

Дистанционные исследования растительного покрова арктической зоны как индикатора климатических изменений

Елсаков В.В.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар,

E-mail: elsakov@ib.komisc.ru



АРКТИЧЕСКИЕ ПОЛЯРНЫЕ СТАНЦИИ РОССИИ

N=118

Закр. 55.1%
Исследов. 9,3%

ПЕРИОД ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

- Менее 25 лет
- 25 - 50 лет
- 50 - 75 лет
- 75 - 100 лет
- Более 100 лет

СТАТУС

- Действующие
- Закрытые

ТИП

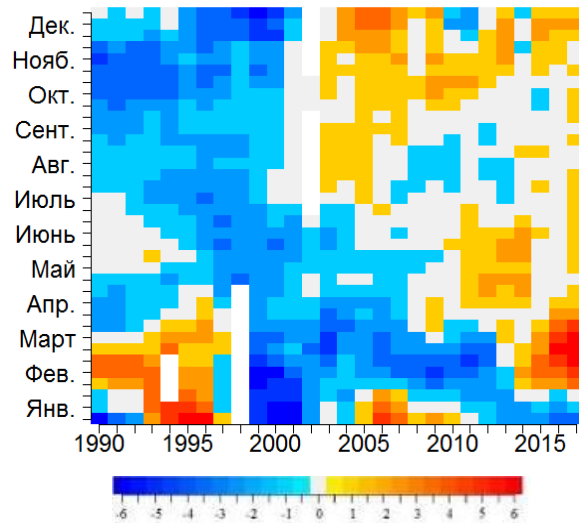
- Б - Биологическая
- И - Исследовательская



70 летний юбилей Арктического стационара ИЭРиЖ:
<https://rutube.ru/video/3867aed9834624bc0f3030853c5aec5f/>

Данные: ©<https://ru.wikipedia.org>
Оформление: ©<https://t.me/gisgoo>

температура, $\Delta^{\circ}\text{C}$



осадки, $\Delta\text{мм}$

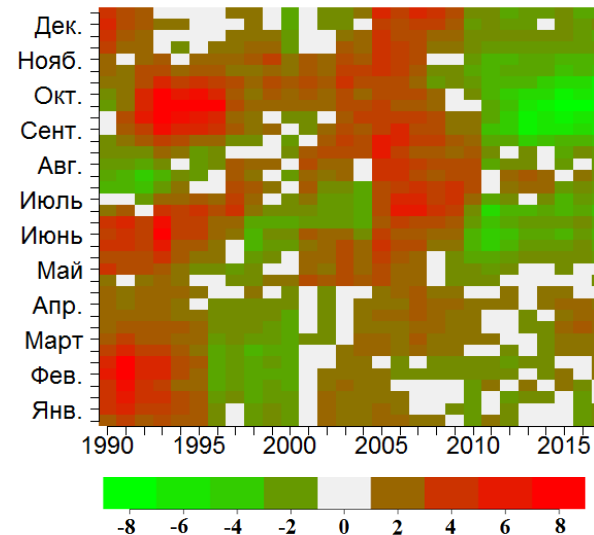
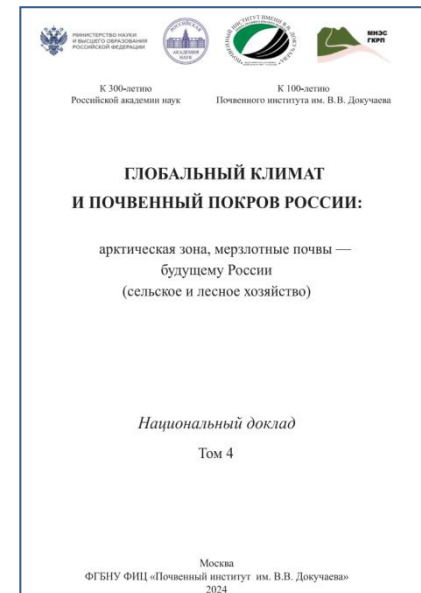
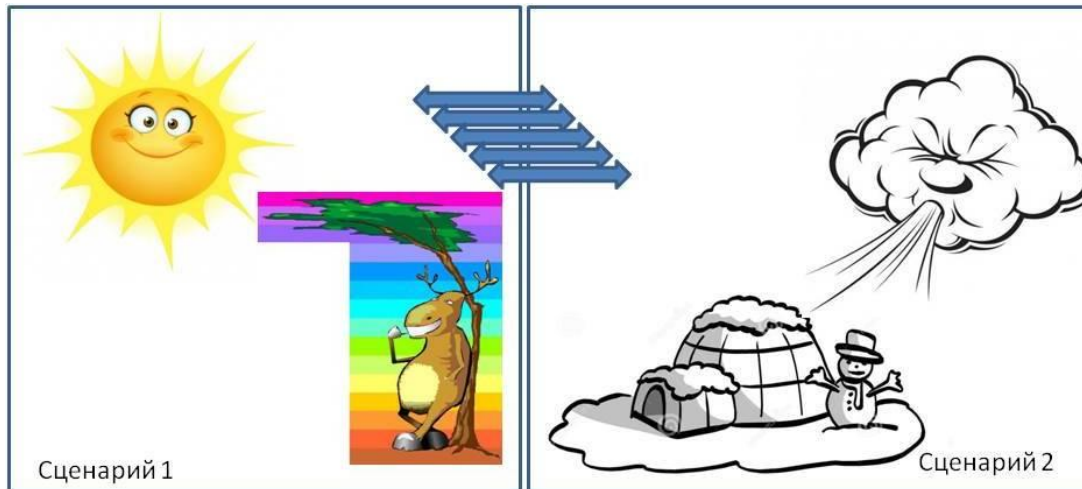
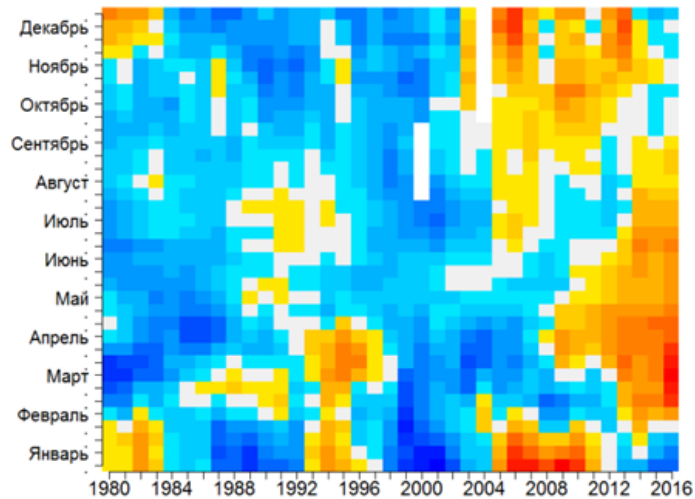
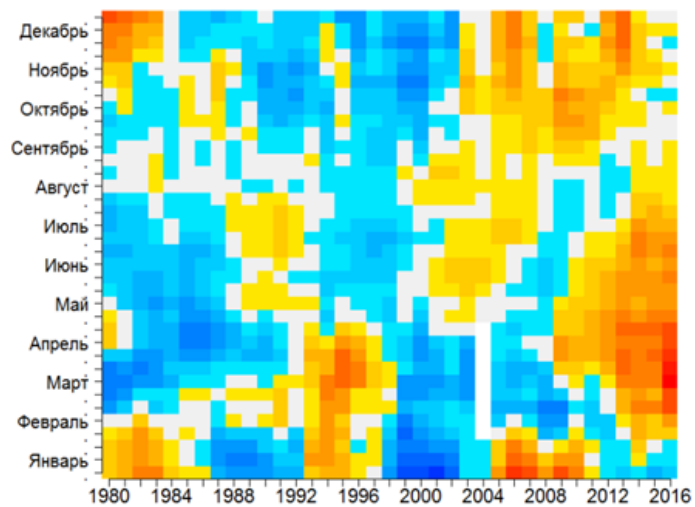


Рис. Двумерные диаграммы аномалий декадного хода приземной температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (А) и количества выпавших осадков, мм (Б) для метеостанции Индига за временной период 1990-2017 гг.





