

Дистанционный мониторинг состояния растительного покрова вблизи оз. Пясино и бассейна р. Пясины

Голюков А. С.^{1,2}, Им. С.Т.^{1,2,3}, Двинская М.А.¹

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия - 1

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия - 2

Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия - 3



ФИЦ КНЦ СО РАН
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
Лаборатория мониторинга леса

Красноярск 2022

Актуальность:

- ▶ Растительный покров на севере Сибири произрастает в экстремальных климатических условиях и подвергается техногенному воздействию от промышленных предприятий.



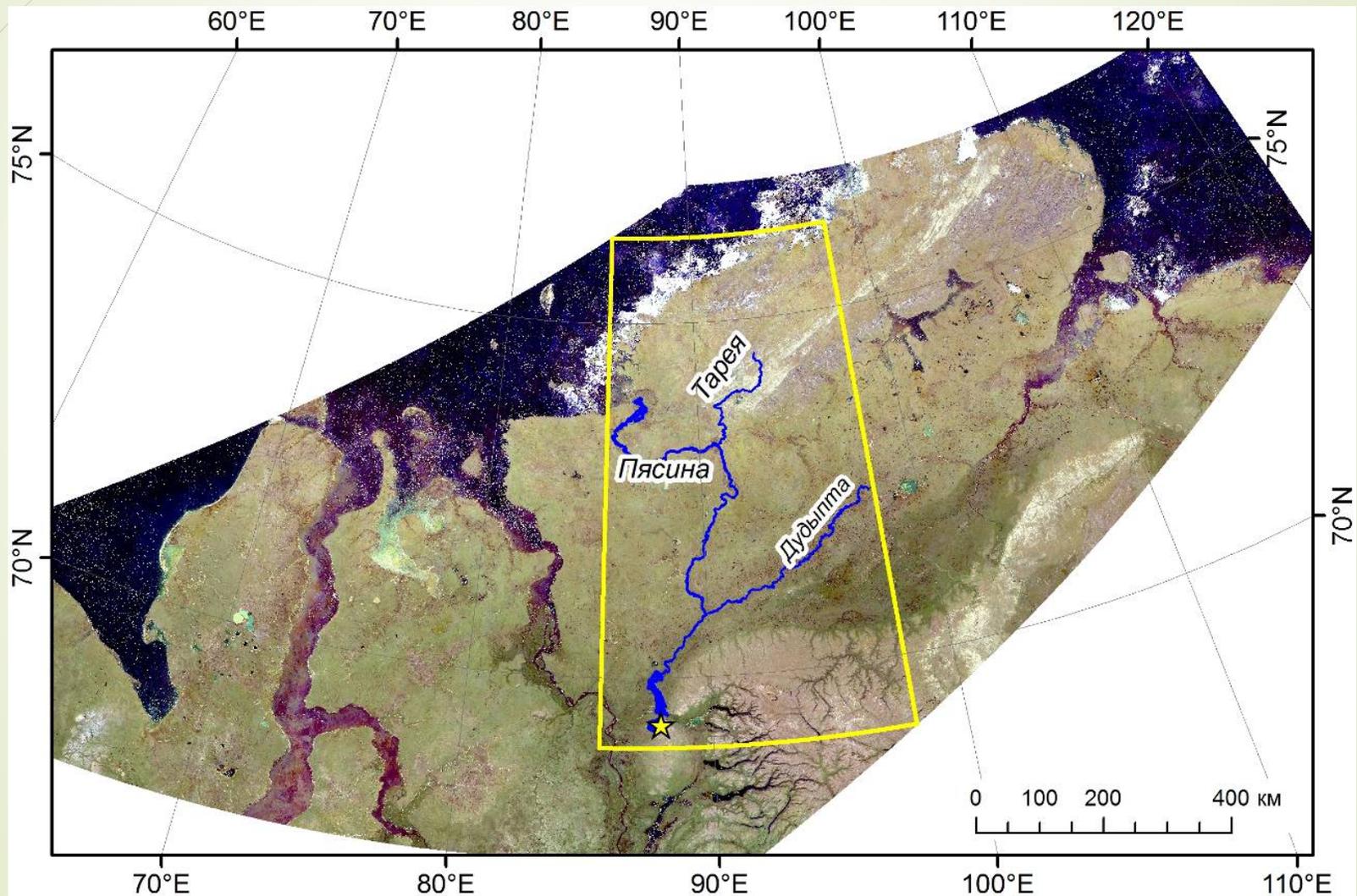
Цель работы:

анализ изменения состояния растительного покрова вблизи оз. Пясино и бассейна р. Пясины по данным дистанционного зондирования Земли в начале 21 века.

Задачи:

- ▶ Сгенерировать классификационные картосхемы основных типов растительного покрова в бассейнах рек Амбарная и Пясины по состоянию на 2022 г. Сравнить результат классификации с аналогичной картосхемой, датированной 2021 годом
- ▶ Проанализировать состояние и продуктивность растительности
- ▶ Проанализировать условия водного режима растений

Объект исследования в границах п-ва Таймыра)



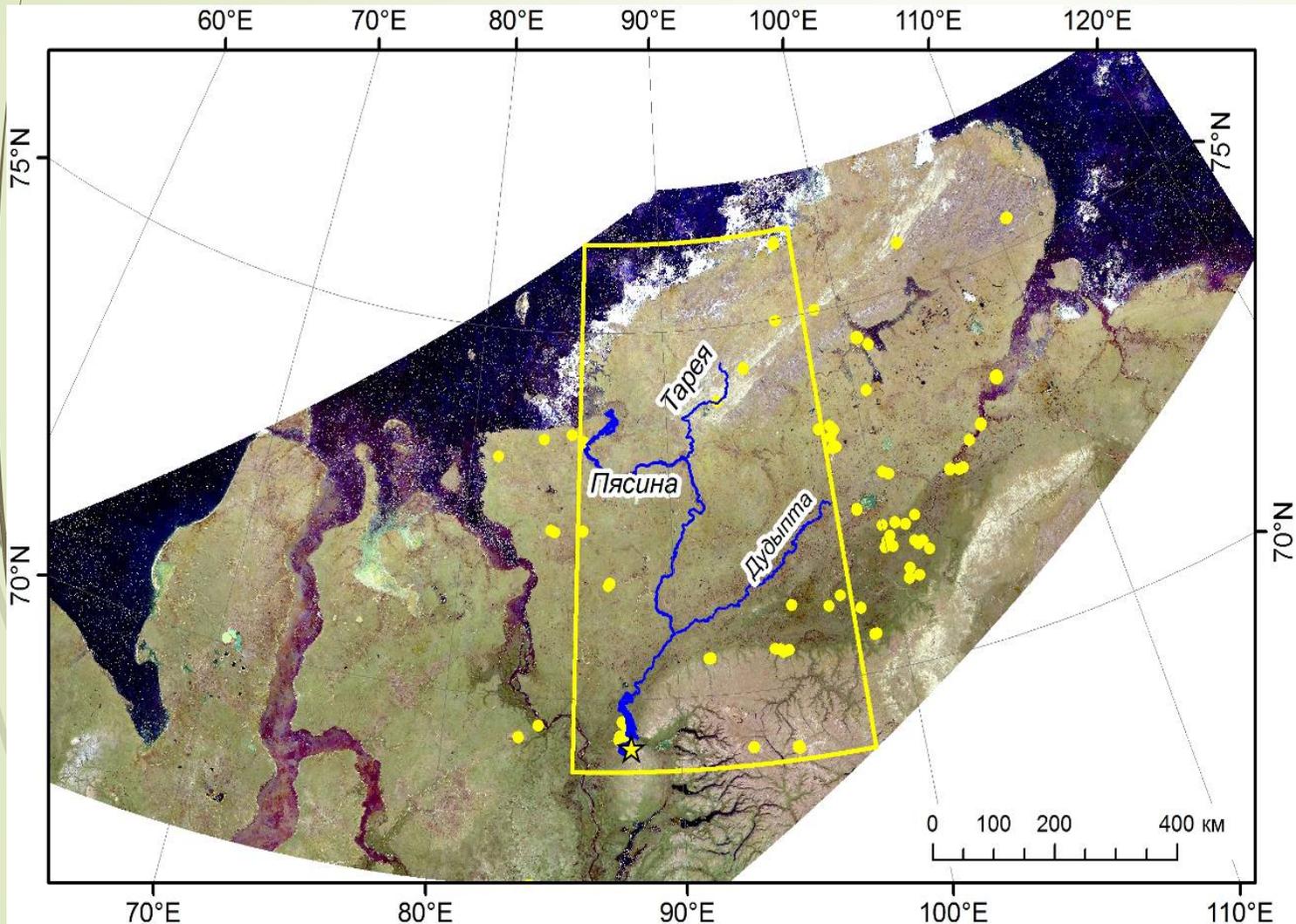
Материалы:

- ▶ Материалы съемки MODIS получены за 2001-2022 г. Продукты MOD09Q1 (два спектральных канала с разрешением ~250 м; MOD09A1 (семь спектральных каналов с разрешением ~500 м; Версия продуктов 6.1. Использованы 8-дневные композиты за летний период (с 01 июля по 31 августа, 171–244 календарные дни). Данные использовались для классификации поверхности, расчета индекса NDVI, EVI и NDII
- ▶ При классификации использовались: топографические карты М 1:100 000 и съемка сверхвысокого разрешения Worldview, GeoEye, Bing Maps, Yandex maps и ArcGIS Living Atlas из открытых источников
- ▶ Данные о первичной и валовой продуктивности (GPP и NPP) извлечены из продуктов MOD17A2H и MOD17A3HGF за 2001-2021 гг.

