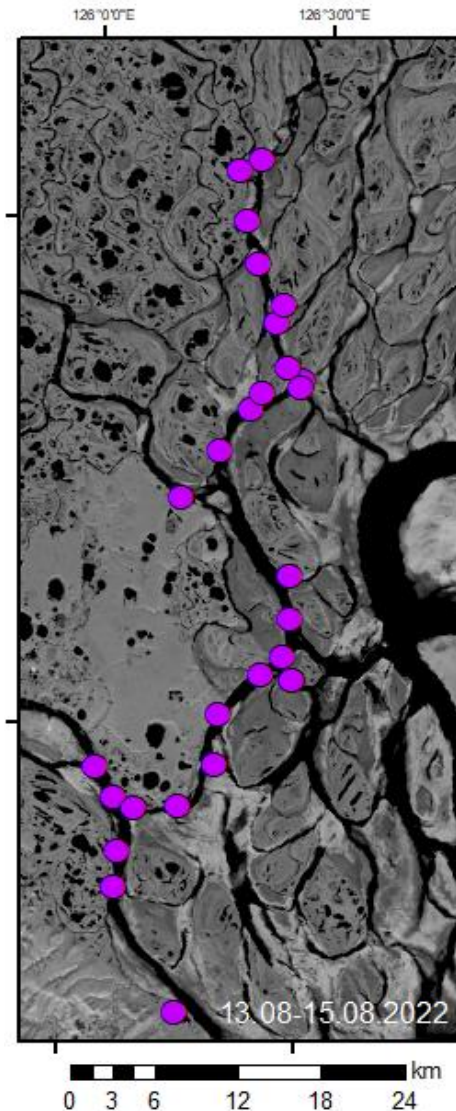


ДАННЫЕ ДЗЗ: РЕГИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МУТНОСТИ ВОДЫ



Подспутниковые полевые измерения от 13-15 августа 2022 г. (24 измерения)

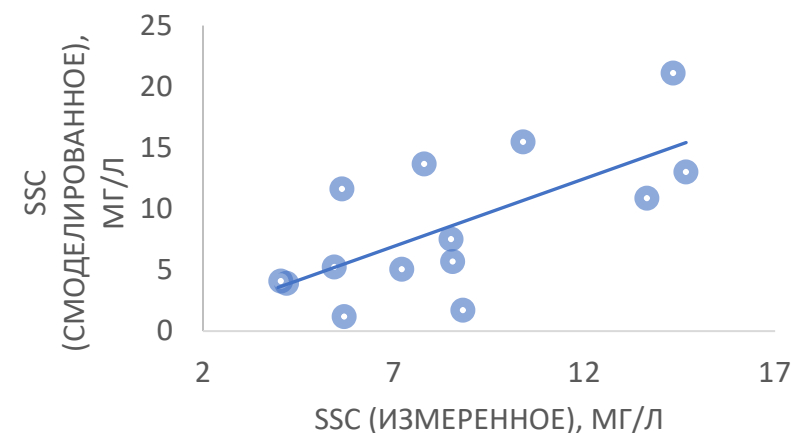
Спутниковый снимок от 16 августа 2022 г.



Валидация по данным измерений экспедиции в августе 2024 г.

14 измерений с 12 по 15 августа 2024 г.

Спутниковый снимок от 15 августа 2024 г.



Относительная ошибка 39,9%
Абсолютная ошибка 3,09 мг/л



ДАННЫЕ ДЗЗ: АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ МУТНОСТИ ВОДЫ

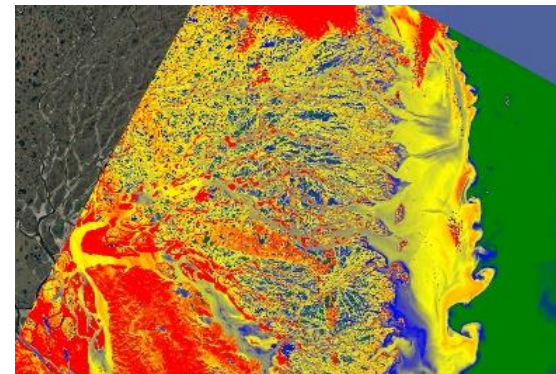
Google Earth Engine



I) Снимок в ТОА



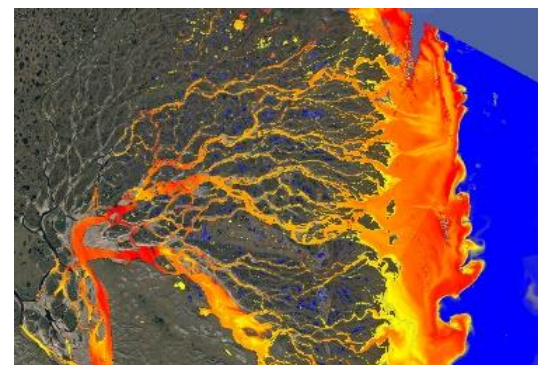
II) Снимок в БОА



III) Пересчет БОА в SSC



IV) Создание маски «суша-вода»



V) Создание карт мутности

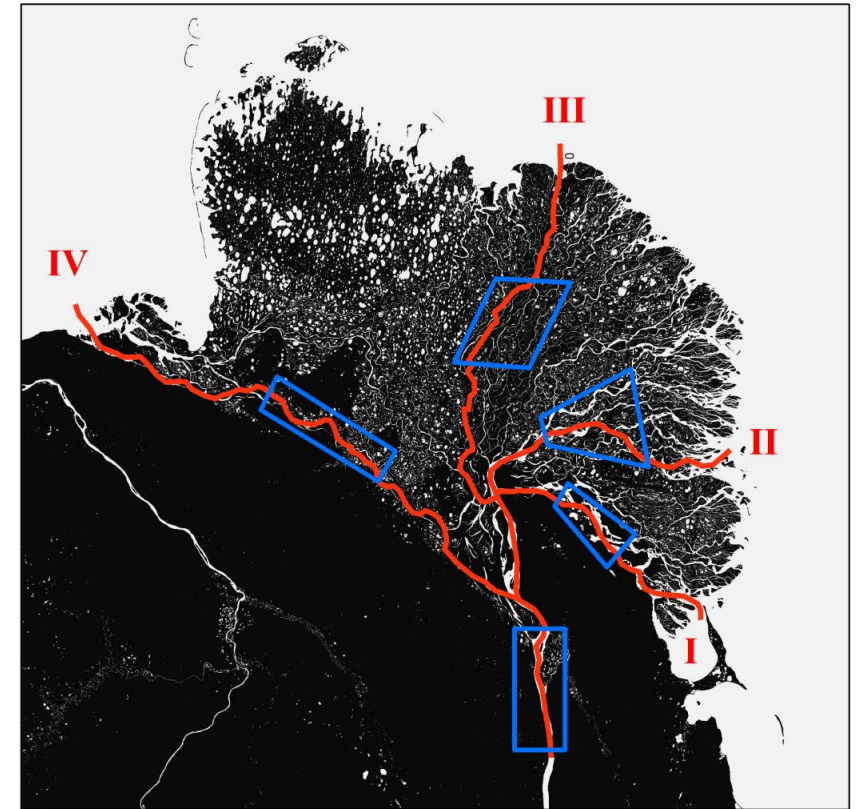
ОЦЕНКА БАЛАНСА И СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

$$\Delta S = (S_2 - S_1) / S_1 * 100\%,$$

где S_1 и S_2 – мутность в верхней и нижней частях рукавов (профилей) соответственно.

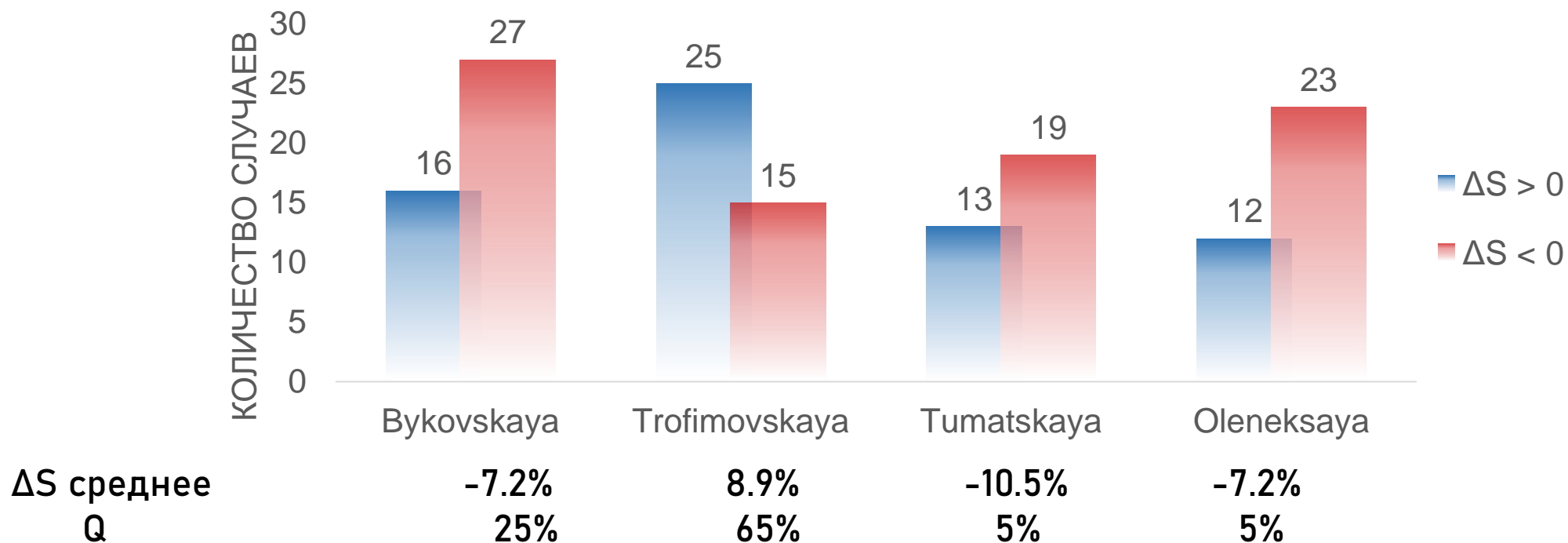
$\Delta S > 0$ – продольное увеличение мутности воды