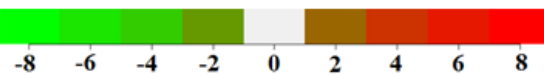
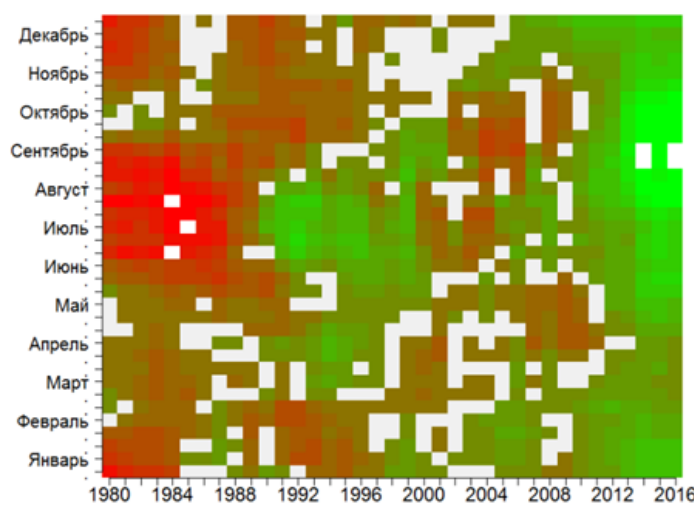
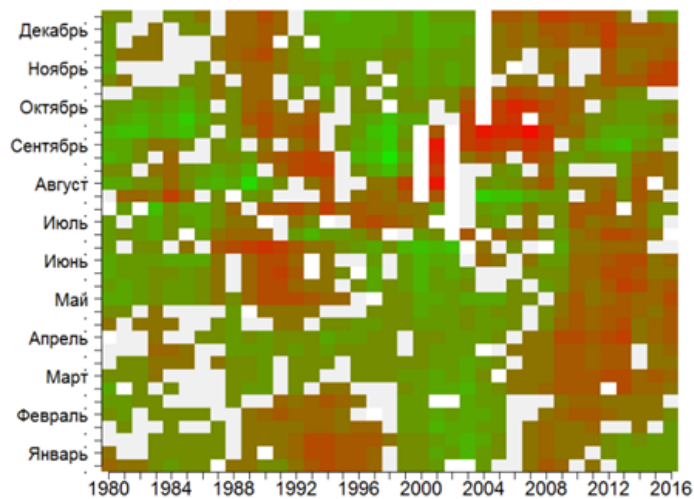
м. ст. Марресалья



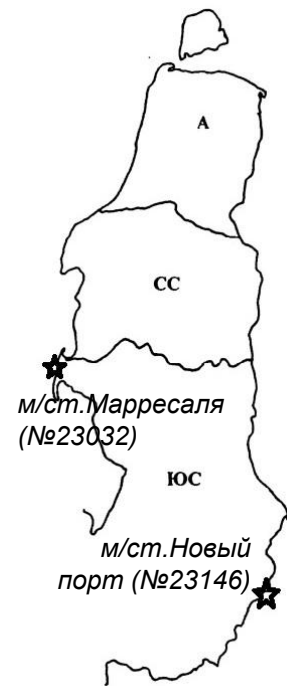
м. ст. Новый порт



А.



Б.

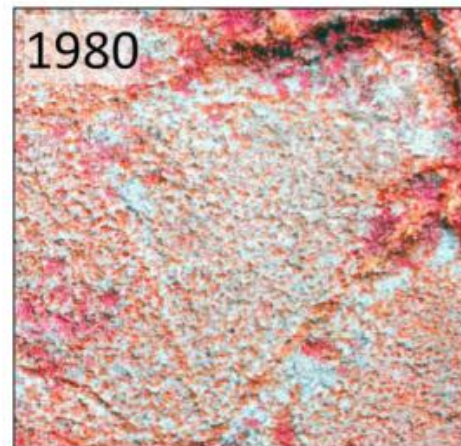
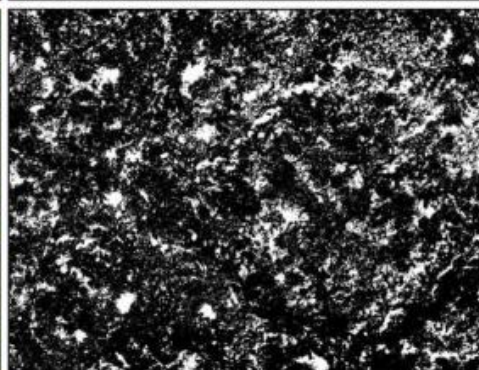
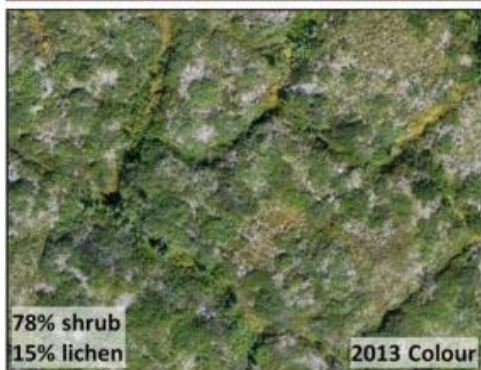
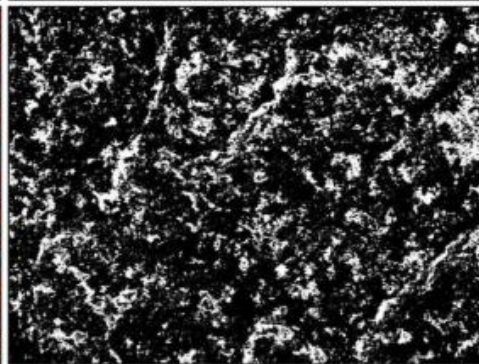
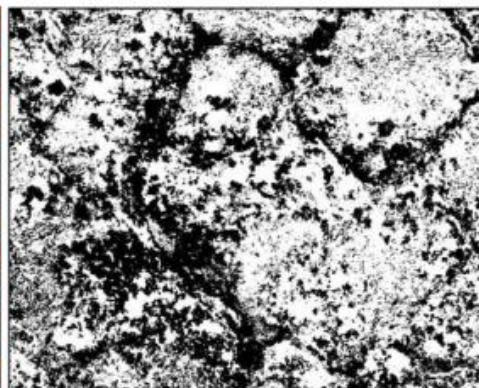
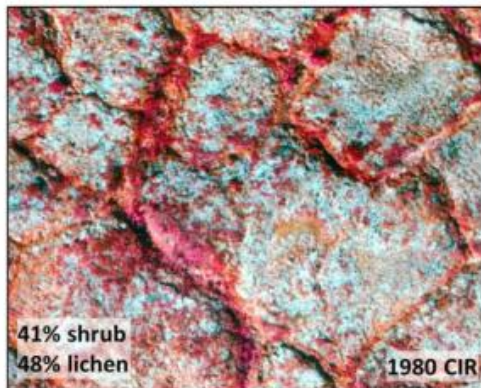