Результаты

6

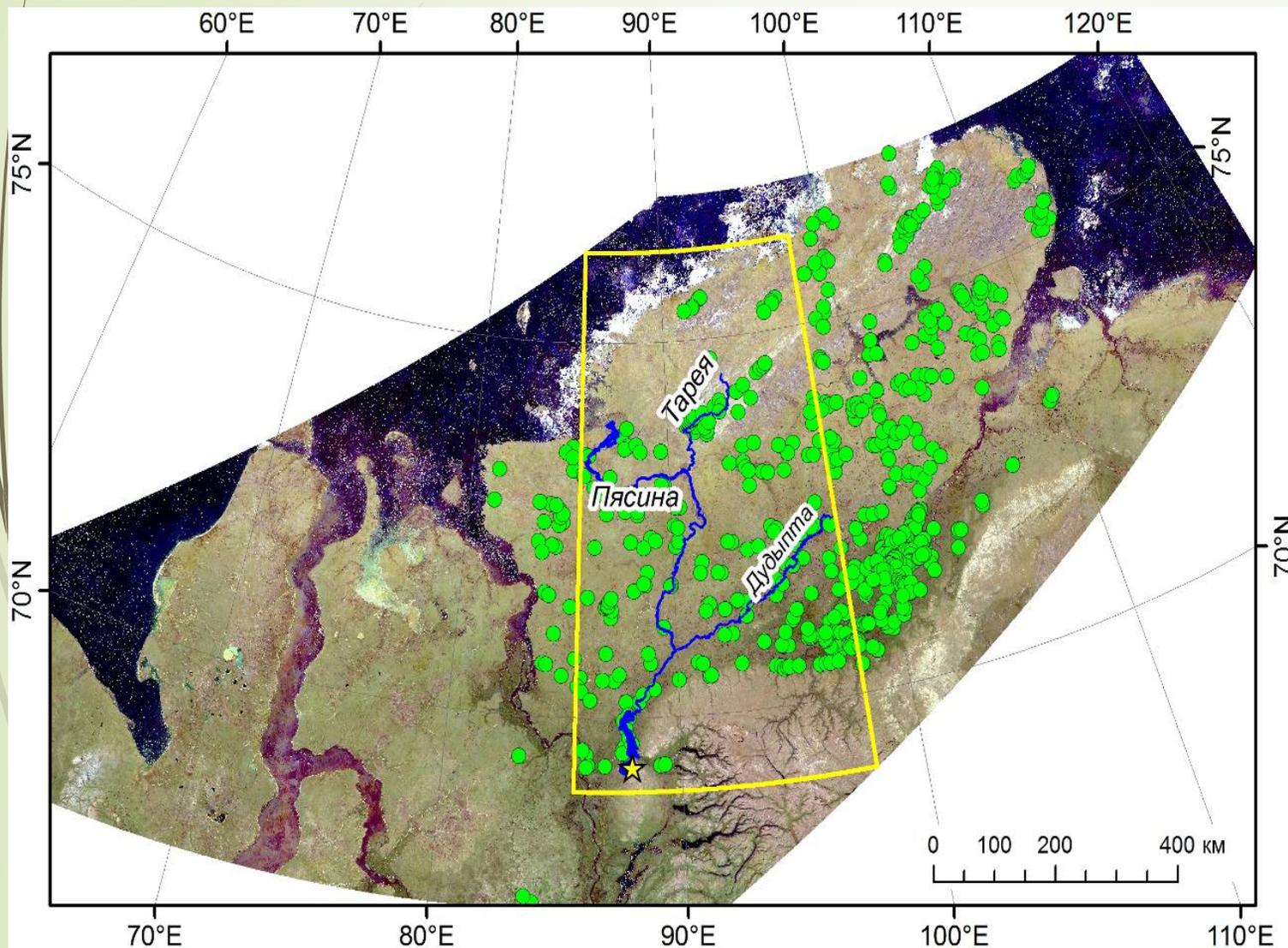
1. Генерация классификационных картосхем



Классификационные картосхемы составлялись на основе метода машинного обучения опорных векторов (Support Vector Machines)

Всего использовано 76 обучающих выборок (желтые точки).

1.1 Точность классификаций



Точность классификаций оценивалась методом каппа-статистики на основе матрицы ошибок

Тестовые точки (отмечены зеленым), составлены на основе снимков сверхвысокого разрешения и топографических карт с учетом достаточной спектральной однородности участков вокруг точек (не менее четырех пикселей).

Всего использовано 662 точки

1.2 Классификация растительного покрова

2019:

Общая точность классификации 92%,
Каппа 0,89

2020:

Общая точность классификации 91%,
Каппа 0,86

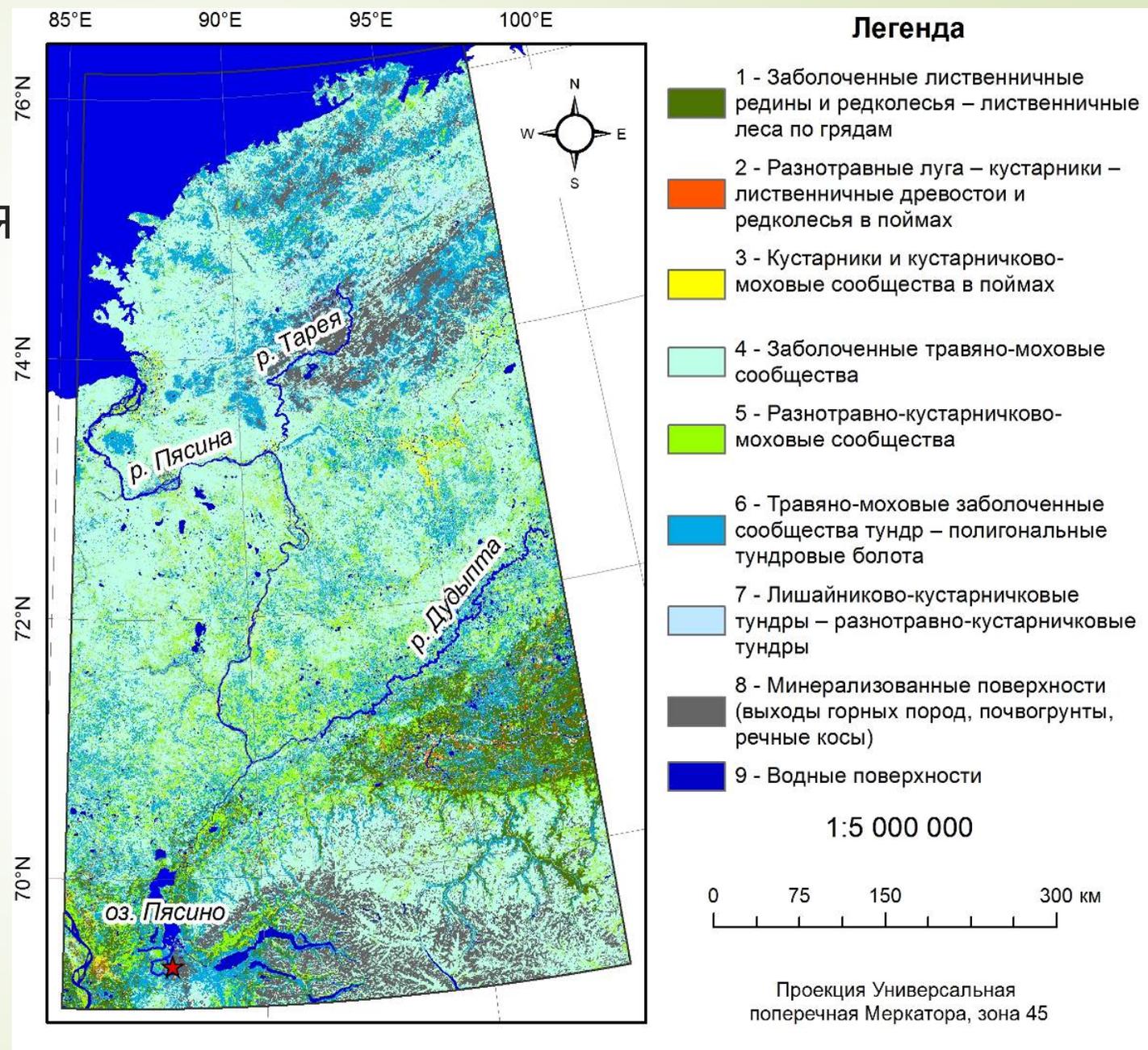
2021:

Общая точность классификации 85%,
Каппа 0,78

2022:

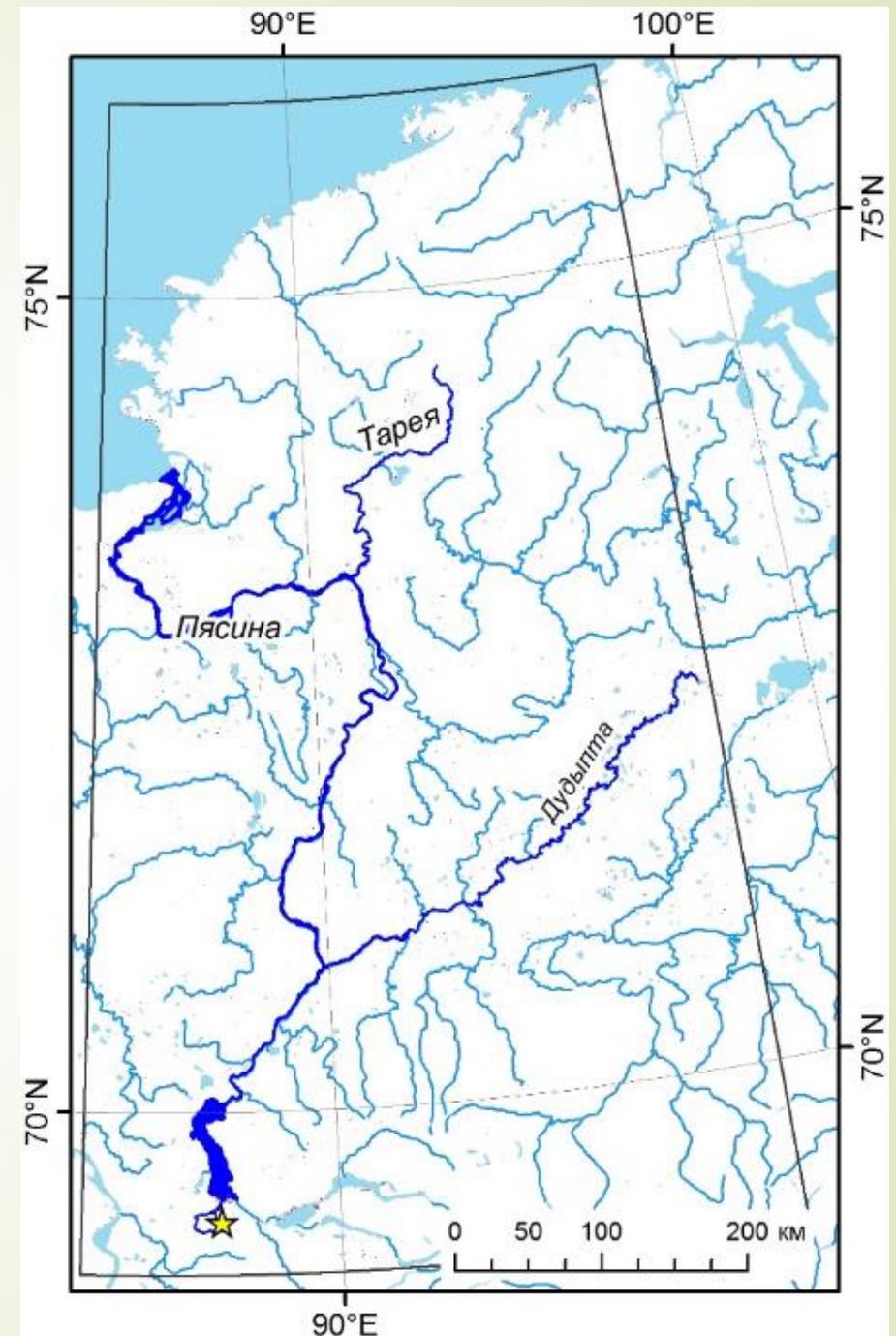
Общая точность классификации 92%,
Каппа 0,88

Пример классификации, 2022 год

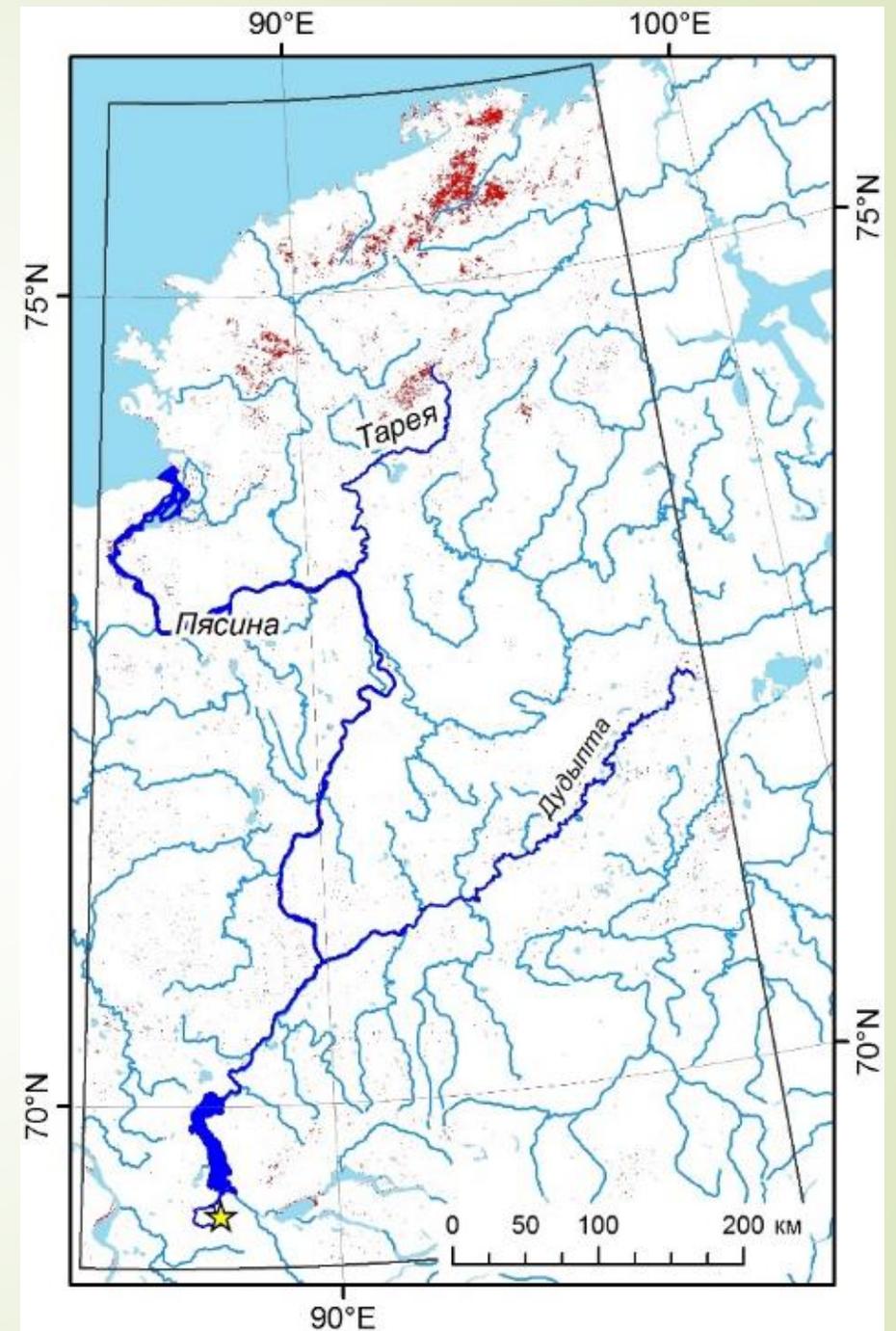


1.3 Выделение зон (отмечены красным) значимых изменений вегетационного индекса NDVI 2019-2020 гг.

Изменений индекса практически нет.

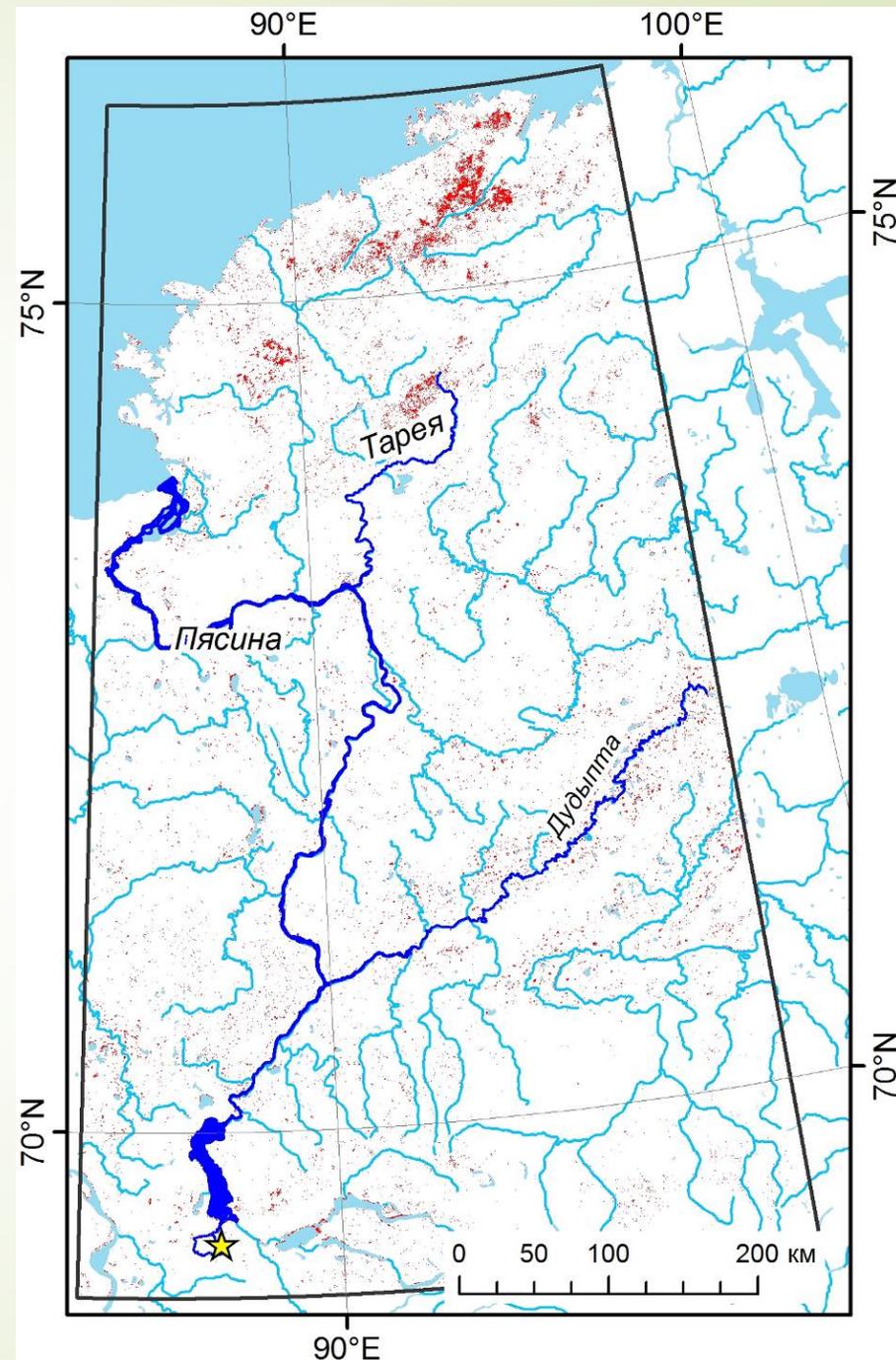


1.4 Выделение зон (отмечены красным) значимых изменений вегетационного индекса NDVI 2020-2021 гг.