$\Delta S < 0$ – продольное снижение мутности воды



*Дельта Лены и основные рукава:
I – Быковская, II – Трофимовская,
III – Туматская, IV – Оленекская*

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА К БАЗЕ ДАННЫХ LANDSAT



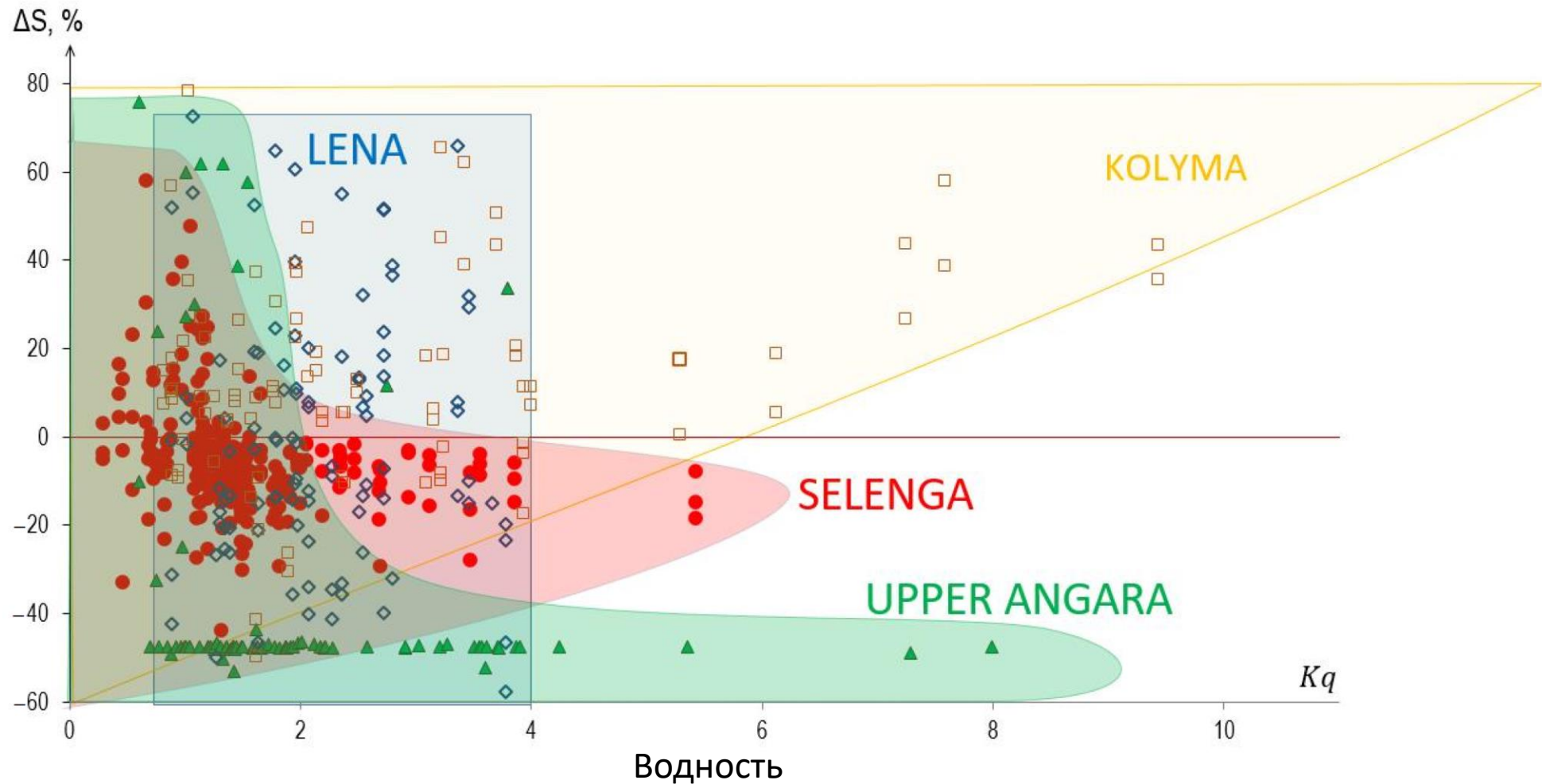
1. С учетом изменчивости распределения стока воды по рукавам

2. Модель [Иванов, 2022] пересчета вертикальной изменчивости мутности воды

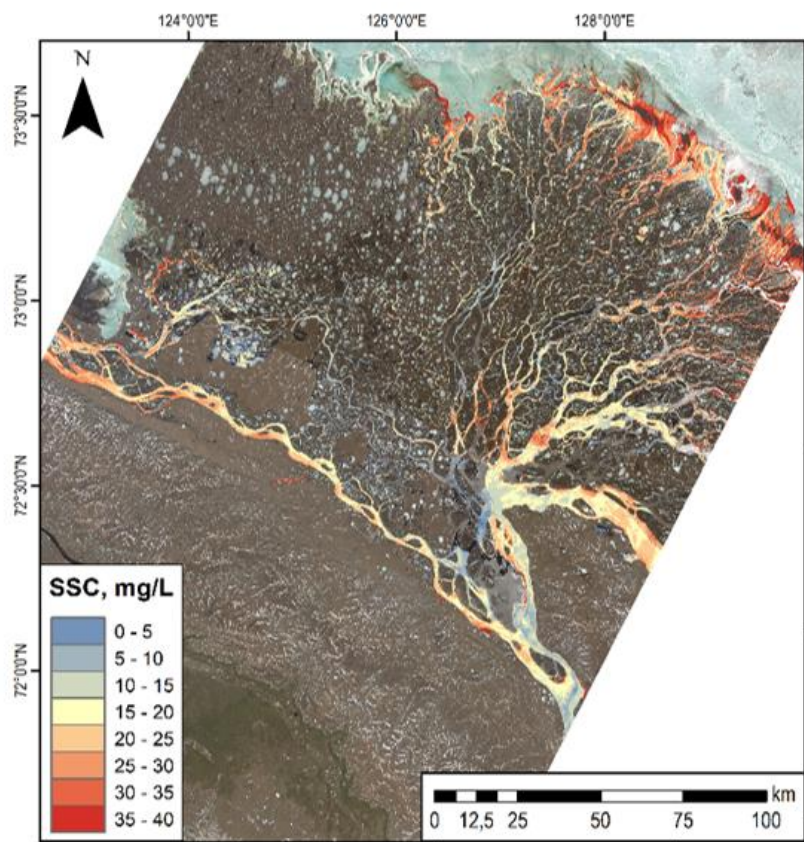
**УВЕЛИЧЕНИЕ
НА 2.4 %**

На основе 47 ситуаций (75 снимков) за период с 2000 по 2022 гг. При расходах воды 17 400 – 78 100 м³/с.

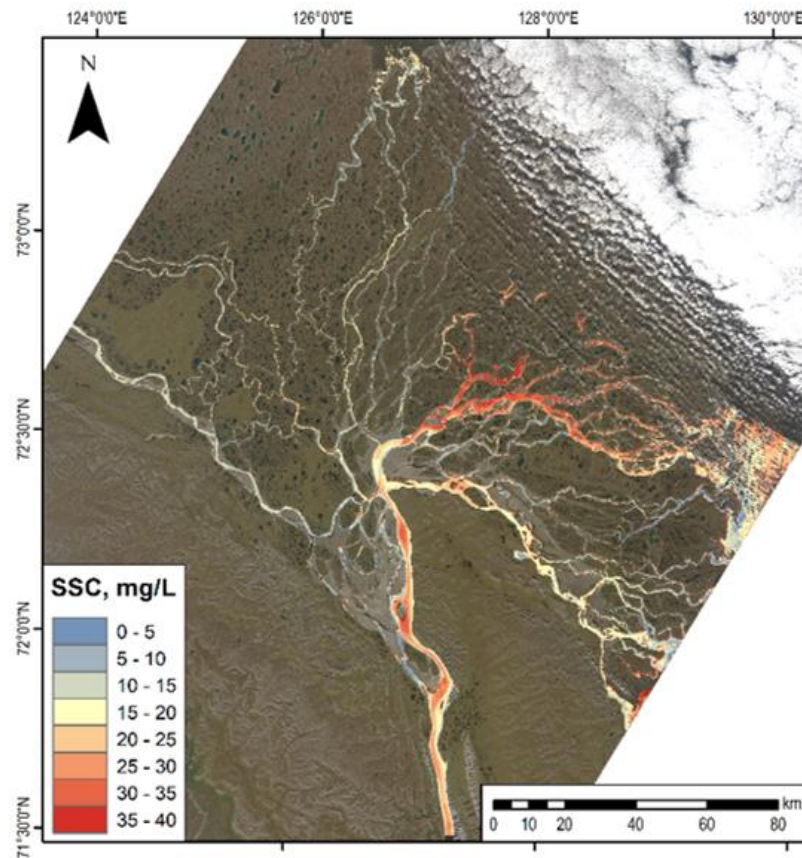
БАЛАНСЫ НАНОСОВ В ДЕЛЬТАХ Р. СЕЛЕНГА И Р. ВЕРХНЯЯ АНГАРА