А - Арктические тундры;
 СС – Северные субарктические тундры
 ЮС – Южные субарктические тундры

Рис. Двумерные диаграммы аномалий декадного хода приземной температуры воздуха, °С (А) и количества выпавших осадков, мм (Б) для метеостанции Марресалья (№23032) и Новый порт (№23146) за временной период 1980-2017 гг. Средние показатели рассчитывали для периода 1980-2016 годы. Серым цветом отмечены пропуски значений.

Air Photo

Shrub Mask



Ecosystems
DOI: 10.1007/s10021-014-9783-3

ECOSYSTEMS

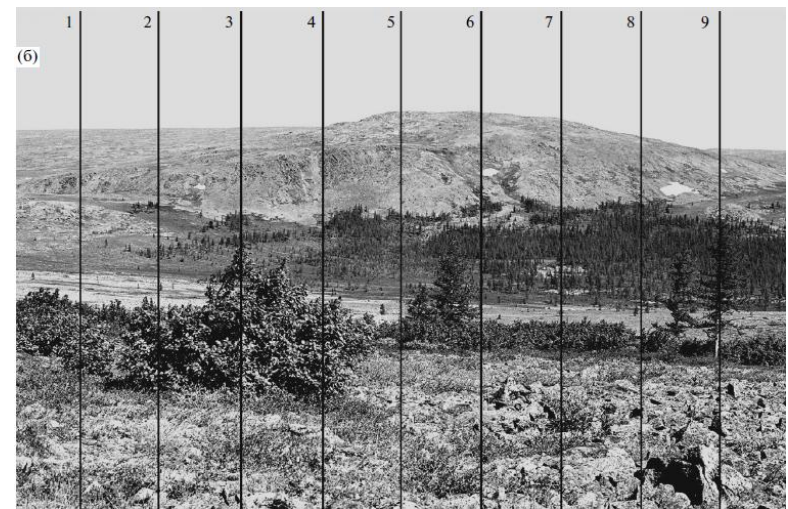
UKCrown: Natural Resources Canada; © Her Majesty the Queen in Right of Canada 2014

Warming-Induced Shrub Expansion and Lichen Decline in the Western Canadian Arctic

Robert H. Fraser,^{1*} Trevor C. Lantz,² Ian Olthof,¹ Steven V. Kokelj,³ and Richard A. Sims⁴

¹Canada Centre for Mapping and Earth Observation (CCMEO), Natural Resources Canada, 560 Rochester Street, Ottawa, Ontario K1S 5K2, Canada; ²School of Environmental Studies, University of Victoria, PO Box 1700, STN CSC, Victoria, British Columbia V8W 2Y2, Canada; ³Northwest Territories Geoscience Office, Government of the Northwest Territories, Yellowknife, Northwest Territories X1A 2L9, Canada; ⁴Tetra Tech EBA, Oceanic Plaza, 9th Floor, 1066 West Hastings Street, Vancouver, British Columbia V6E 3X2, Canada

Среди наиболее чувствительных индикаторов любых экосистемных перестроек Арктического региона являются, прежде всего, показатели состояния растительного покрова (видовой состав, структура, проективное покрытие, функциональная активность компонентов и др.), поскольку они отражают *интегральное воздействие* любых возмущающих факторов. Интегральная природа полученных оценок обусловлена подверженностью растительных сообществ как прямому, так и опосредованному влиянию любых природных и антропогенных воздействий.



Использование разновременных (повторных) ландшафтных фотоснимков (Фомин и др., 2015)*

Фомин В.В., Михайлович А.П., Шиятов С.Г. Новые подходы к изучению динамики высокогорной древесной растительности с использованием разновременных ландшафтных фотоснимков (на примере Полярного Урала) // Экология. 2015 № 5, с. 323–331.



Рис. Временные интервалы спутниковой съемки программы Lansat (<https://www.usgs.gov>, 2020)

Таблица. Характеристика сравниваемых съемок

Сенсоры:	Спектральные диапазоны, мкм	
	красный (Red)	ближний ИК (NIR)
Landsat 5 TM	0,63 - 0,69	0,76 - 0,90
Landsat 7 ETM+	0,63 - 0,69	0,77 - 0,90
Landsat 8 OLI	0,64- 0,67	0,85- 0,88