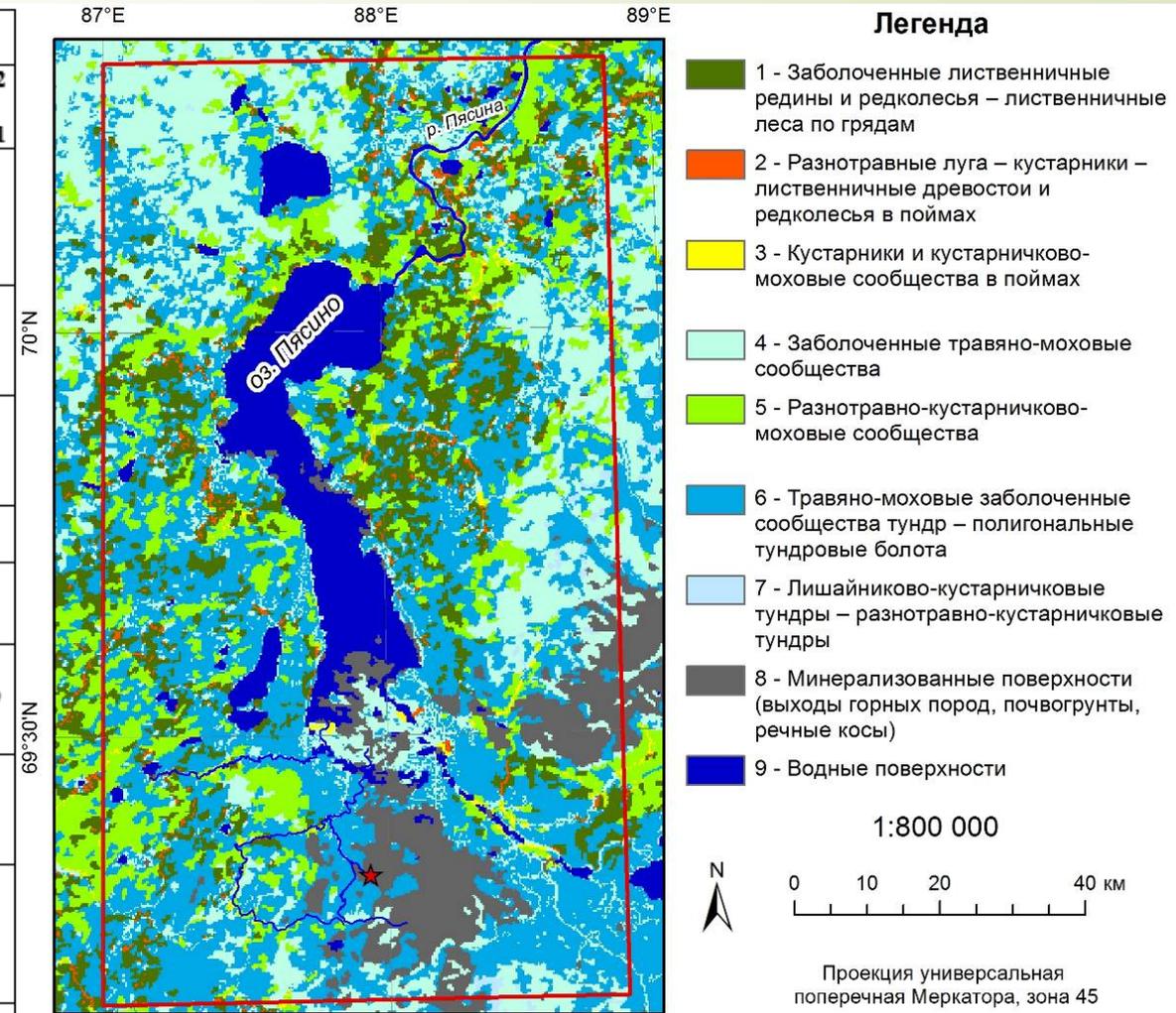
1.5 Выделение зон (отмечены красным) значимых изменений вегетационного индекса NDVI 2021-2022 гг.

В северной горной части изменения преимущественно связаны со смещением времени таяния снежного покрова



1.6 Площади классов основных типов макрокомбинаций растительного покрова, полученные по данным MODIS

№	Названия классов	Площади, кв. км				Изменение площади, га			Изменение площади, %		
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 vs 2019	2021 vs 2020	2022 vs 2021	2020 vs 2019	2021 vs 2020	2022 vs 2021
1	Заболоченные лиственничные редины и редколесья – лиственничные леса по грядкам	16727,2	16725,5	16728,7	16755,2	-1,7	3,2	26,5	0,0	0,0	0,2
2	Разнотравные луга – кустарники – лиственничные древостой и редколесья в поймах	2022,7	2022,5	2027,6	2066,6	-0,2	5,1	39,0	0,0	0,3	1,9
3	Кустарники и кустарничково-моховые сообщества тундры и лесотундры	3338,0	3336,4	3356,2	3473,3	-1,6	19,8	117,1	0,0	0,6	3,5
4	Заболоченные травяно-моховые сообщества	160244,7	160458,3	159989,7	160103,8	213,6	-468,6	114,1	0,1	-0,3	0,1
5	Разнотравно-кустарничково-моховые сообщества	23998,1	23991,5	24022,6	24080,3	-6,6	31,1	57,7	0,0	0,1	0,2
6	Травяно-моховые заболоченные сообщества тундр – полигональные тундровые болота	62176,4	62232,0	61865,8	61335,3	55,6	-366,2	-530,5	0,1	-0,6	-0,9
7	Лишайниково-кустарничковые тундры – разнотравно-кустарничковые тундры	4637,5	4633,7	4706,8	4864,9	-3,8	73,1	158,0	-0,1	1,6	3,4
8	Минерализованные поверхности (выходы горных пород, почвогрунты, речные косы)	28595,0	28538,0	28963,4	29198,6	-57	425,4	235,2	-0,2	1,5	0,8
9	Водные поверхности	7277,5	7076,0	7353,0	7118,3	-201,5	277	-234,7	-2,8	3,9	-3,2



Результат для 2022

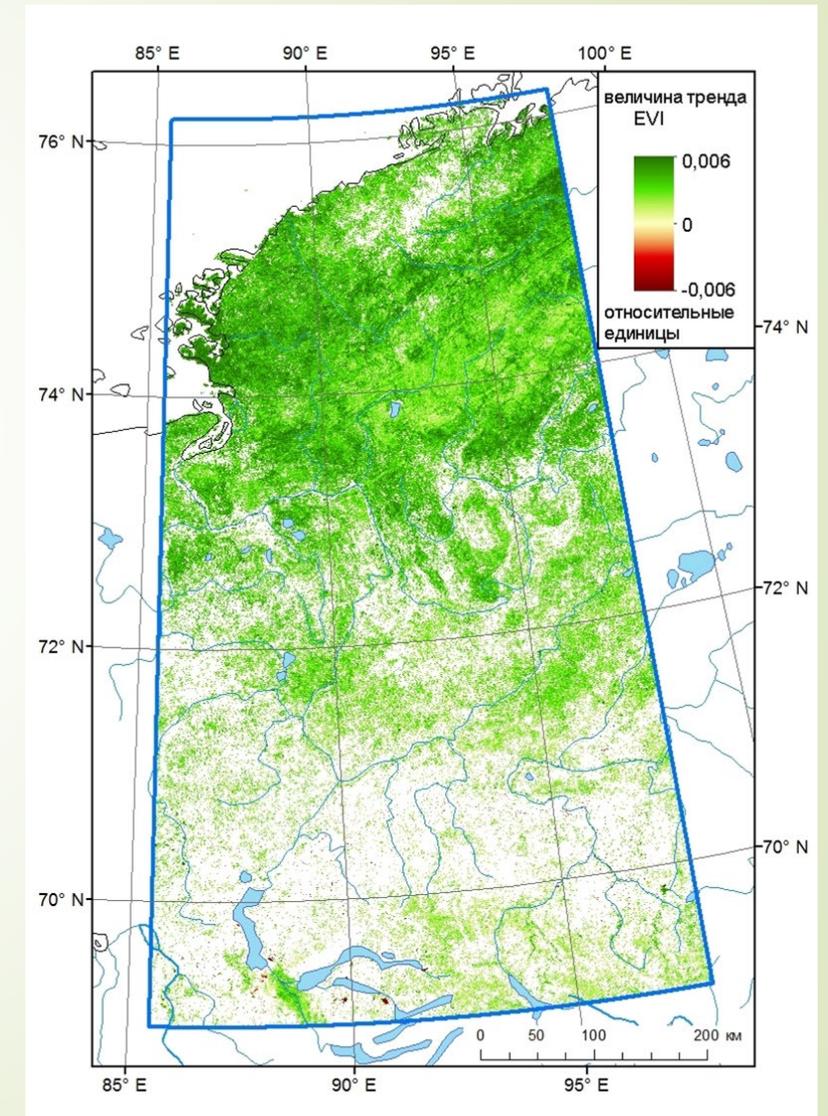
Выводы по 1 задаче

- ▶ Созданы классификационные картосхемы основных типов макрокомбинаций растительного покрова в бассейнах рек Амбарная и Пясины по состоянию на 2019, 2020, 2021 и 2022 гг. Точность картосхем соответствует хорошему уровню классификации (85–92%).
- ▶ Согласно представленным на картосхемах данным, в бассейнах рек Пясины и Амбарная в течение анализируемого периода (2019–2022 гг.) наблюдались в целом относительно небольшие изменения площади наземных классов (в среднем менее 1% с максимальными значениями до 4%).
- ▶ В 2022 г. по сравнению с предыдущими годами наблюдался рост площади кустарников и кустарничковых сообществ (на ~3,5%). Часть указанных изменений вероятно связана с воздействием техники на почвенный покров в процессе рекультивации территории.