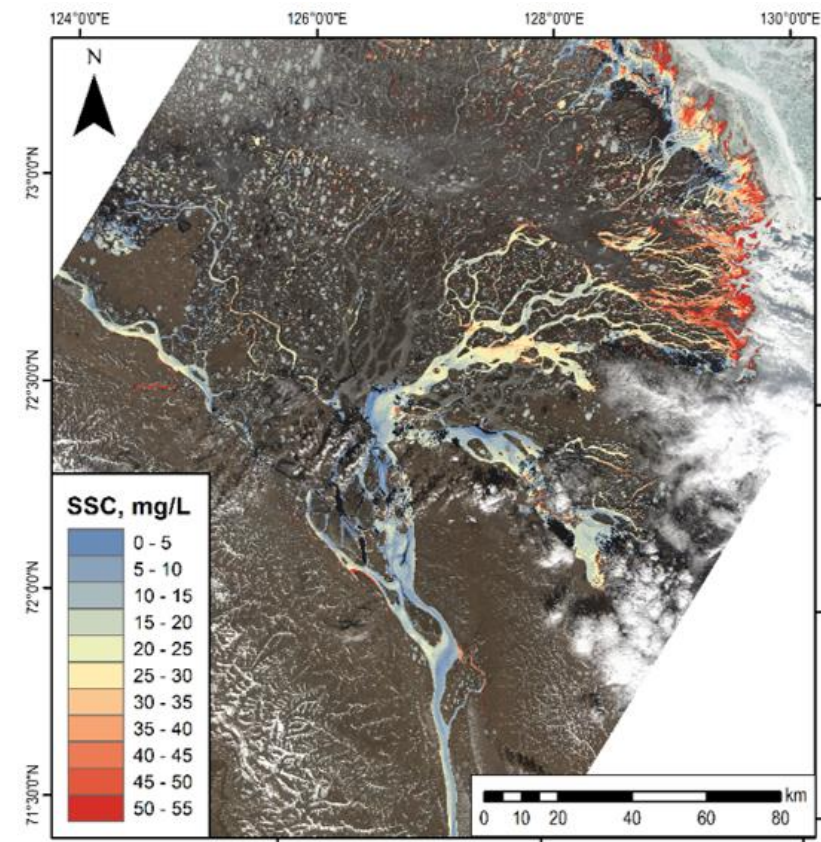
КАКОВА ПРИЧИНА НЕТИПИЧНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ МУТНОСТИ В ДЕЛЬТЕ ЛЕНЫ?



(a)



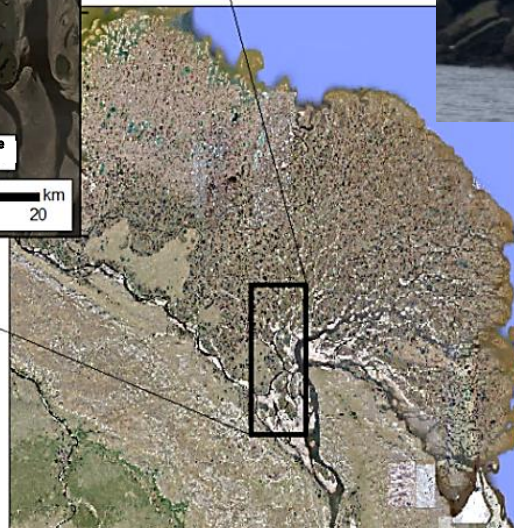
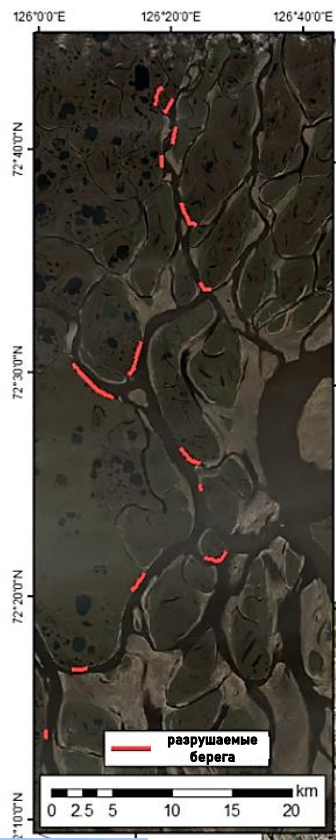
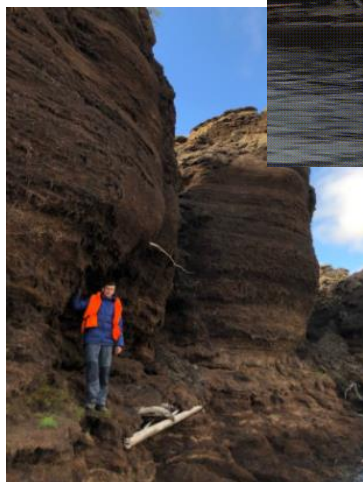
(b)



(c)

Карты мутности воды по результатам обработки снимков за 10.06.2018 (a), 27.08.2020 (b) и 08.06.2014 (c)

БЕРЕГА ДЕЛЬТЫ Р. ЛЕНА



ДАННЫЕ ДЗЗ: МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ

Спутниковый снимок Landsat 7

path/row 131/009

от 27.07.2000

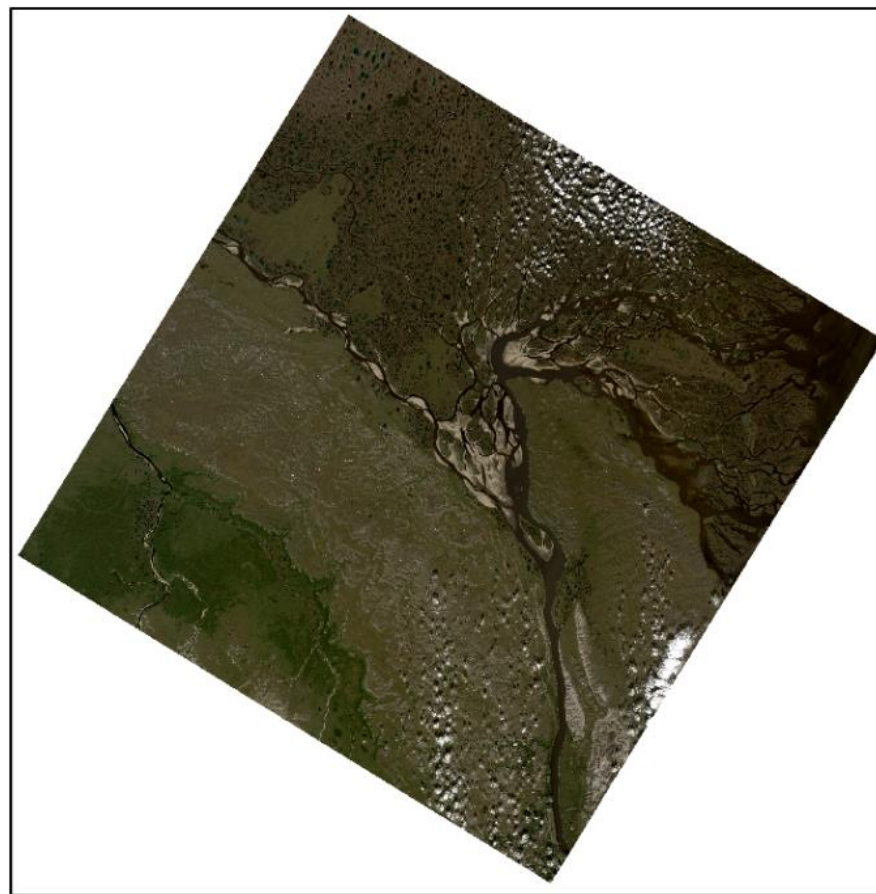
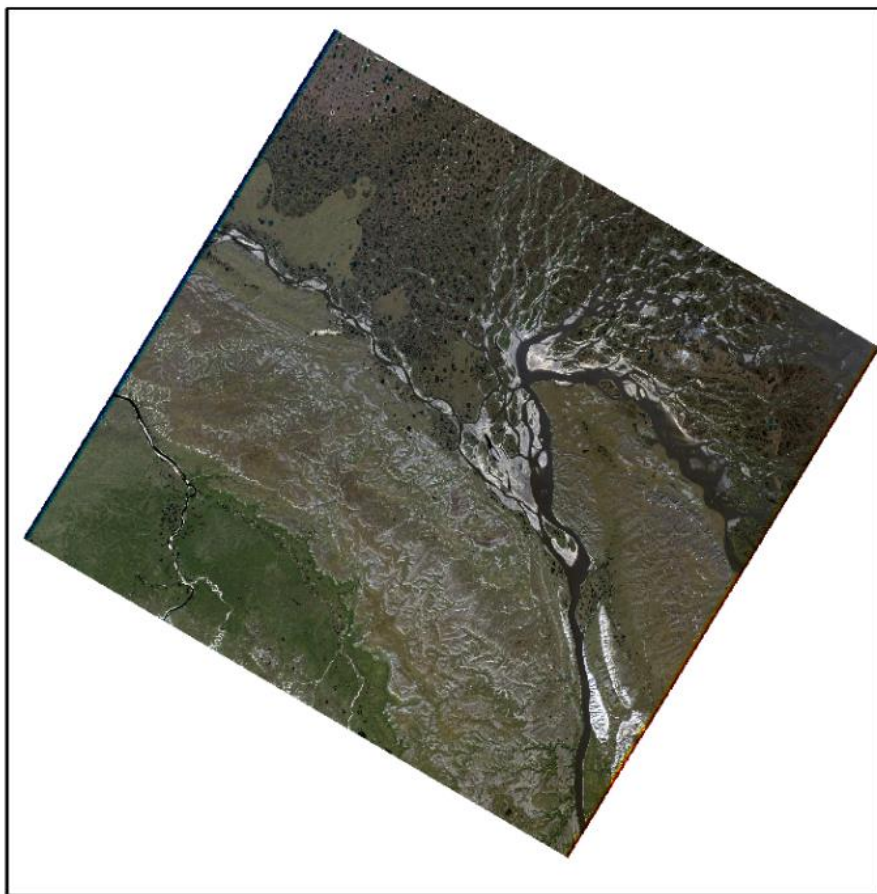
Q = 37 600 м³/с (ArcticGRO)