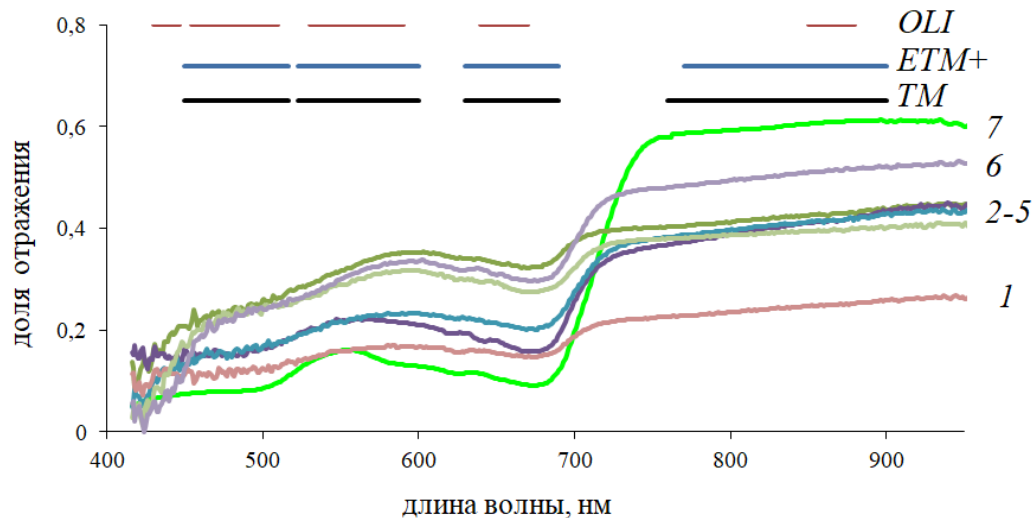
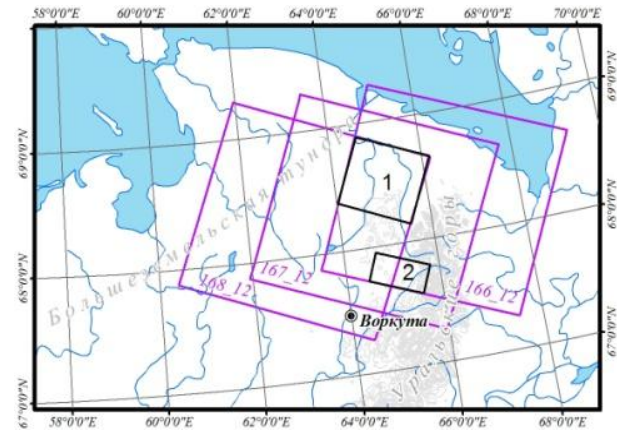
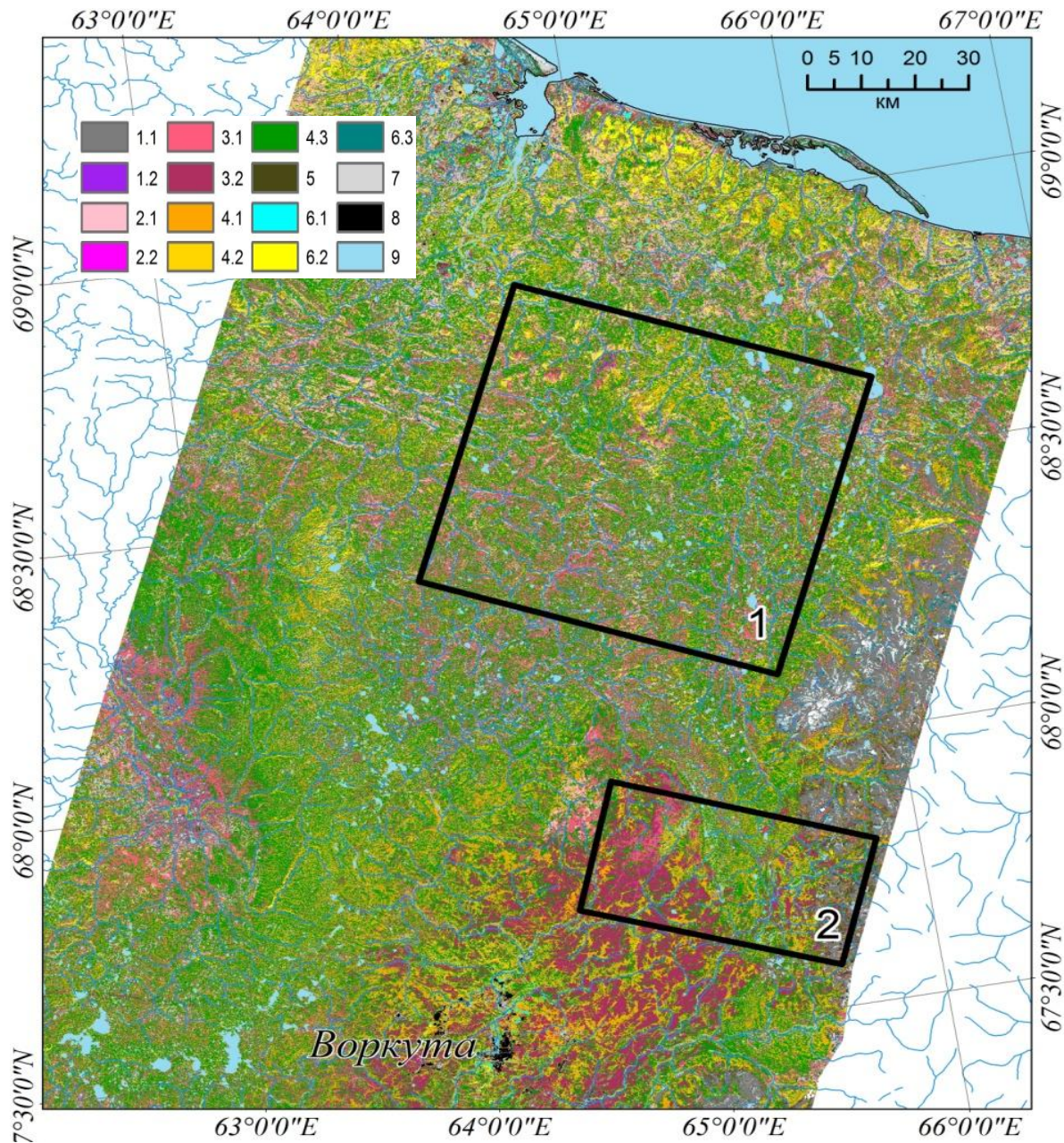


Рис. Отклонение величин КСЯ для хвои растительных сообществ участков работ при сопоставлении сравниваемых каналов сенсоров Landsat. Отмечены спектры: 1 – *Cladonia stellaris*, 2 – *Stereocaulon paschale*, 3 – *Cladonia arbuscula*, 4 – *Cladonia rangiferina*, 5 – *Flavocetraria nivalis*, 6 – талломы *Alectoria nigricans*, 7 – хвоя ели сибирской (*Piceae obovata*). Выделены спектральные диапазоны каналов Landsat



Отмечены классы:

1. Лишайниковые тундры

- 1.1. Разреженные кустарничково-лишайниковые сообщества с пятнами-медальонами
- 1.2. Кустарничково-лишайниковые сообщества

2. Моховые тундры

- 2.1. Осоково-моховые сообщества
- 2.2. Пушицево разнотравно-моховые

3. Ерники

- 3.1. Ерники травянистые
- 3.2. Ерники кустарничково-моховые
- 3.3. Смешанные кустарниковые тундры

4. Ивняки

- 4.1. Ивняки травянистые
- 4.2. Ивняки моховые
- 4.3. Разреженные ивняки с ерниками

5. Хасыреи

6. Болотные комплексы

- 6.1. Болота сфагновые
- 6.2. Осоково(травяно)-моховые болота
- 6.3. Осоковые болота (низинные)

7. Песчаные раздувы, пляжи, выходы коренных пород

- 8. Нарушения растительного покрова
- 9. Водные поверхности

Рис. 2. Расположение модельных участков (№№1 и 2) для выполнения сравнений на тематической карте растительности (А), контура перекрытий сцен Landsat (166-168_12) (Б)

Таблица. Материалы сравниваемых съемок Landsat TM/ETM+/OLI

	УЧАСТОК 1	УЧАСТОК 2
Площадь, S тыс.га	435.7	134.9
Landsat 5 TM	18.07.2010 168/12	24.07.2009 167/12
Landsat 7 ETM+	19.07.2010 167/12 26.08.2018 167/12	25.07.2009 166/12 23.07.2020 166/12
Landsat 8 OLI	27.08.2018 166/12	22.07.2020 167/12

Сходство спектральных величин для (исключали классы, лишенные растительного покрова) каналов RED, NIR и индекса NDVI на сценах сенсоров TM, ETM+ и OLI рассчитывали относительно сенсора 7ETM+ с использованием критерия относительной процентной разницы (*relative percentage difference*, RPD) (Huang et al., 2013):

$$RPD = \frac{\rho_i - \rho_{L7ETM+}}{\rho_{L7ETM+}} * 100\%$$

где ρ_i и ρ_{L7ETM+} , соответствующие значения для отдельных каналов сравниваемых спутниковых изображений сенсора i и ETM+.