2. Тренды состояния растительности (EVI)

Картосхема трендов индекса EVI
(за период 2000–2021 гг.; $p < 0,1$)

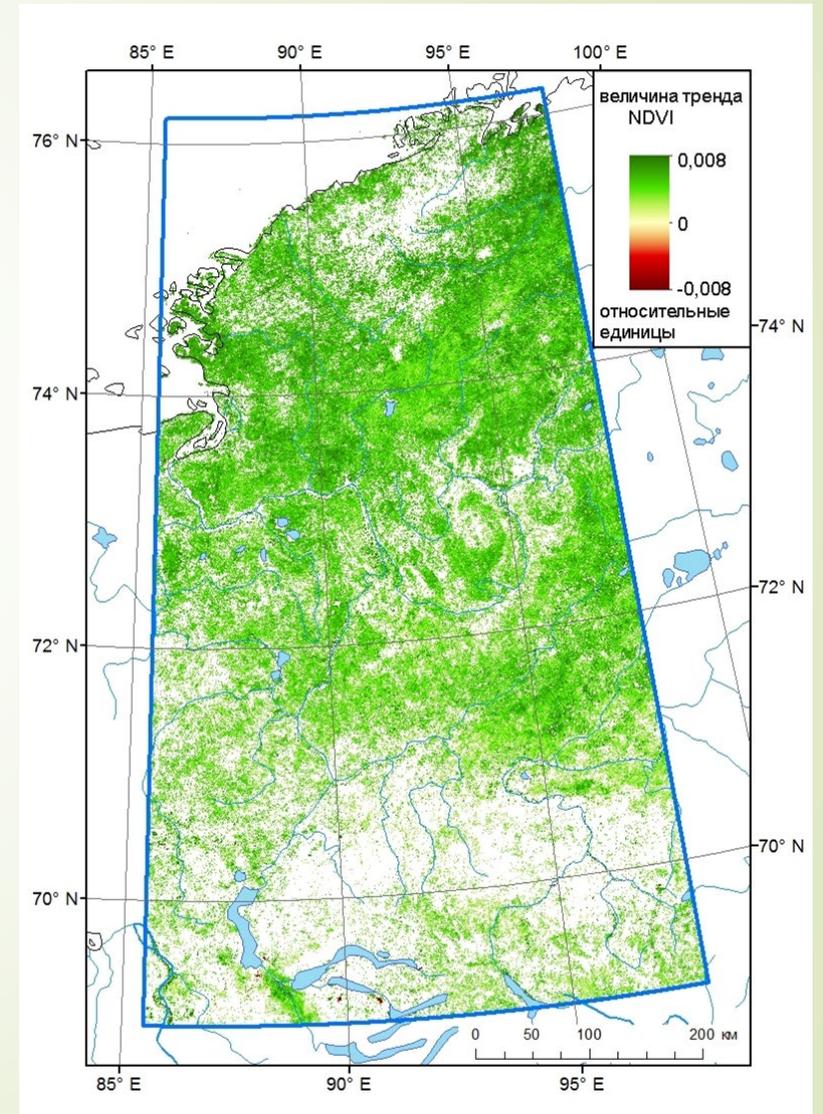
Возрастающие тренды EVI наблюдаются на 37% территории, убывающие на 0,3%. На остальной территории тренды незначимы.



2.1. Тренды состояния растительности (NDVI)

Картосхема трендов индекса NDVI
(за период 2000–2021 гг.; $p < 0,1$)

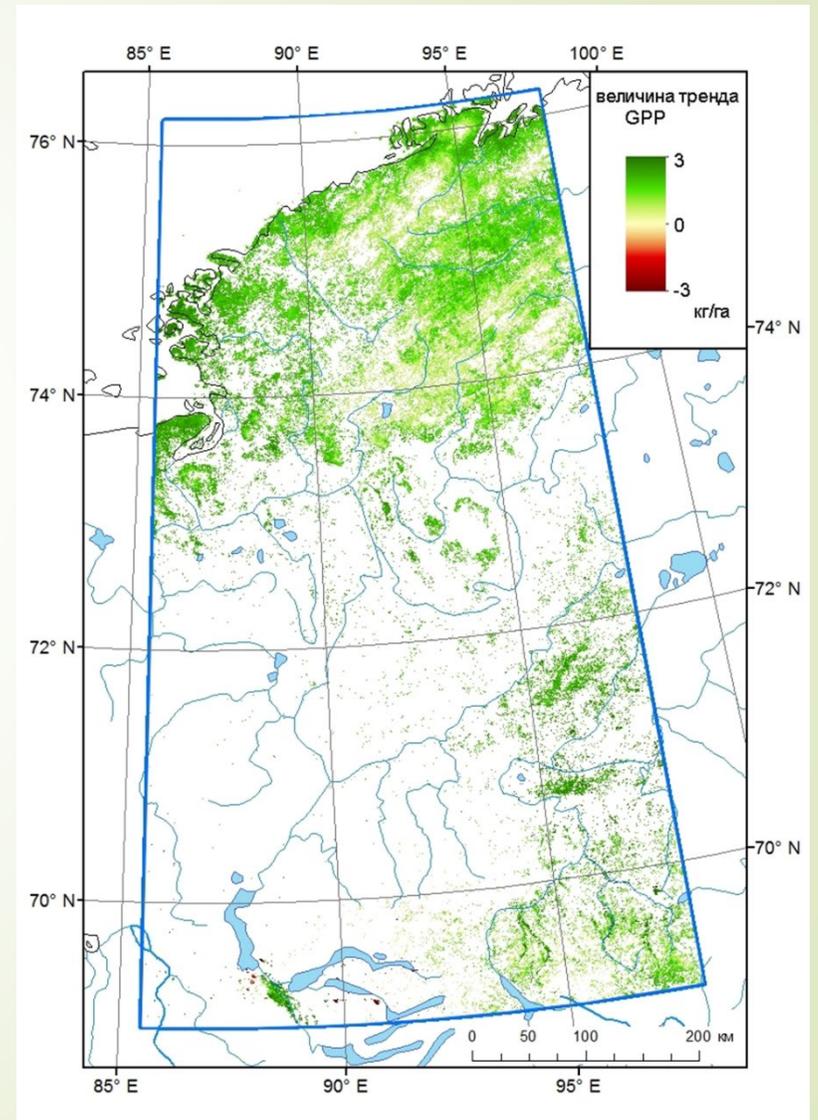
Возрастающие тренды NDVI наблюдаются на 36% территории, убывающие на 0,1%. На остальной территории тренды незначимы.



2.2 Тренды валовой продуктивности (GPP)

Картосхема среднелетних трендов GPP
(за период 2000–2021 гг.; $p < 0,1$)

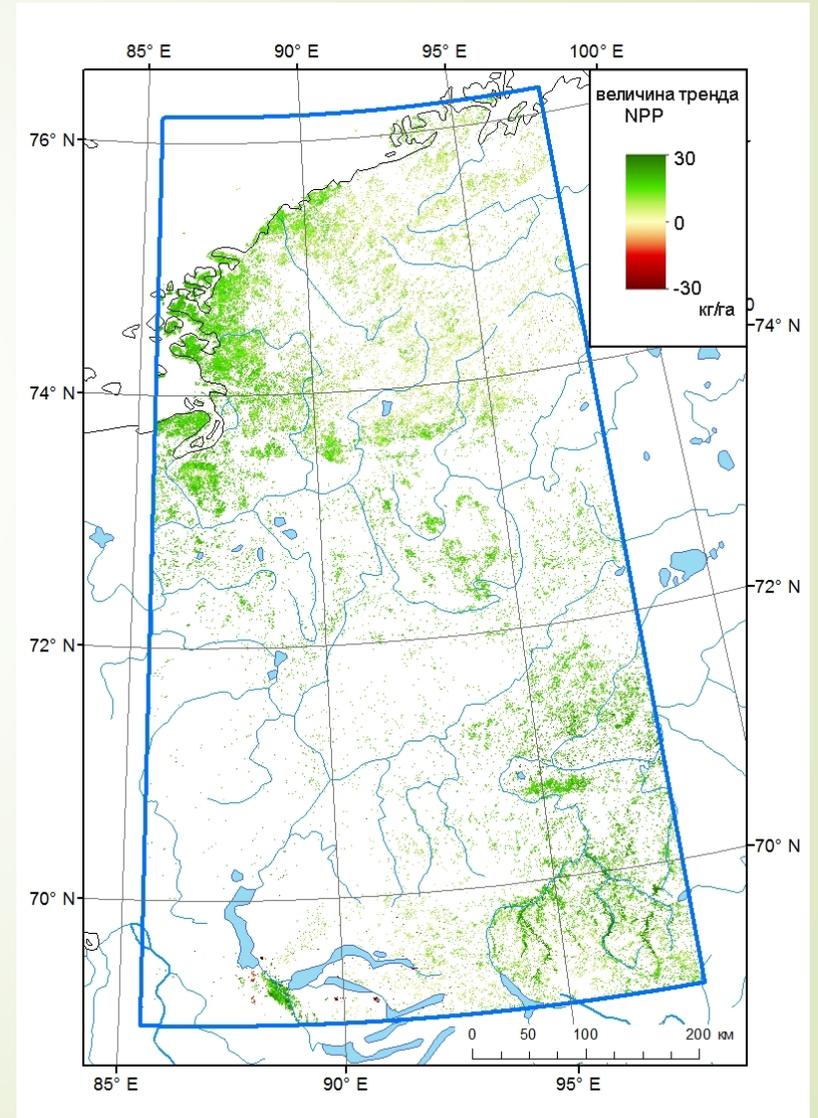
Возрастающие тренды GPP наблюдаются
на 10% территории, убывающие на 0,06%.
На остальной территории тренды
незначимы.