Спутниковый снимок Landsat 8

path/row 131/009

от 13.07.2021

Q = 38 200 м³/с (ArcticGRO)



ДААННЫЕ ДЗЗ: МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ

Спутниковый снимок Landsat 7

path/row 131/009

от 27.07.2000

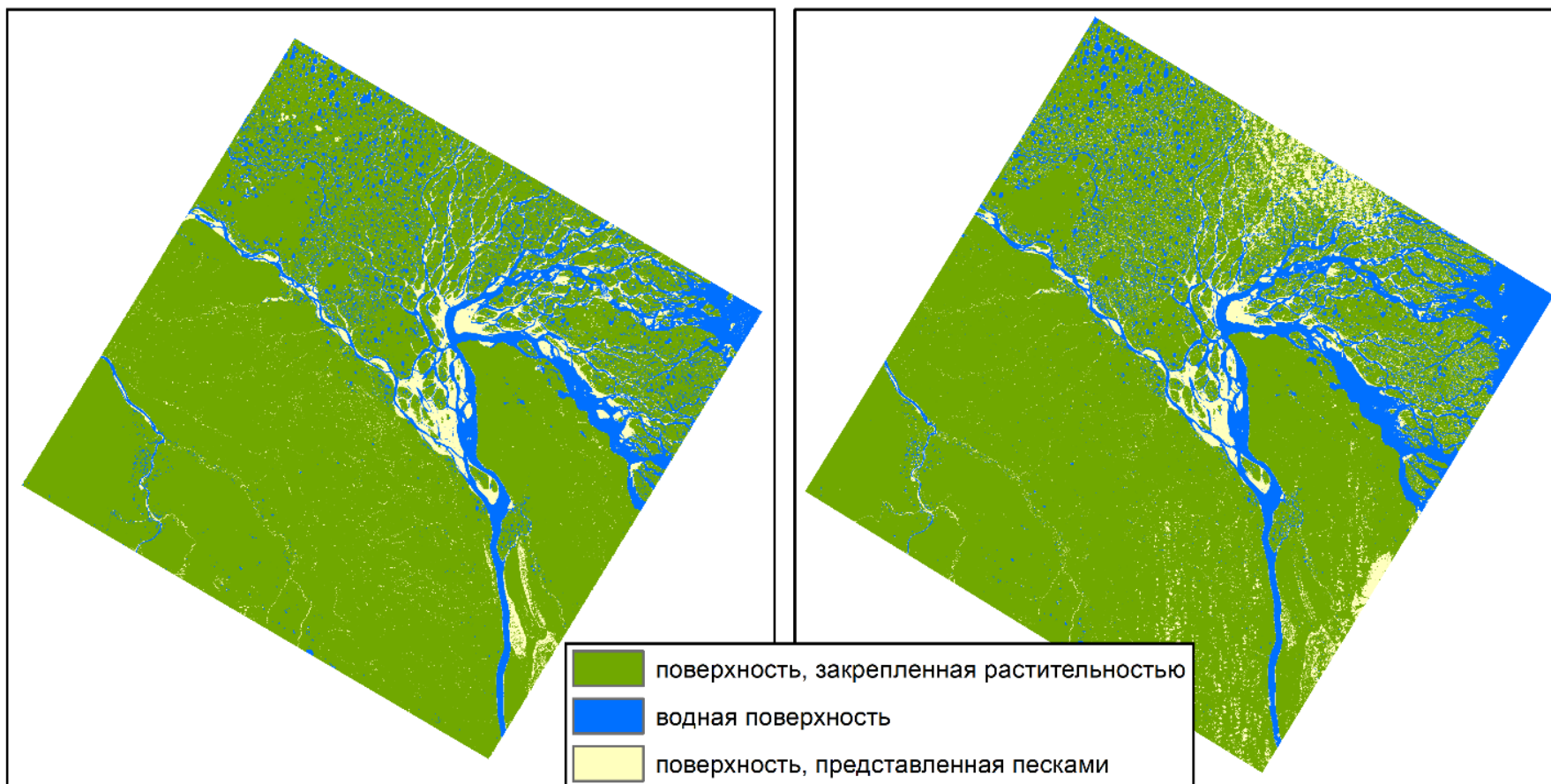
Q = 37 600 м³/с (ArcticGRO)

Спутниковый снимок Landsat 8

path/row 131/009

от 13.07.2021

Q = 38 200 м³/с (ArcticGRO)

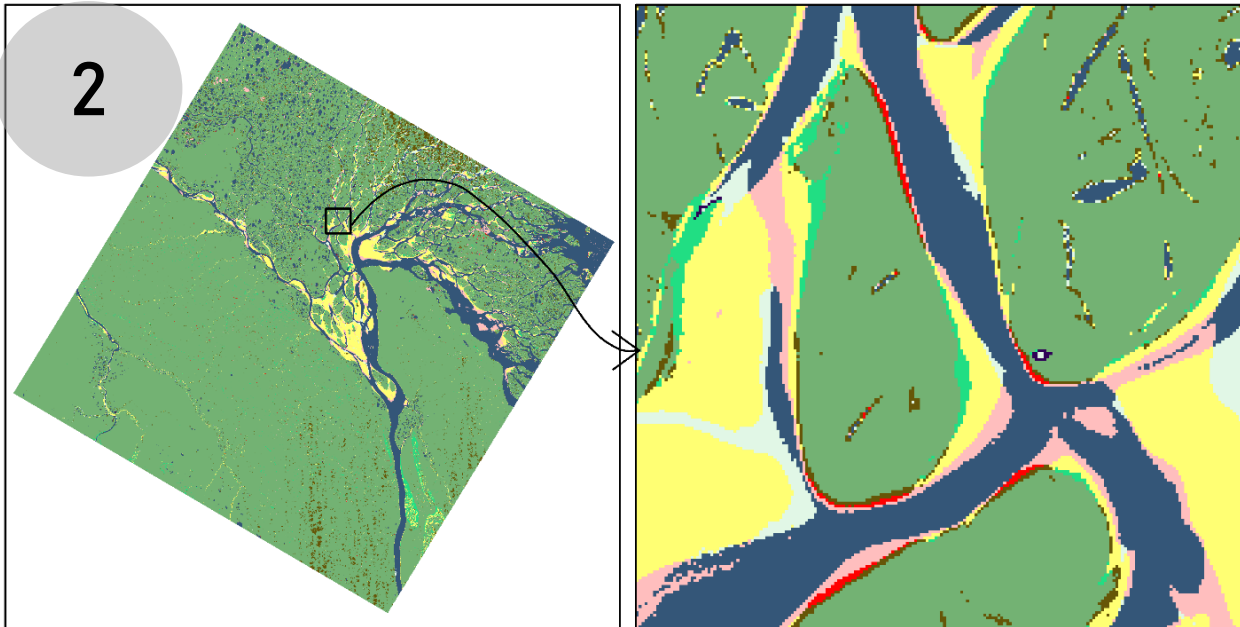


МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ

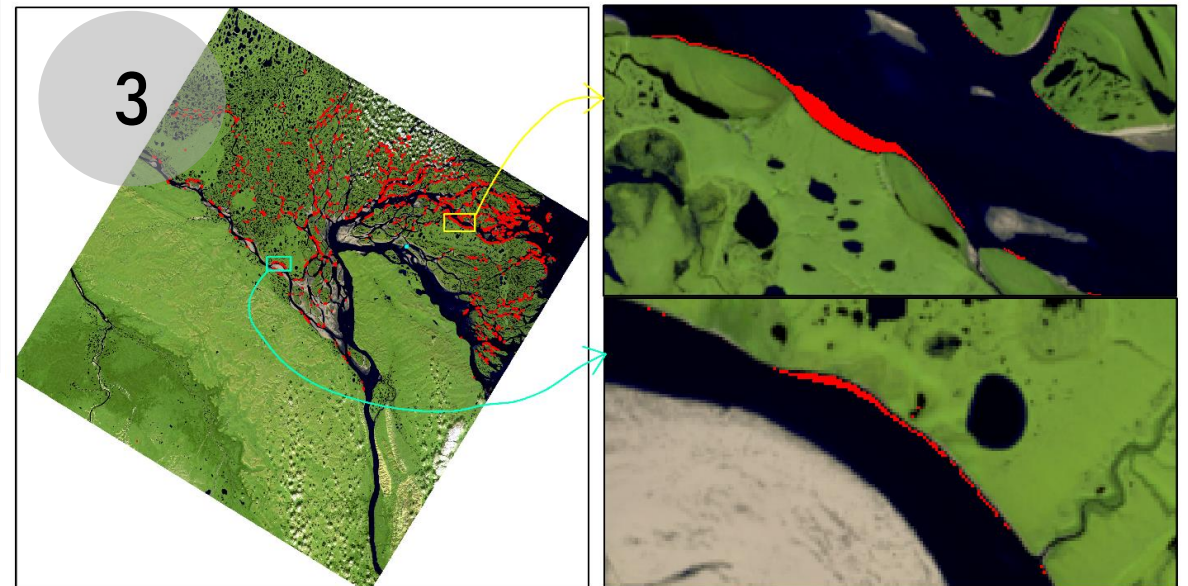
1

	Вода 2000	Песок 2000	Растительность 2000
Вода 2021	не размыв	не размыв	РАЗРУШЕНИЯ
Песок 2021	не размыв	не размыв	не размыв
Растительность 2021	не размыв	не размыв	не размыв