Для подтверждения отсутствия или наличия межгодовых изменений в растительном покрове (по индексу NDVI) готовили временные ряды эталонных (т.к. с ними проводится сопоставление других сенсоров) изображений ETM+ для периода сравниваемых лет (2009-2019 гг.) сезона максимального развития растительного покрова (первая декада августа: 01.08.2009; 08.08.2014; 04.08.2016; 13.08.2019; 23.07.2020).

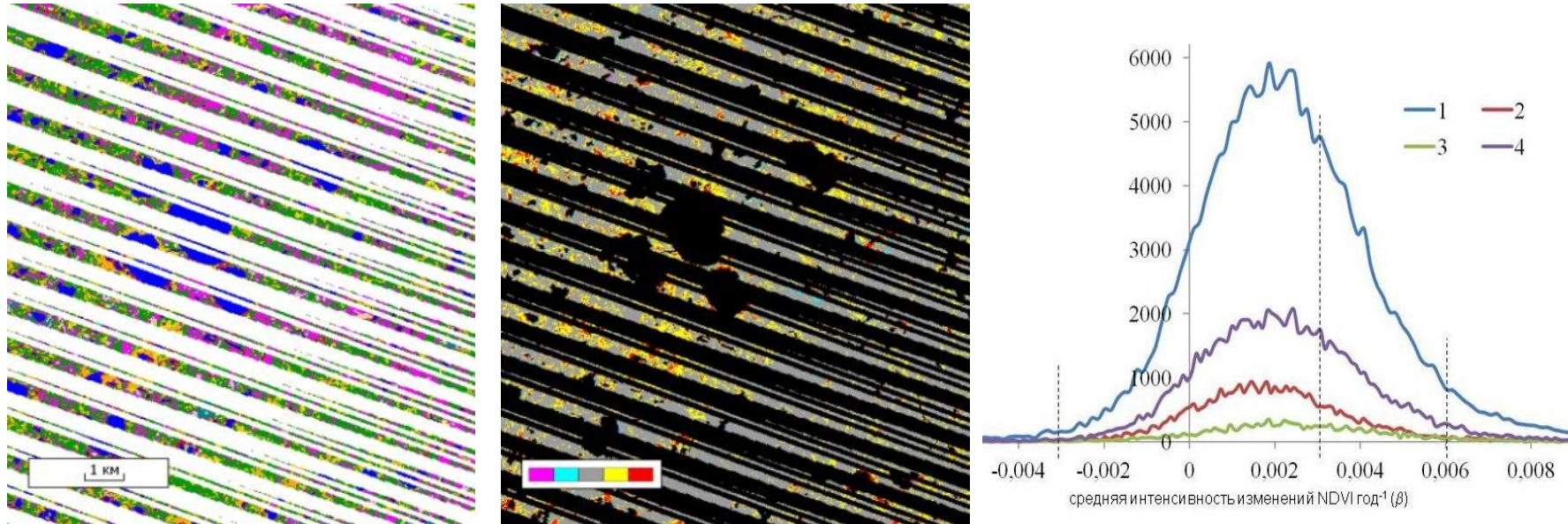


Рис. Фрагмент карты растительного покрова участка 2 с нанесенной маской искажений (А). Тренд показателя средней интенсивности изменений NDVI год⁻¹ (β) по набору снимков ETM+ для 2009-2020 гг., цветовая градация соответствует (Goetz et al., 2005) (Б). Гистограммы распределения показателя β , ось ординат – количество пикселей в классе (В). график включает все пиксели модельного участка (исключая водные объекты) (1) и доминирующие фитоценозы: травянистые ерники (2), ивняки (3) и смешанные кустарниковые сообщества (4). Диапазоны показателя отмечены пунктиром.

В качестве меры **интенсивности и направленности изменений** показателя индекса NDVI_{MAX} за указанные интервалы времени рассчитывали коэффициент линейного тренда, определенный по методу наименьших квадратов и характеризующий среднюю скорость изменений переменной за рассматриваемые периоды наблюдений (β) (средняя интенсивность изменения NDVI год⁻¹). Показатель β был дифференцирован в соответствии с Goetz et al. (2005) в градациях значений: высокие отрицательные изменения ($\beta \leq -0,006$), низкие отрицательные изменения ($-0,006 < \beta \leq -0,003$), несущественные изменения ($-0,003 < \beta \leq 0,003$), слабые положительные ($0,003 < \beta \leq 0,006$) и высокие положительные ($0,006 < \beta$) изменения, отмеченные за год.