2.3. Тренды чистой продуктивности (NPP)

Картосхема среднегодовых трендов NPP
(за период 2000–2020 гг.; $p < 0,1$).

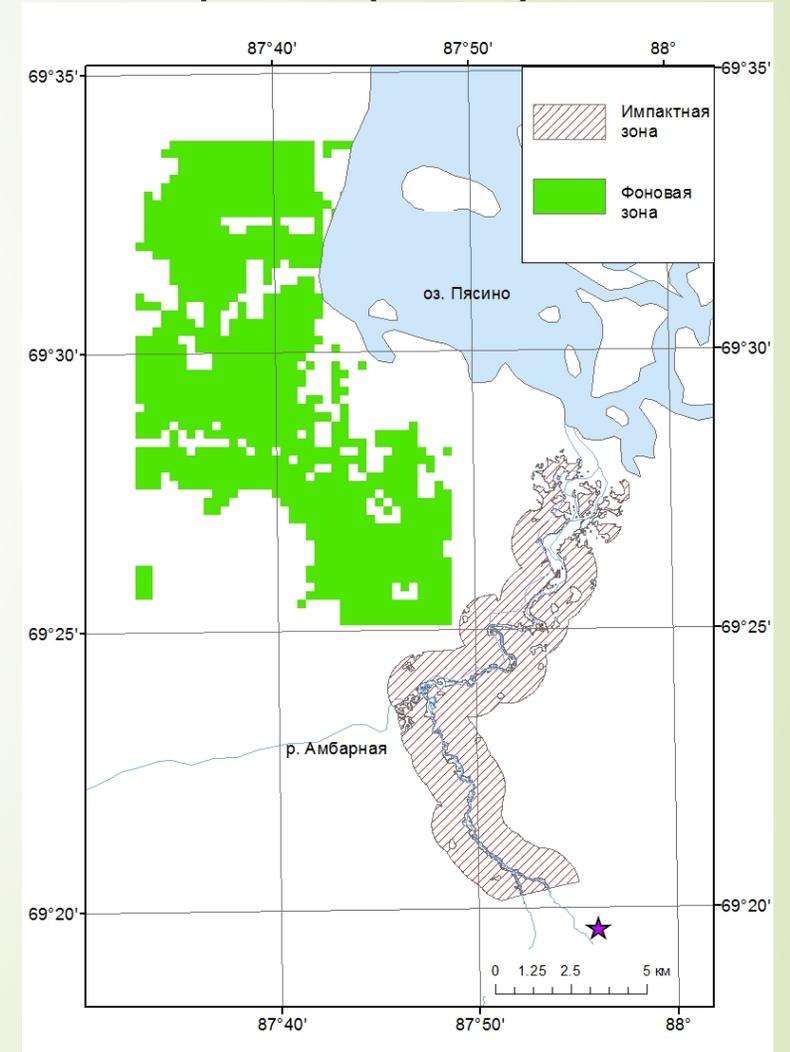
NPP возрастает на 12% территории, убывает
на 0,08%. На остальной территории тренды
незначимы



2.4. Анализ состояния и продуктивности растительности в зоне разлива нефтепродуктов

Импактная зона вдоль русла р. Амбарная отмечена штриховкой.

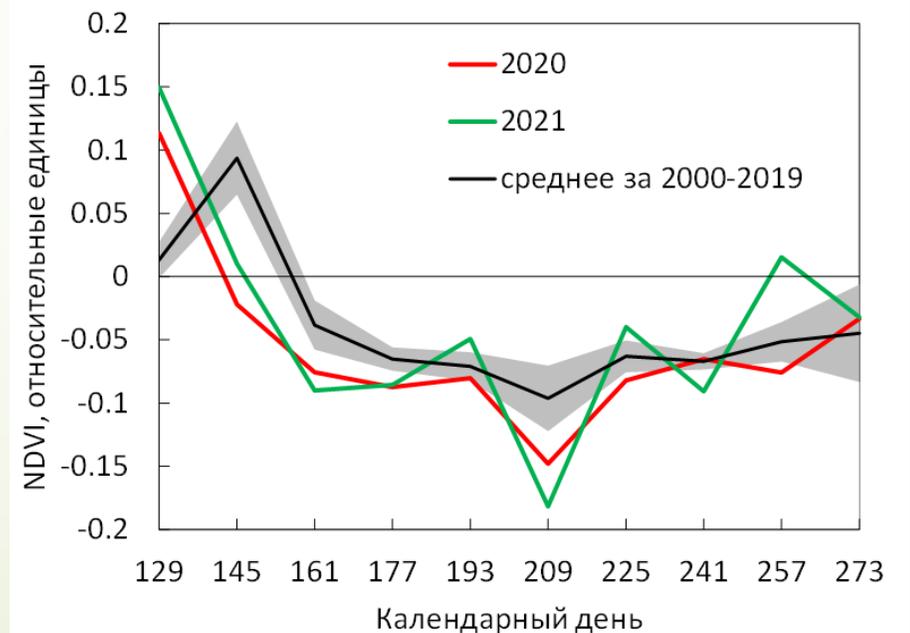
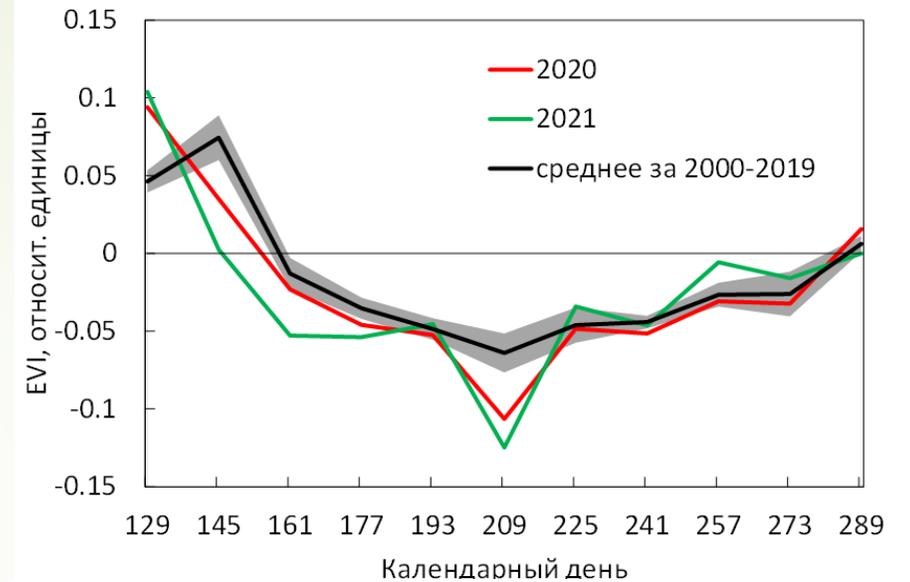
Фоновая зона обозначена зелёным цветом. Звездочкой отмечена точка разлива нефтепродуктов



Динамика разницы (дельты) величин EVI и NDVI в импактной и фоновой зонах. Черная линия – различия между средними величинами EVI, NDVI импакте и фоне за базовый период 2000–2019 гг.

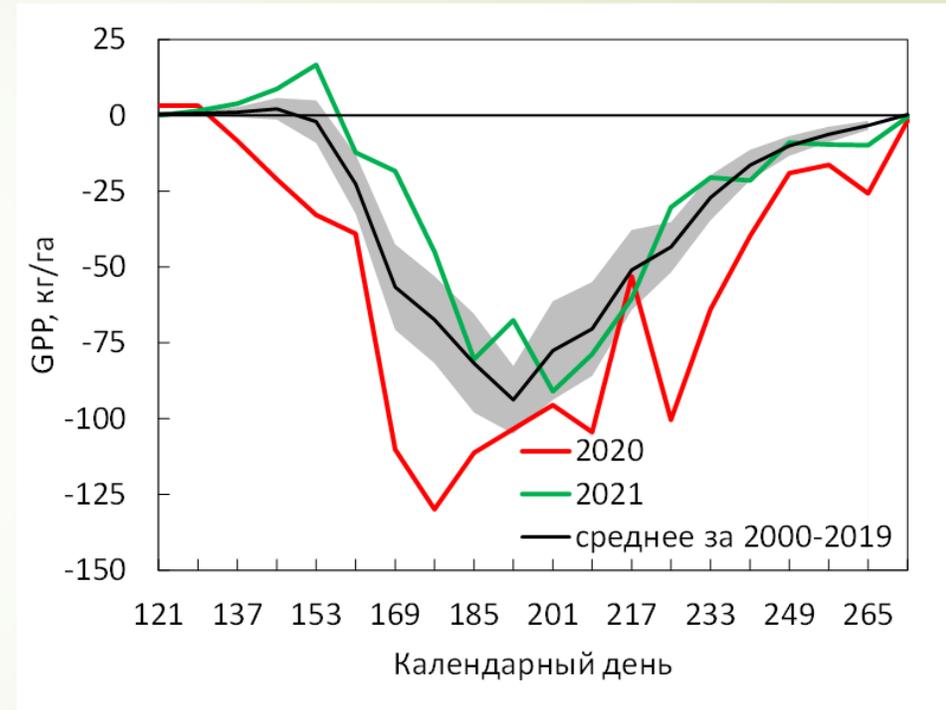
Красным и зеленым цветом указаны различия EVI, NDVI между импактом и фоном в 2020 и в 2021 гг. Доверительный 95% интервал обозначен серым фоном