2

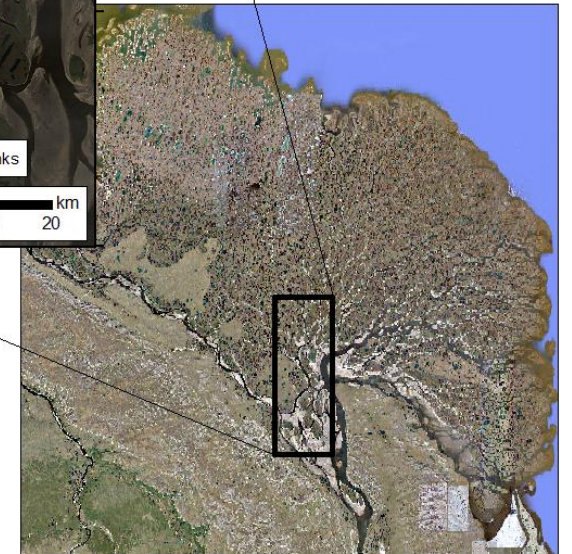
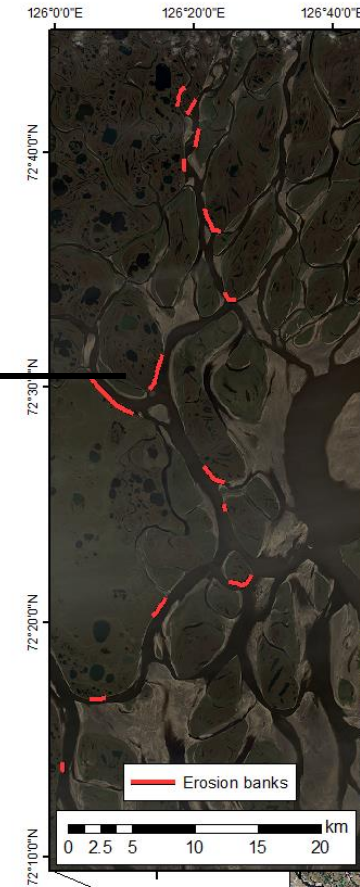
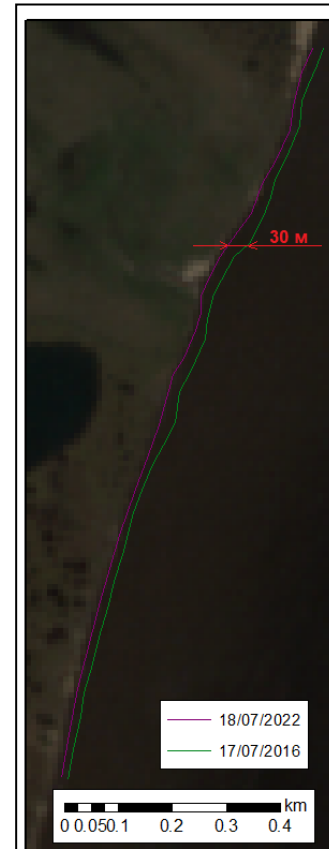
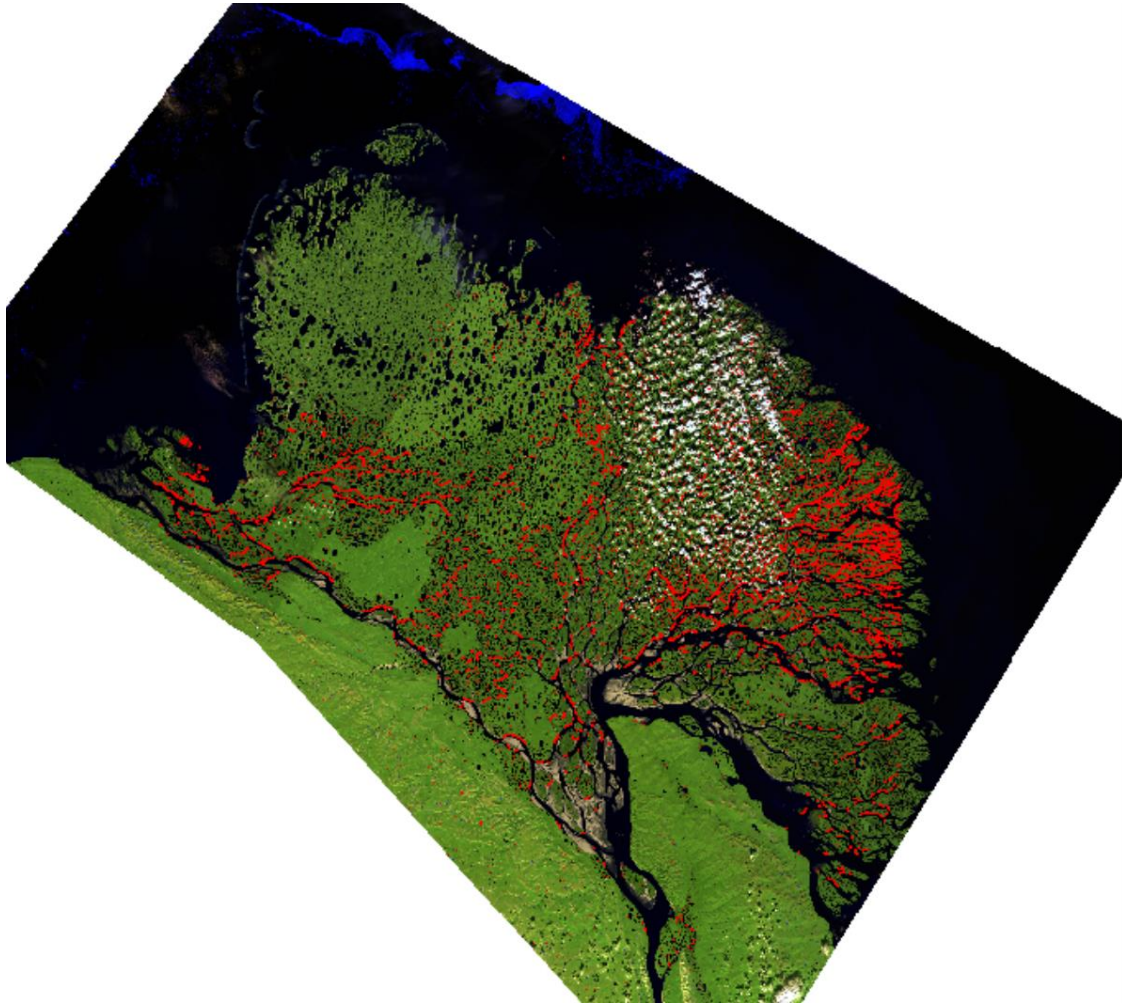


3



- Вода 2000 → Вода 2021
- Песок 2000 → Вода 2021
- Растительность 2000 → Растительность 2021
- Песок 2000 → Песок 2021
- Песок 2000 → Растительность 2021
- Растительность 2000 → Песок 2021
- Вода 2000 → Песок 2021
- Растительность 2000 → Вода 2021
- Вода 2000 → Растительность 2021