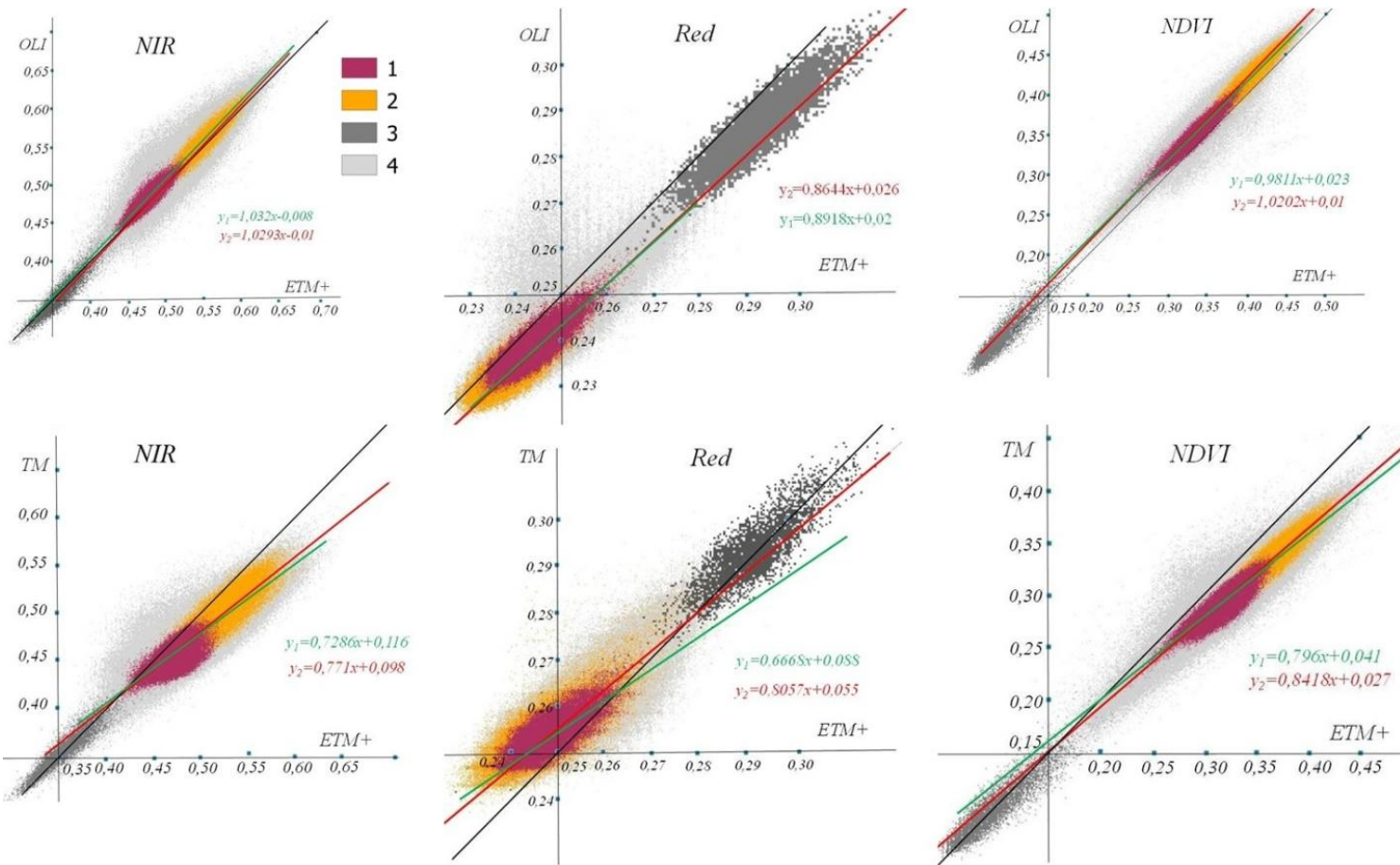


Рис. Значение каналов различных сенсоров для отдельных доминирующих классов растительности по второму участку. Цифрами отмечены растительные сообщества: 1 – ерниковые тундры; 2 – извянки; 3 – лишайниковые тундры и выходы горных пород; 4 – остальные классы. Отмечены следующие прямые зависимости: диагональная линия ($y=x$) (черный); по доминирующим классам кустарниковых тундр (зеленый); по всем классам с исключением водных поверхностей (красный)

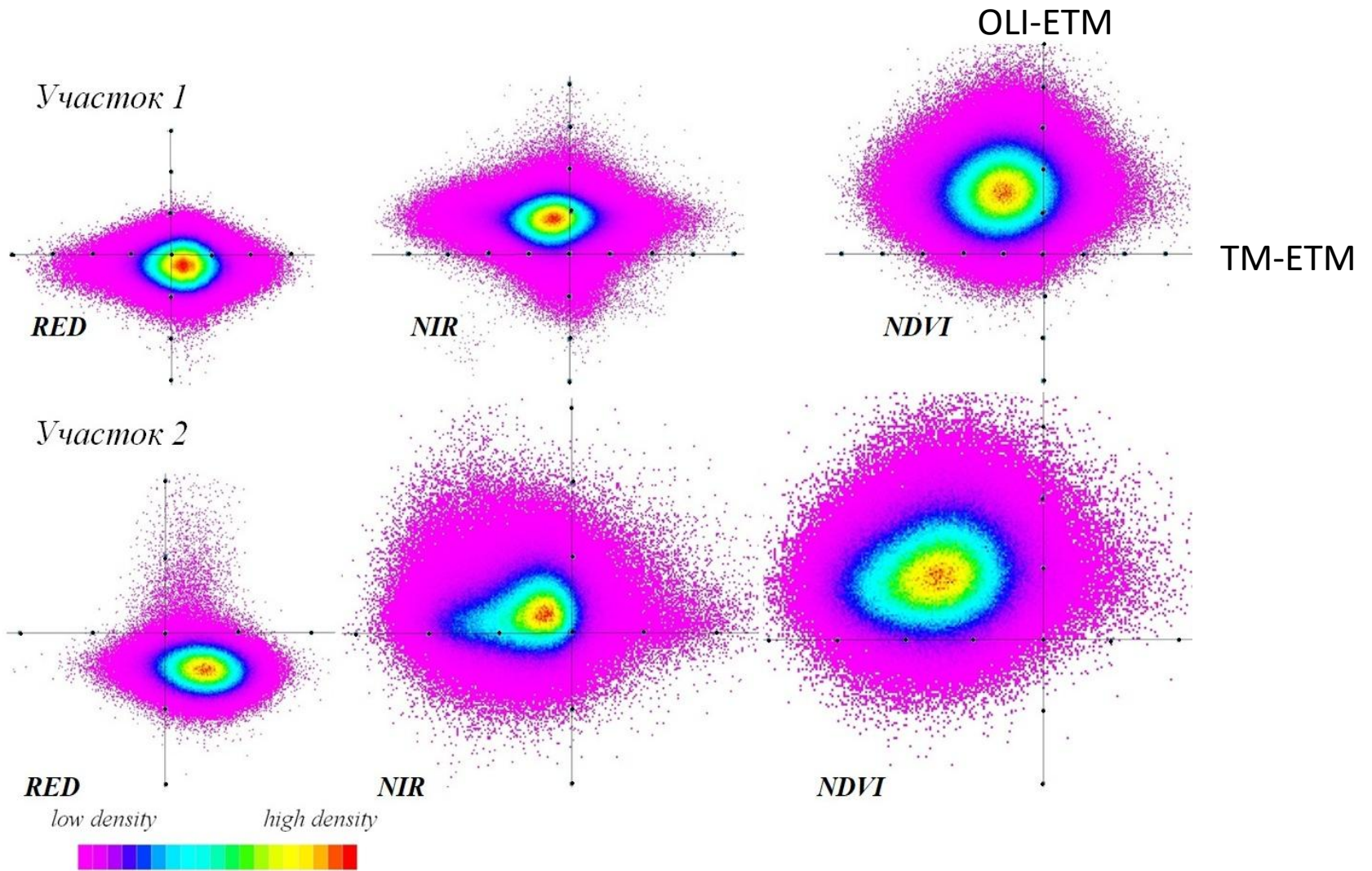


Рис. Сравнение величин относительной процентной разницы (RPD, %) для каналов RED, NIR и индекса NDVI по парам сравнения TM-ETM+ (оси абсцисс) и OLI-ETM+ (оси ординат) для участков 1 (18-19.07.2010 и 26-27.08.2018) и 2 (24-25.07.2010 и 22-23.07.2020). Интервалы для маркеров величин составляют 5%. Положительные значения – превышения показателей над ETM+, отрицательные – более низкие значения

Сравнение средних по снимку величин *RPD* разных сенсоров позволяет установить смещения по сценам. Для количественной оценки использованы значения мод, рассчитанные по показателям всех классов растительного покрова:

для канала RED:

$OLI < ETM+$ (в среднем на 2,3%); $ETM+ < TM$ (2,6%) $\Rightarrow OLI << TM$ (суммарно на 4,9%)

для канала NIR:

$OLI > ETM+$ (1,7%); $ETM+ > TM$ (1,9%) $\Rightarrow OLI >> TM$ (суммарно на 3,6%)

для NDVI:

$OLI > ETM+$ (4,5%); $ETM+ > TM$ (7,4%) $\Rightarrow OLI >> TM$ (суммарно на 11,9%).

По данным В.Н Андреева (1978) межгодовые изменения общего запаса надземной фитомассы в сообществах субарктической тундры (на примере Нижнеколымского стационара) не превышают 7-8% от среднего уровня, что приближается или близко к величинам средних отклонений для сравниваемых пар сенсоров.