Отмечается снижение индексов EVI, NDVI в 2020 и 2021, относительно анализируемого периода до разлива нефтепродуктов



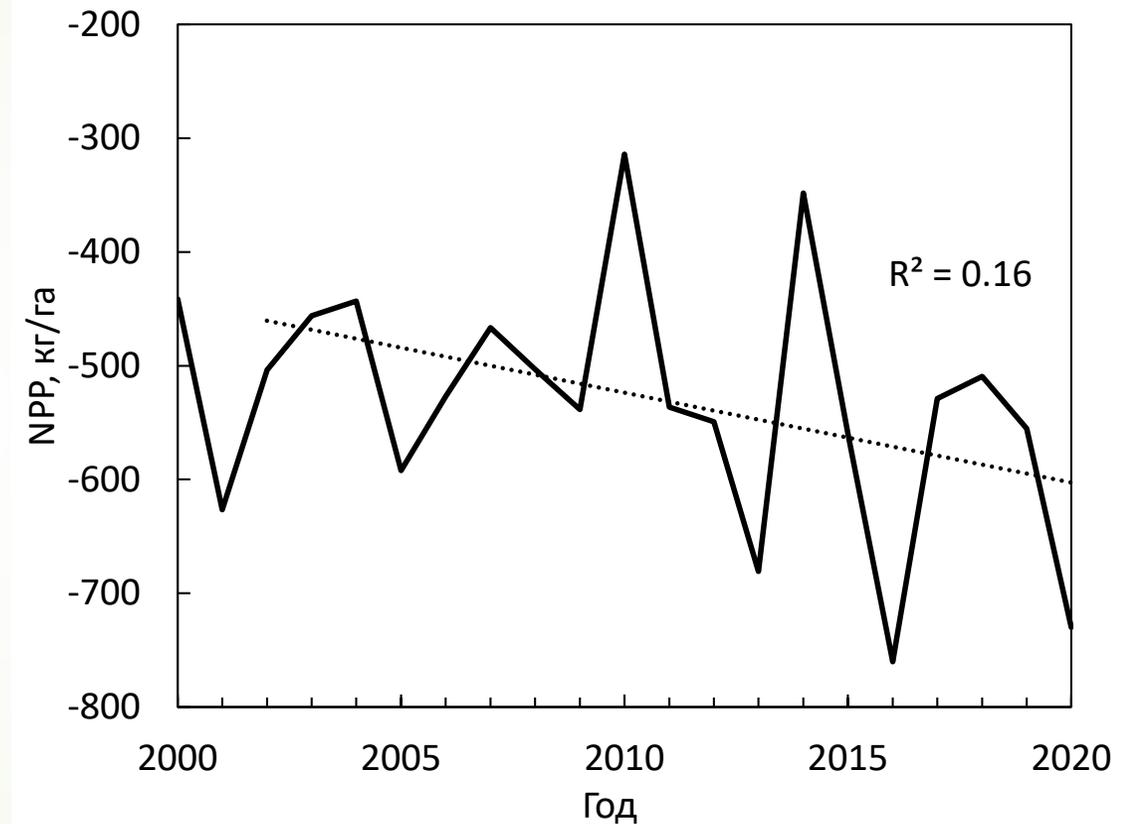
Динамика разницы (дельты) величин GPP в импактной и фоновой зонах. Средние величины GPP между импактом и фоном (черная линия) представлены за период 2000–2019 гг. Разница в GPP между импактом и фоном в 2020 и 2021 гг. указаны красным и зеленым цветом. Доверительный 95% интервал обозначен серым фоном

В 2020 г. величины GPP в импактной зоне были ниже в течение большей части периода вегетации. В целом в течение всего периода наблюдений (2000–2020 гг.) величины GPP в импактной зоне были ниже, чем в фоне



Динамика различий среднегодовых величин NPP между импактной и фоновой зонами. Тренд значим на уровне $p < 0,1$

Годовая чистая валовая продуктивность (NPP) в импактной зоне в среднем ниже, чем в фоновой. В 2020 году наблюдался минимум NPP. Выявлен временной тренд снижения NPP



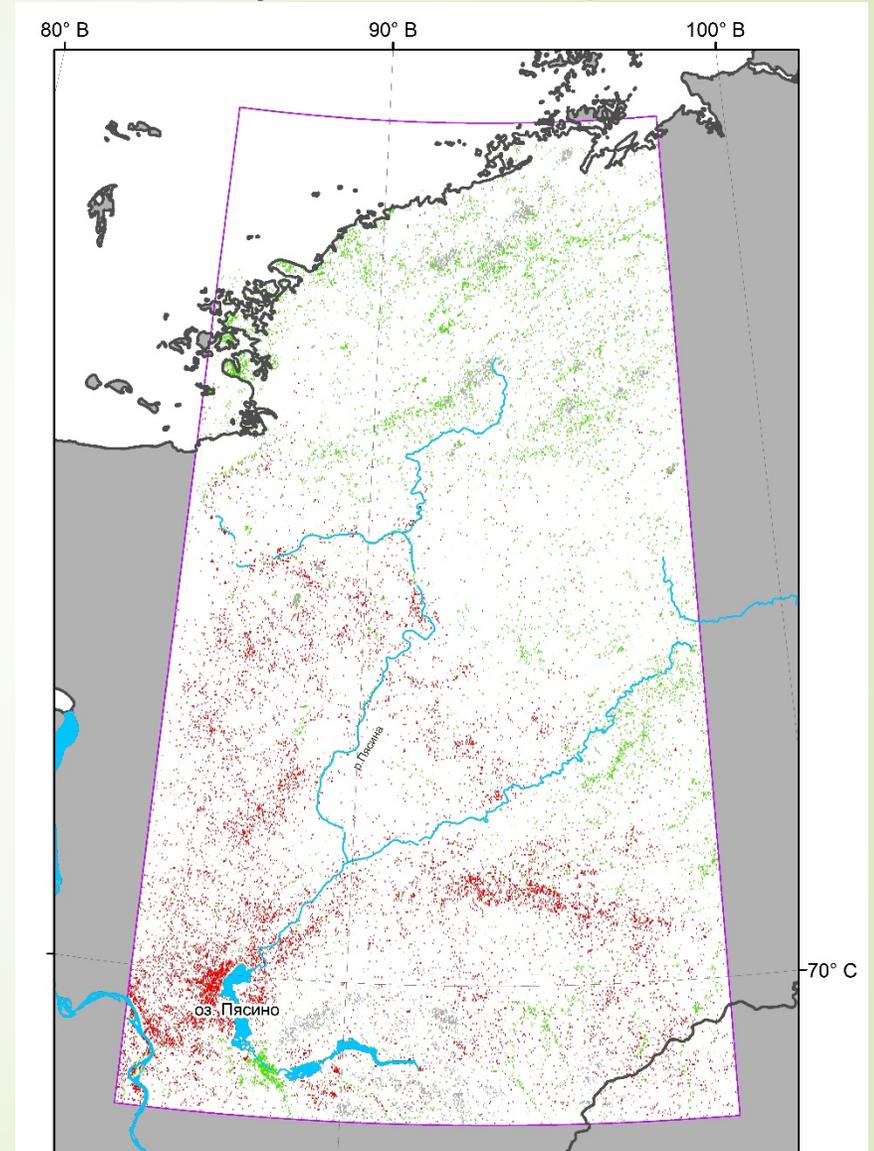
Выводы по 2 задаче

- ▶ В последние десятилетия наблюдаются преимущественно возрастающие тренды продуктивности растительного покрова (первичной валовой и чистой, GPP и NPP) в бассейнах оз. Пясино и р. Амбарная. Возрастание продуктивности обусловлено климатическими изменениями.
- ▶ В импактной зоне в 2020 и 2021 гг. наблюдались аномально низкие величины вегетационных индексов EVI и NDVI по сравнению с базовым периодом (2000–2019 гг.).
- ▶ Различия в GPP между импактом и фоном (снижение GPP) наблюдались в 2020 году. В 2021 году указанные различия были незначимы.
- ▶ Установлен многолетний тренд снижения чистой валовой продуктивности (NPP) в импактной зоне по сравнению с фоновой зоной, что указывает на хроническое негативное воздействие внешнего фактора, не связанного с воздействием разлива нефтепродуктов. Вероятным указанным внешним воздействием являются аэротехногенные выбросы Норильского промрайона.