ДАННЫЕ ДЗЗ: МЕТОДИКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ

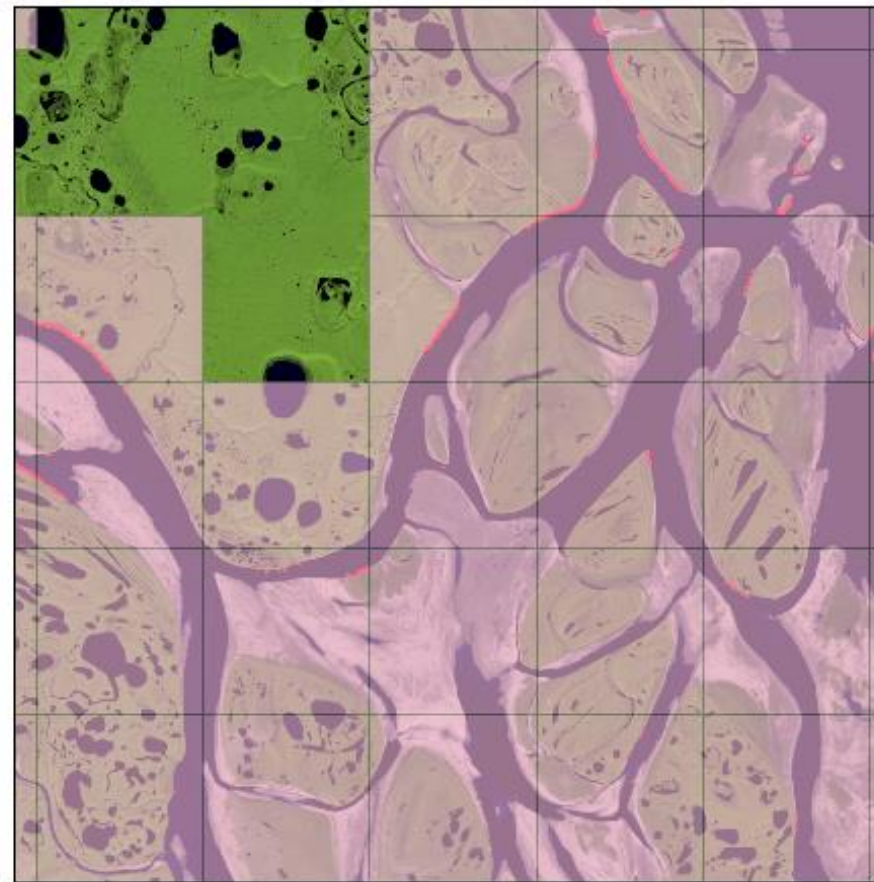
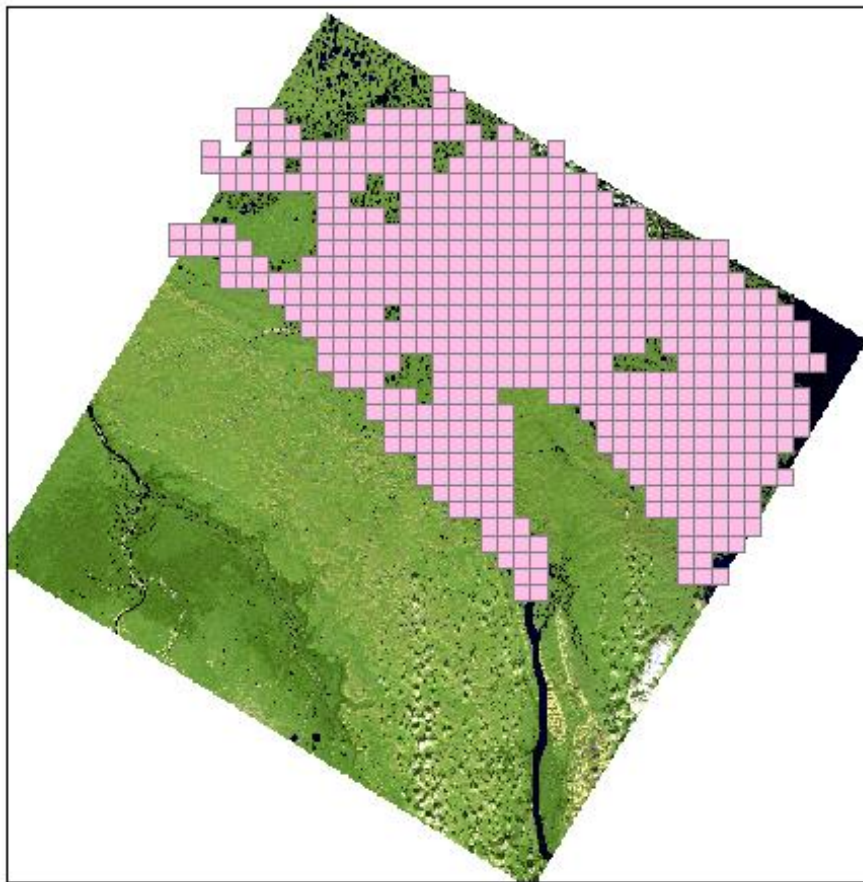


ДААННЫЕ ДЗЗ: МЕТОДИКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ

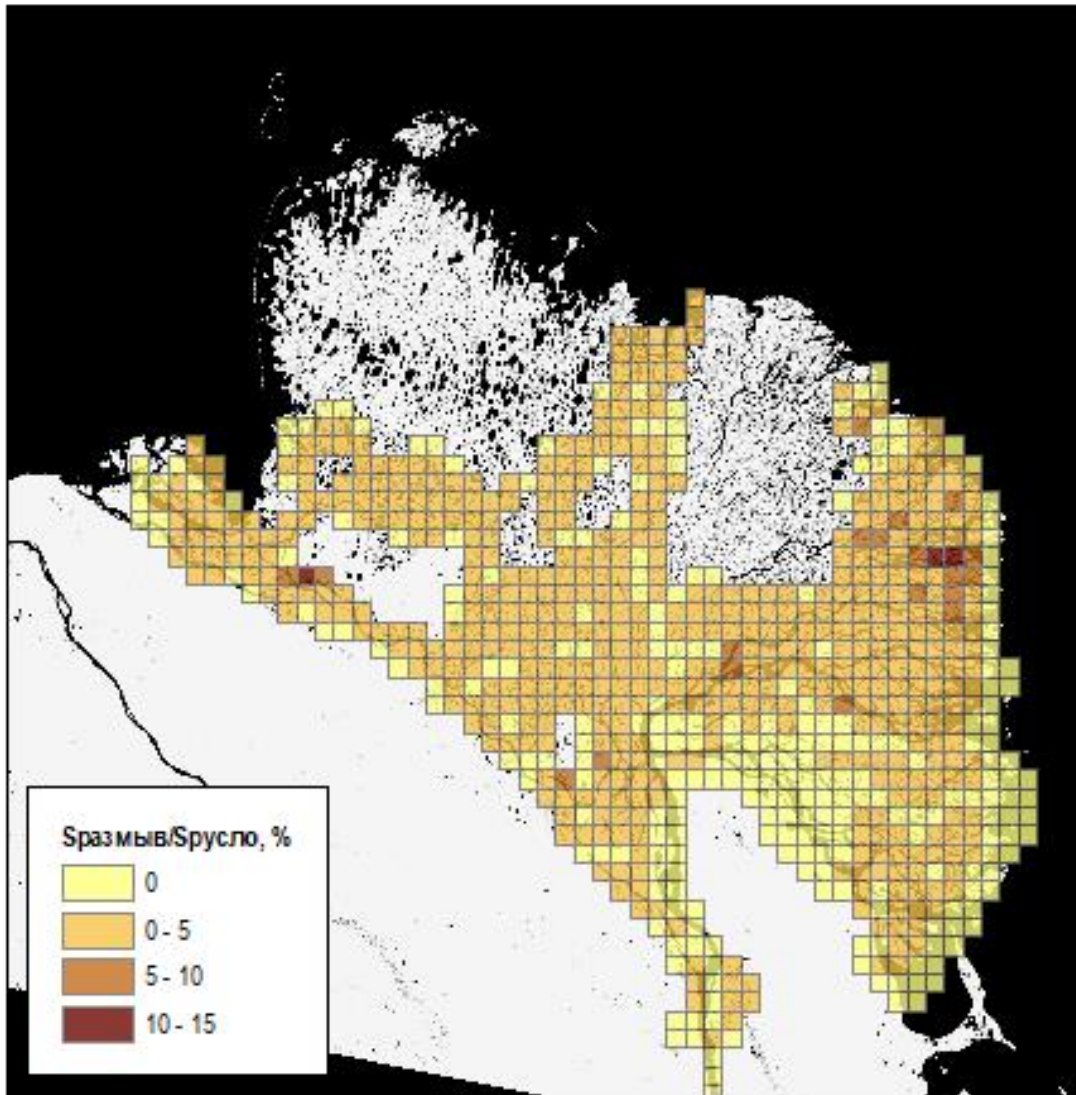
Интенсивность
разрушений

=

$$S_{\text{разрушений}} / S_{\text{русла}} * 100\%$$



ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ



По данным классификации снимков
за 2000 и 2021 гг.:

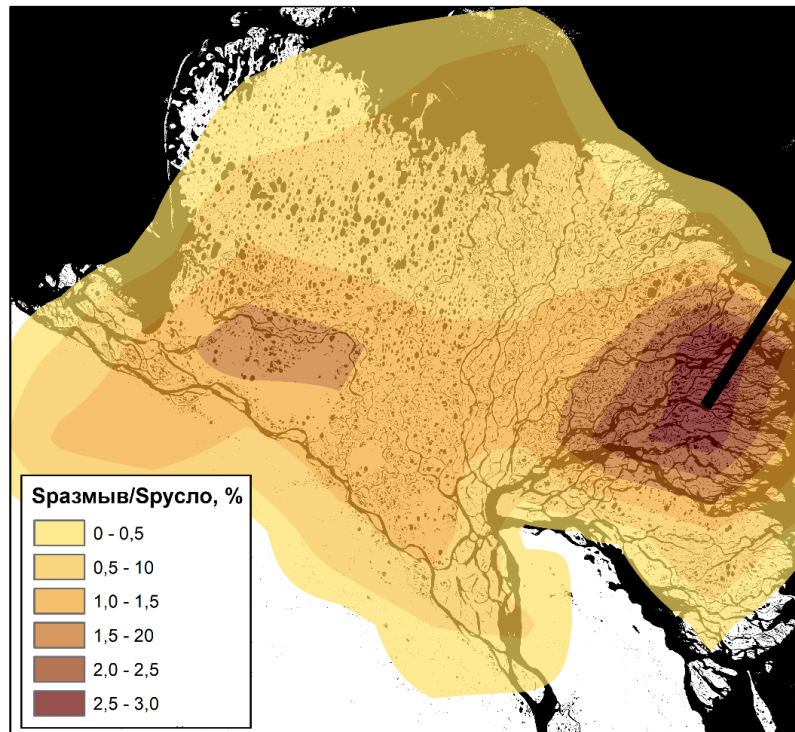
Общая площадь размыва 65,6 км²
В среднем 3,1 км² в год

Максимальные темпы в Трофимовской
(интенсивность размыва 1,8%)

Минимальные темпы в Быковской
(интенсивность размыва 0,1%)

Не учтена площадь дельты в 3,3 тыс. км² (10% от
общей площади дельты) – облачность на снимке

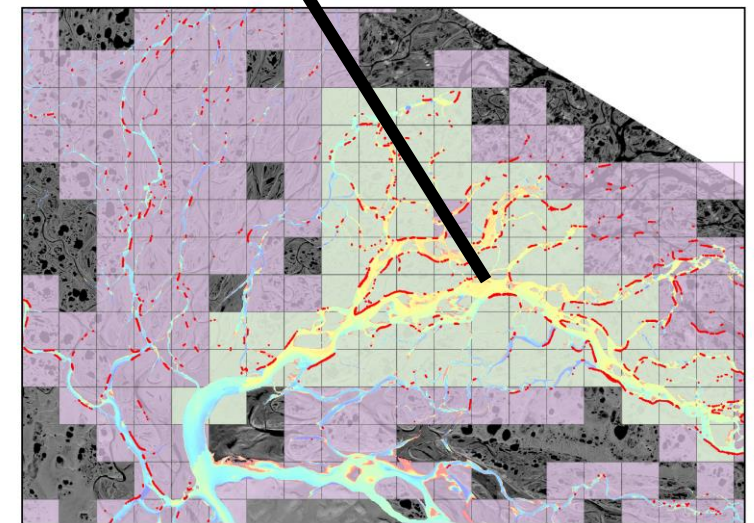
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ