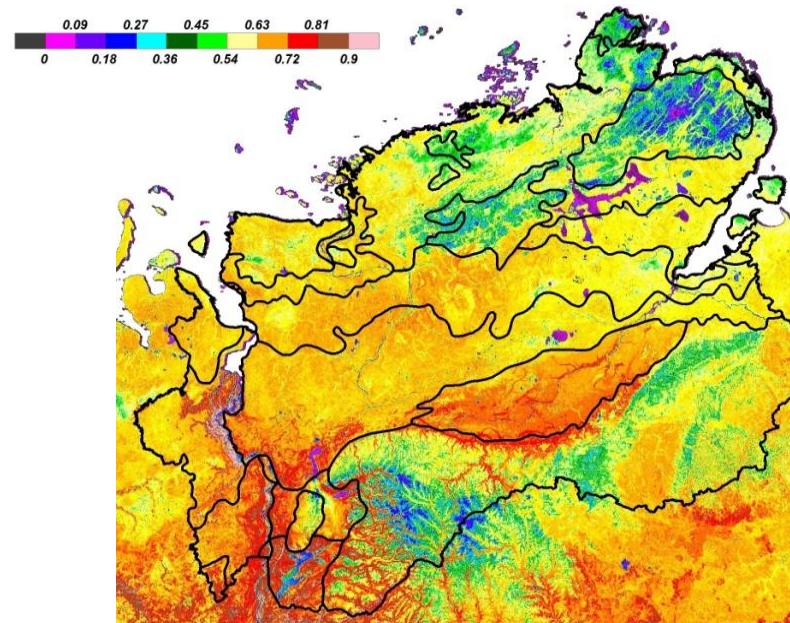
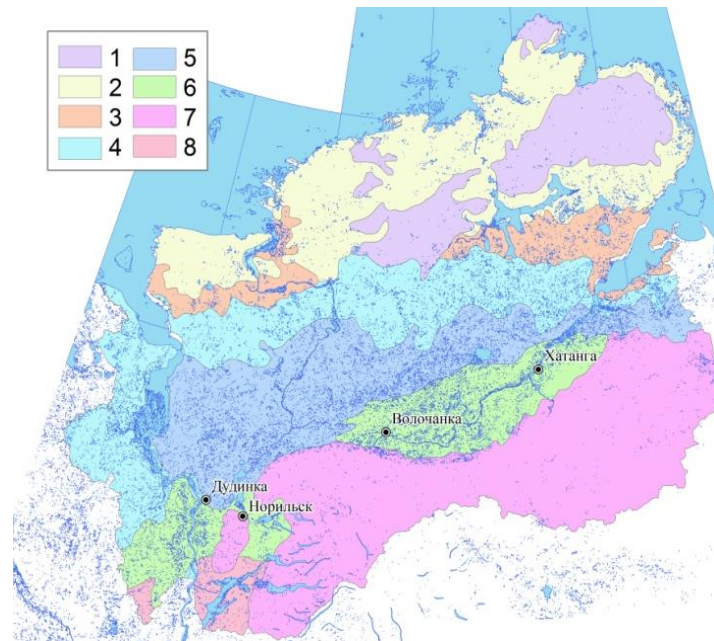


Рис. Геоботаническое районирование растительности Таймыра (по: Щелкунова, 1976, в Рациональное..., 1979) 1 - зона полярных пустынь, 2 - подзона арктических тундр, 3 - подзона северных субарктических тундр, 4 - подзона средних субарктических тундр, 5 - подзона южных субарктических тундр, 6 - подзона крайне северных редкостойных лиственных лесов, 7 – пояс горных тундр, горных лесов и редколесий, 8 – подзона северотаежных лиственных лесов. (А.). И распределение максимальных годовых значений NDVI по данным съемки MODIS (усреднены по максимальным для сезонов наблюдений 2000-2016 гг. величинам).

Связь между усредненными для отдельных ботанико-географических зон показателями NDVI спутниковых изображений и величинами, полученными методом укусов, наиболее полно ($r^2 = 0,998$, $p < 0.001$) описывает зависимость, представленная в виде экспоненциальной функции вида:

$$y = 0,0199e^{8,73x} \quad (1),$$

где x рассчитанные по спутниковым изображениям величины NDVI.



Раиса Павловна Щелкунова (12.03.1927-2009) – доктор биологических наук, геоботаник, сотрудник землеустроительных партий Росгипрозема, проводила исследования в различных регионах Севера: Камчатки, Якутии, Таймыра. С 1971 г. Раиса Павловна старший научный сотрудник НИИ СХ Крайнего Севера (г. Норильск), с 1985 руководила лабораторией по изучению растительного покрова оленьих пастбищ при отделе оленеводства. Создатель региональных карт растительного покрова и запасов кормовых растений пастбищ северного оленя Якутии и Таймыра. В своих исследованиях использовала аэро- спутниковые методы для картографирования. Более подробно биография и основные публикации Р.П. Щелкуновой представлены А.Д. Мухачевым (2012).