3. Анализ влагосодержания (индекс NDII) в исследуемом регионе

Тренды медианных значений NDII (период 2001–2021 гг.). Красным выделены территории с убывающими значениями NDII, зеленым – с возрастающими. Изменения значимы на уровне $p < 0,05$

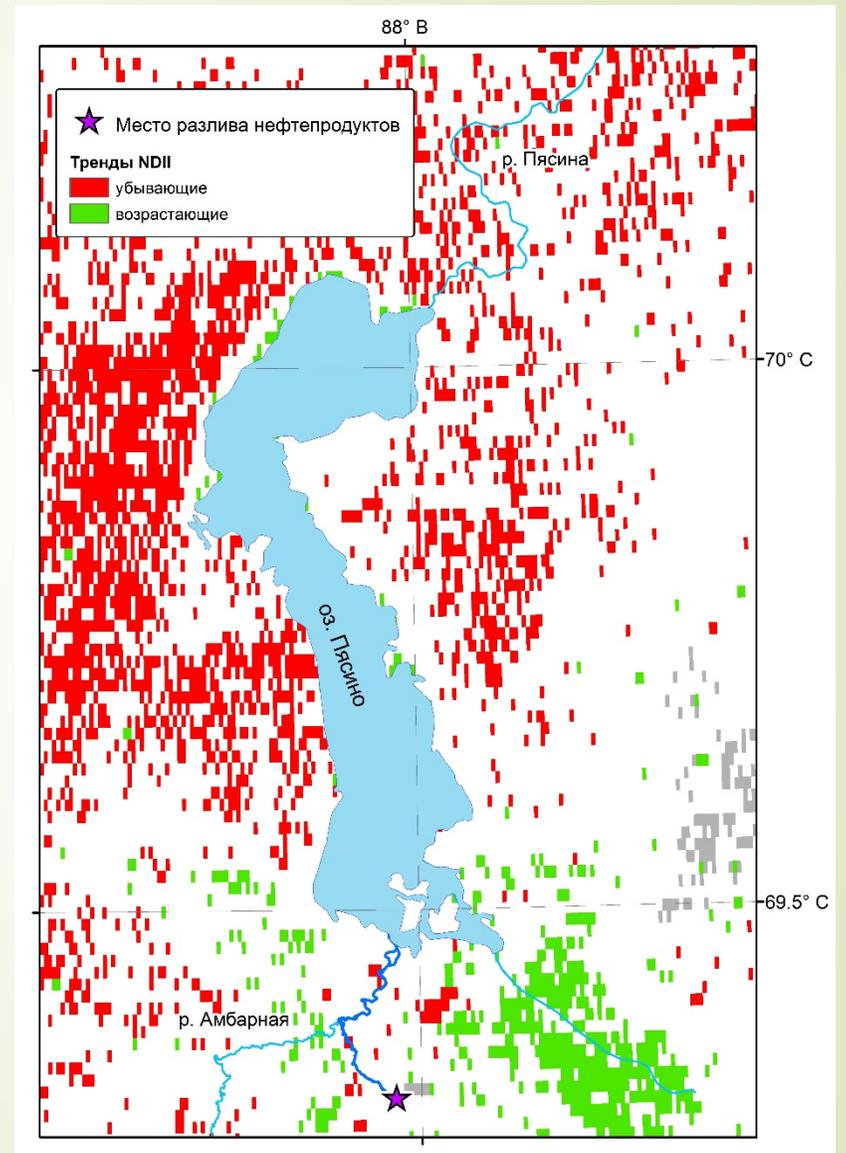
Динамика трендов индекса указывает, что в течение всего периода наблюдений (начиная с 2001 года) происходило снижение уровня влагосодержания в растительном покрове на значительной части исследуемой территории, включая импактную зону.



3.1. Анализ влагосодержания (индекс NDII) в исследуемом регионе

Картосхема трендов NDII (2001-2021 гг.) в бассейнах р. Амбарная и оз. Пясино. Уровень значимости: $p < 0,05$

Значимые убывающие тренды наблюдаются на большей в части территории, включая часть импактной зоны (р. Амбарная). Убывающие тренды расположены в основном на левом берегу оз.Пясино, в то время как зона с положительными значениями индекса расположена юго-восточнее озера.

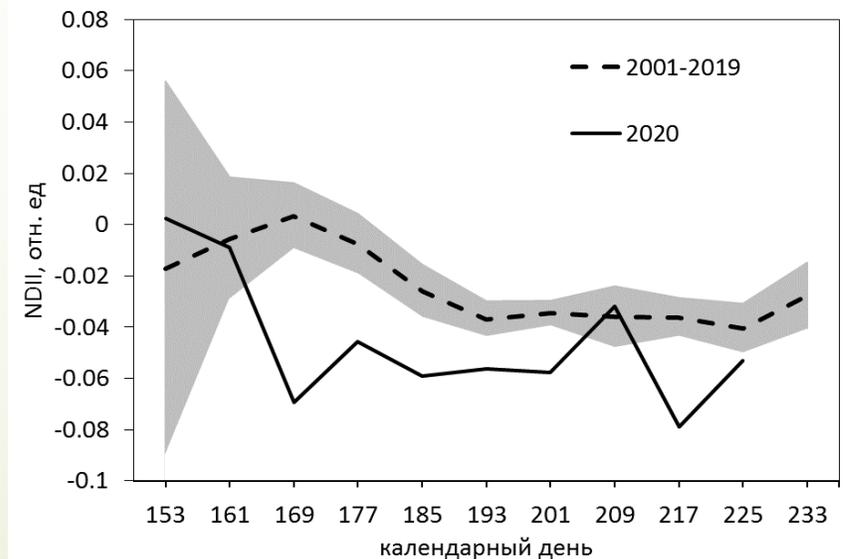
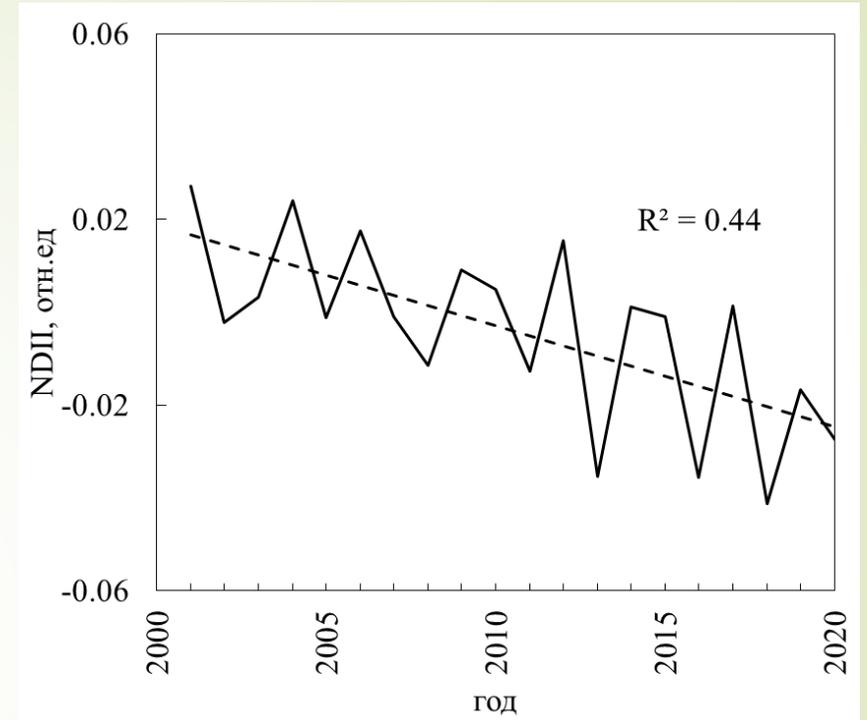


Дельта между медианными значениями NDII (июнь) в импактной и фоновой зонах. Тренд значим на уровне $p < 0,05$

Наблюдаемое снижение индекса NDII, связанное со снижением влагосодержания в растительном покрове импактной зоны по сравнению с фоновой, указывает на ухудшение условий влагообеспечения растительности в импактной зоне.

Дельта между NDII в импактной и фоновой зонах в 2020 г. (сплошная линия). Пунктир: дельта между NDII в импактной и фоновой зонах в базовый период (2001–2019 гг.). Доверительный интервал (95%) показан серым цветом

В год аварии наблюдается снижение индекса NDVII



Выводы по 3 задаче

- ▶ Анализ многолетней динамики значений индексов NDII растительного покрова в бассейнах рек Пясина и Амбарная выявил тренды преимущественного снижения влагосодержания в растительности.
- ▶ В импактной зоне наблюдалось более значительное снижение влагосодержания в растительном покрове по сравнению с фоновыми значениями в течение анализируемого периода (2001–2021 гг.).
- ▶ Минимальные величины влагосодержания в растительности наблюдались в июне, что указывает на вероятность возникновения водного стресса растений в начале периода вегетации.
- ▶ Полученные данные свидетельствуют о том, что на растительный покров воздействует также ухудшение водного режима в импактной зоне.

Заключение:

- Сгенерированы классификационные картосхемы основных типов растительного покрова в бассейнах рек Амбарная и Пясины по состоянию на 2019, 2020, 2021 и 2022 гг. Точность классификации 85–92%. Согласно данным картографирования, в бассейнах рек Пясины и Амбарная в течение анализируемого периода (2019–2021 гг.) наблюдались в целом относительно небольшие изменения площади наземных классов (в среднем менее 1% с максимальными значениями до 4%).
- На основе анализа многолетней динамики индексов NDII в бассейнах рек Пясины и Амбарная установлен многолетний тренд снижения влагосодержания в растительном покрове. При этом в импактной зоне снижение влагосодержания превышало фоновые значения. Минимум влагосодержания наблюдался в начале периода вегетации (июнь), что указывает на вероятность возникновения водного стресса растений в указанный период. Полученные данные свидетельствуют о том, что, наряду с негативным воздействием разлива нефтепродуктов на растительный покров, происходило ухудшение водного режима растений в импактной зоне.
- В последние десятилетия наблюдаются преимущественно возрастающие тренды продуктивности растительного покрова (первичной валовой и чистой, GPP и NPP) в бассейнах оз. Пясино и р. Амбарная. Возрастание продуктивности обусловлено климатическими изменениями.
- В импактной зоне в 2020 году выявлены аномально низкие величины вегетационных индексов EVI и NDVI, что указывает на ухудшение состояния растительного покрова в год возникновения техногенной катастрофы.

A photograph of the Aurora Borealis (Northern Lights) in a dark night sky. The aurora is a vibrant green, appearing as a large, glowing, vertical band of light. The sky is dark with many small, bright stars. In the foreground, the silhouettes of several trees are visible against the dark sky. The overall scene is serene and majestic.

Спасибо за внимание!