Карта интенсивности разрушений (2000–2021)



О. Собо-Сисё (до 15 м/год)



ВЛИЯНИЕ РУСЛОВЫХ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ НА МУТНОСТЬ ВОДЫ

27/08/2020

$Q = 32\,600 \text{ м}^3/\text{с}$

ΔS (Трофимовская) = 50.0 %

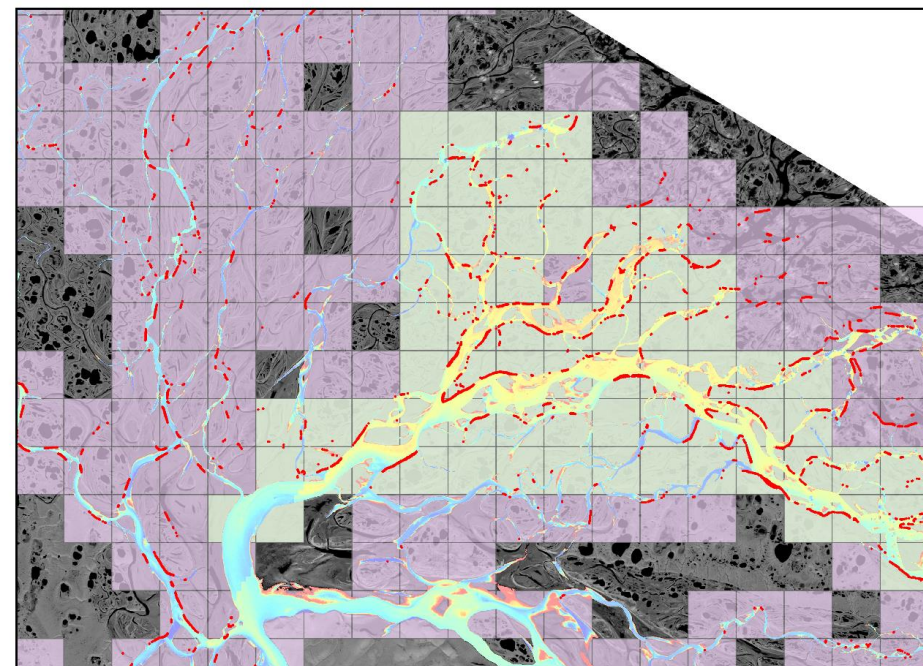
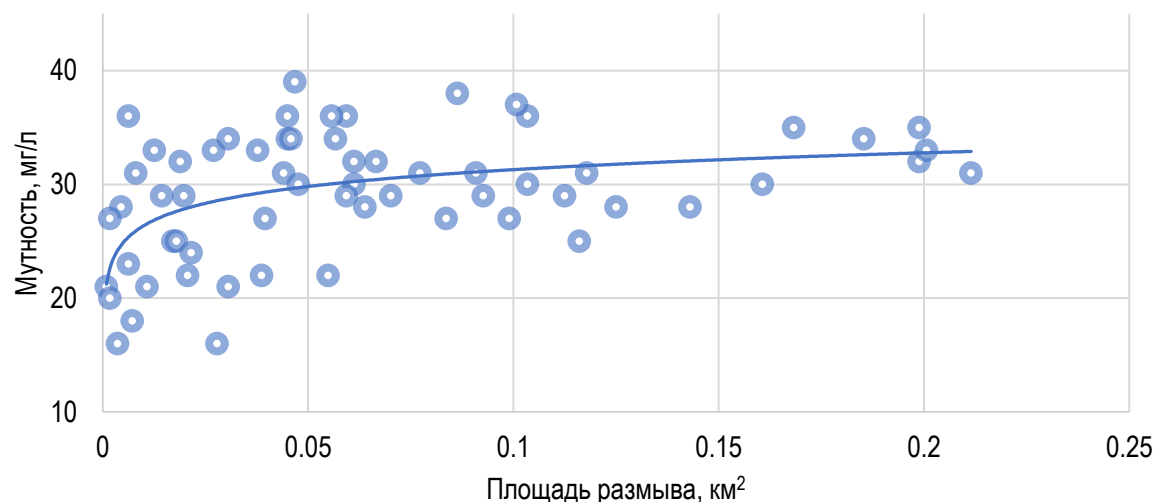
$\sum T$ (1/3/5/7) = 6.5/17.6/ 34.7/41.4 °С

$\sum T$ почвы (1/3/5/7) = 1.85/5.59/9.34/13.2/19.3 °С

$\sum P$ (5) = 6.9 мм

U (1/3/5) = 5.98/5.95/5.20 м/с

W (1/3/5/7) 95/230/326/397 Вт/м²



Участки размыва

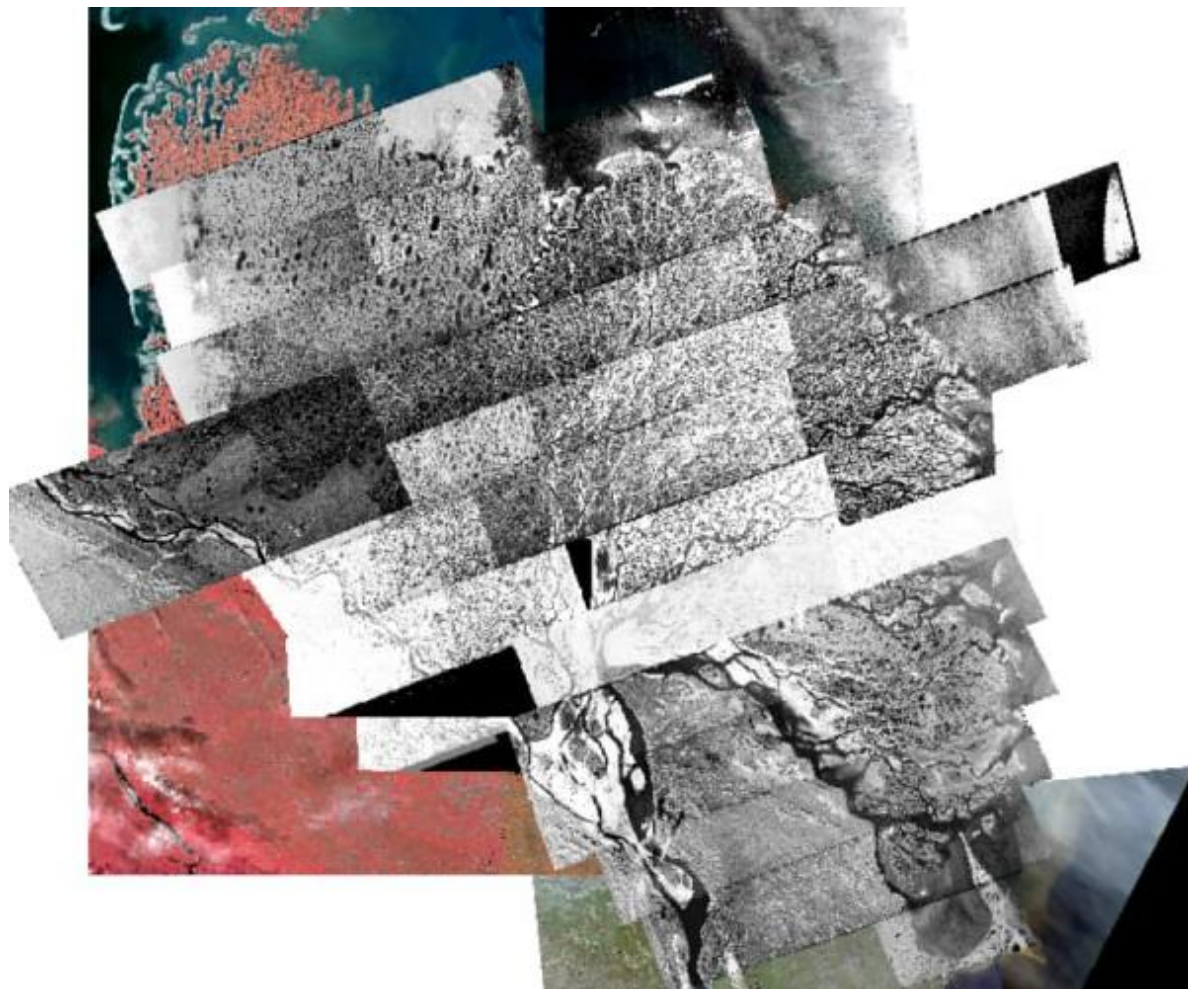
Мутность, мг/л
0 50

Анализируемый участок

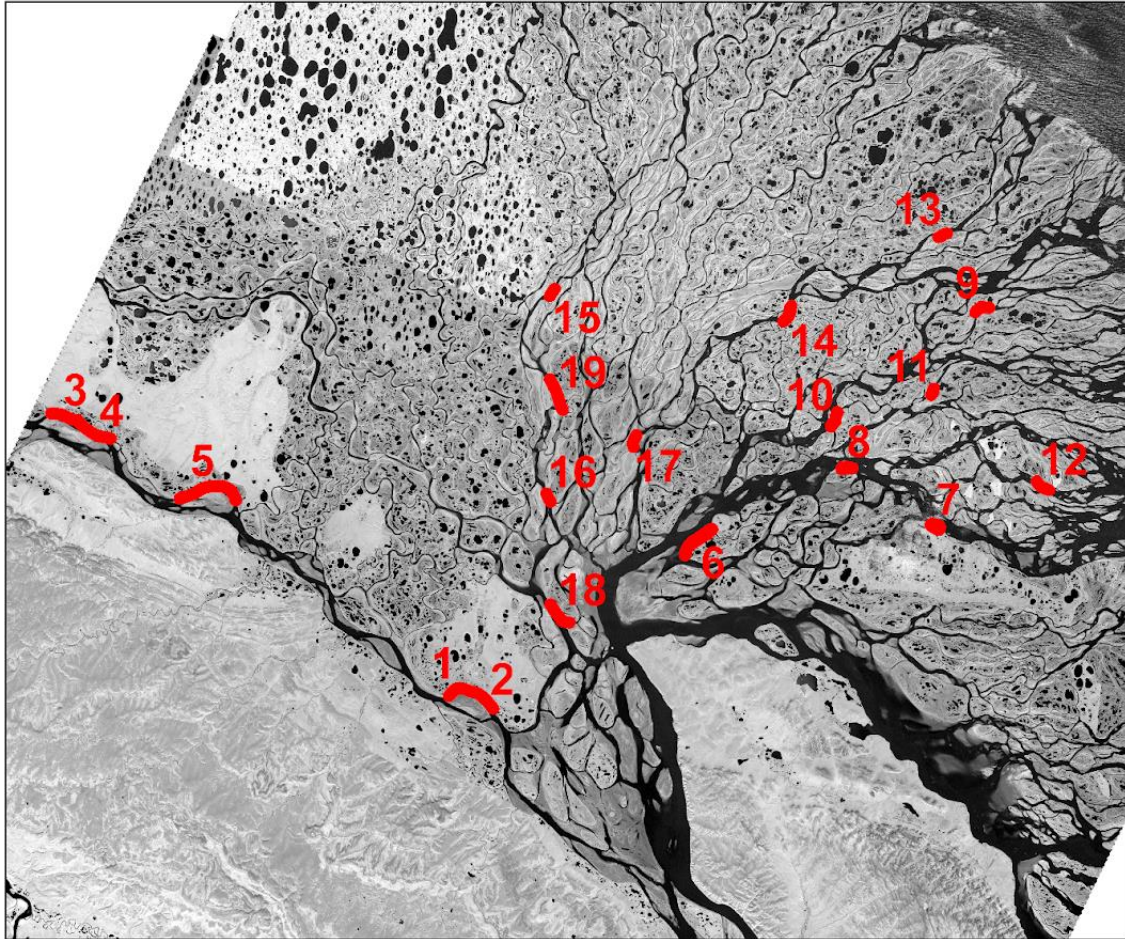
$$SSC = 2,14 * \ln(S_{\text{размыв}}) + 36,2$$

Изменения мутности воды с увеличением площади размыва вдоль Трофимовской протоки (27.08.2020)

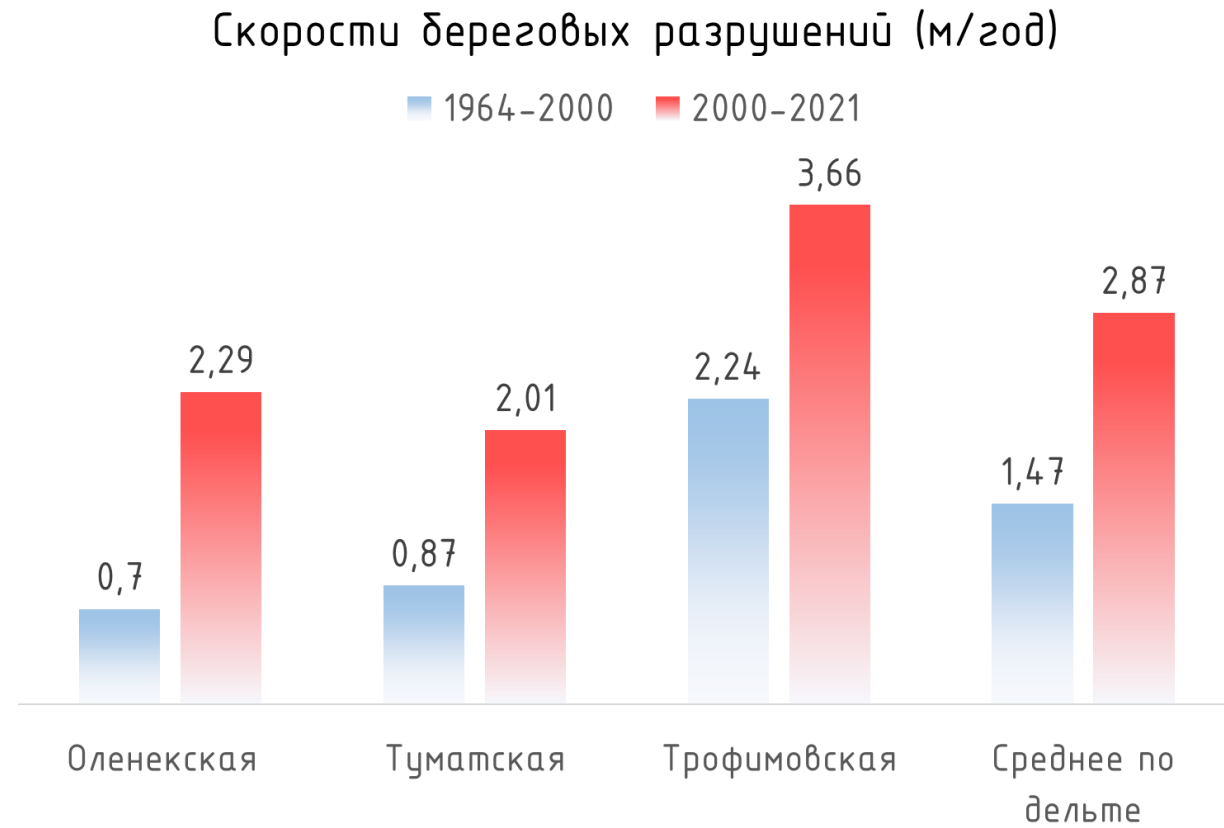
ДАННЫЕ ДЗЗ: XX ВЕК В СЧИМКАХ KEYHOLE



ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СКОРОСТИ БЕРЕГОВЫХ РАЗРУШЕНИЙ



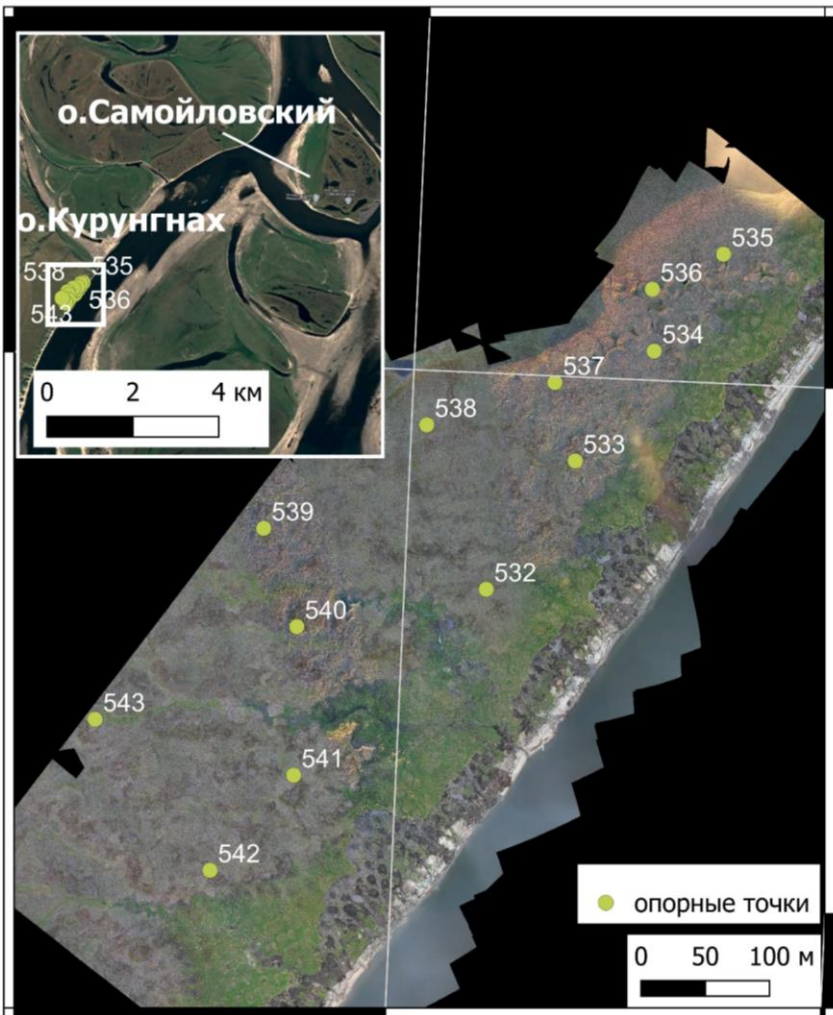
КЛЮЧЕВЫЕ УЧАСТКИ



СТАЦИОНАРЫ РАЗРУШЕНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ БЕРЕГОВ

Северо-восточный берег о. Курунгнах

126°18,6'В



126°18,6'В

126°19,2'В



72°21,0'С



72°22,2'С

Юго-восточный берег о. Самойловский

126°30,6'В

126°31,2'В



126°30,6'В

126°31,2'В

Спасибо за внимание!

prokris3@mail.ru



Результаты получены при финансовой поддержке проекта Министерства высшего образования и науки (Соглашение 075-15-2024-614). Дешифрирование спутниковых снимков выполнено при финансовой поддержке проекта РГО (02/2024-И).