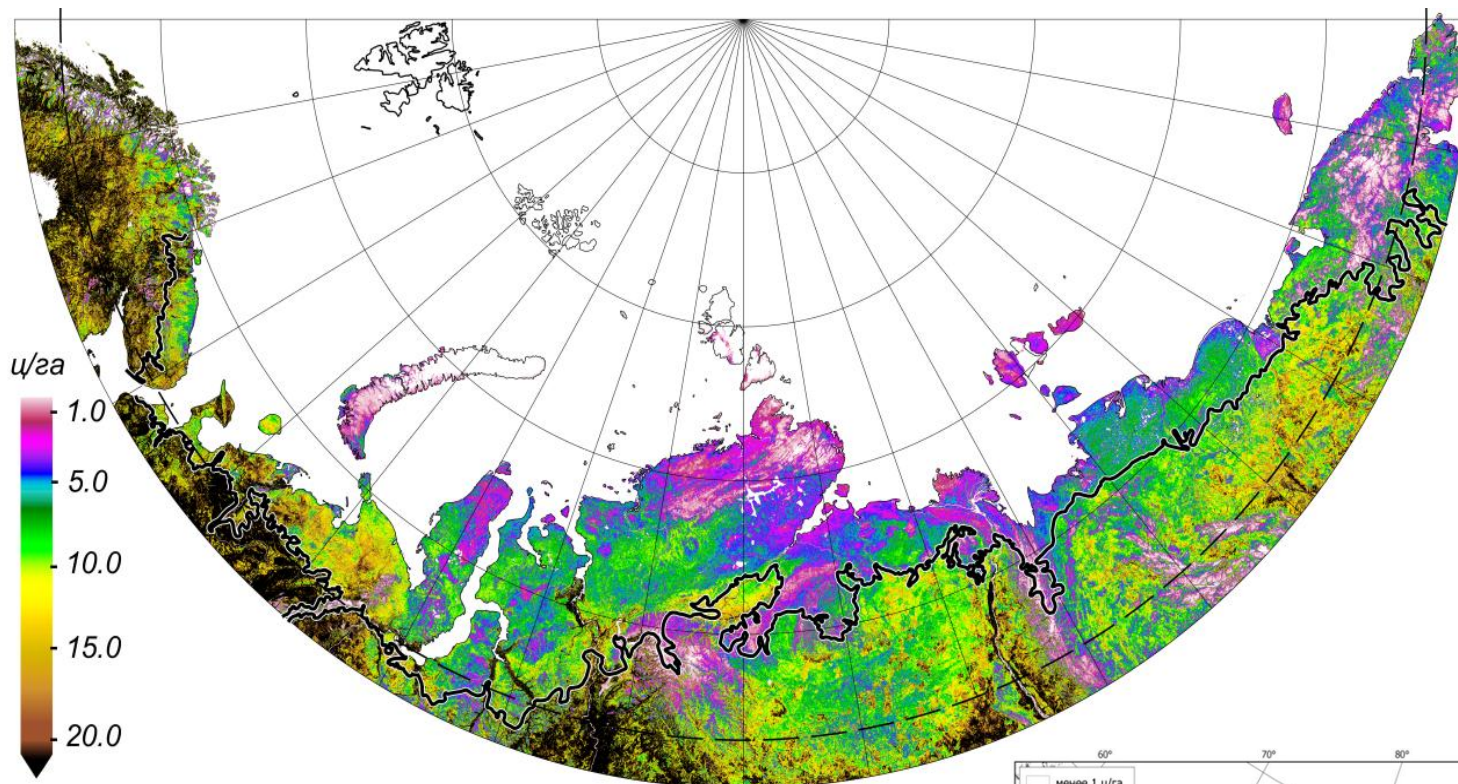


Рис. Распределение валового запаса зеленых кормов на пастбищах северного оленя (ц/га). Обработка многолетних данных MODIS. Линией отмечена граница леса

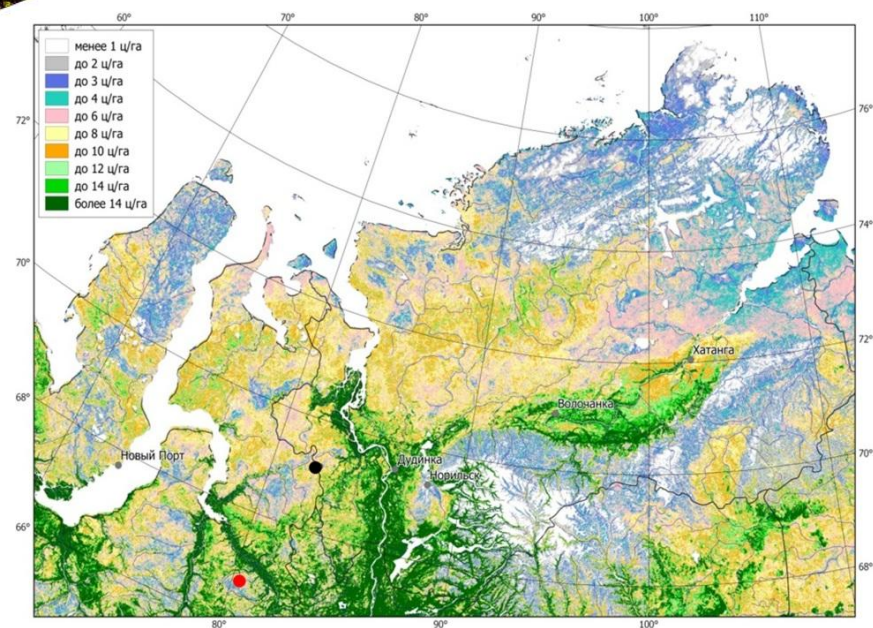
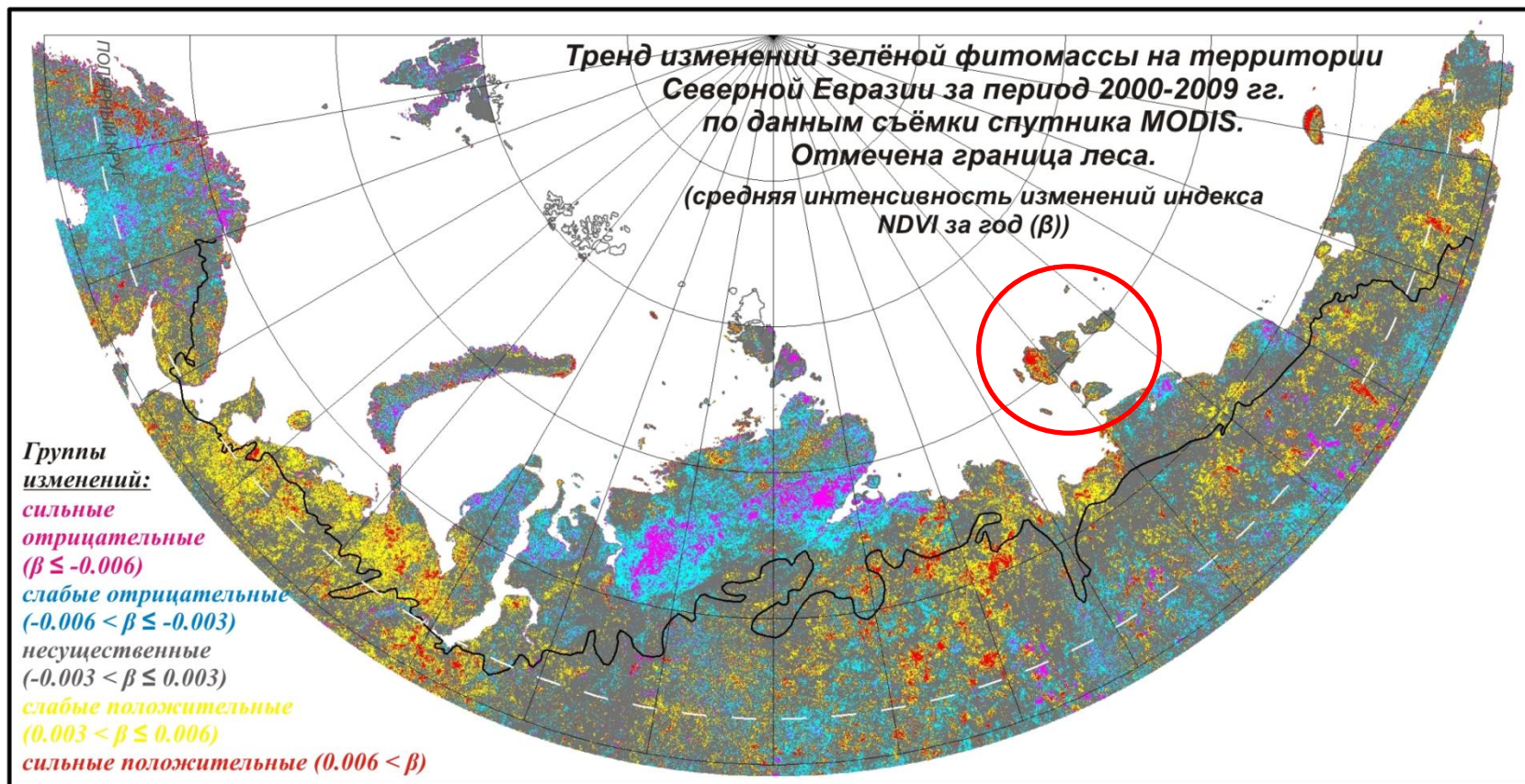
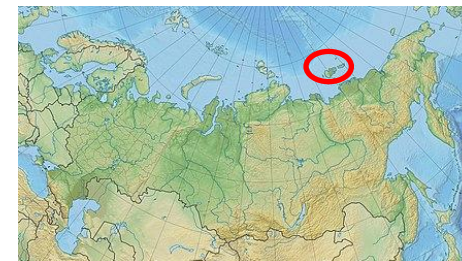
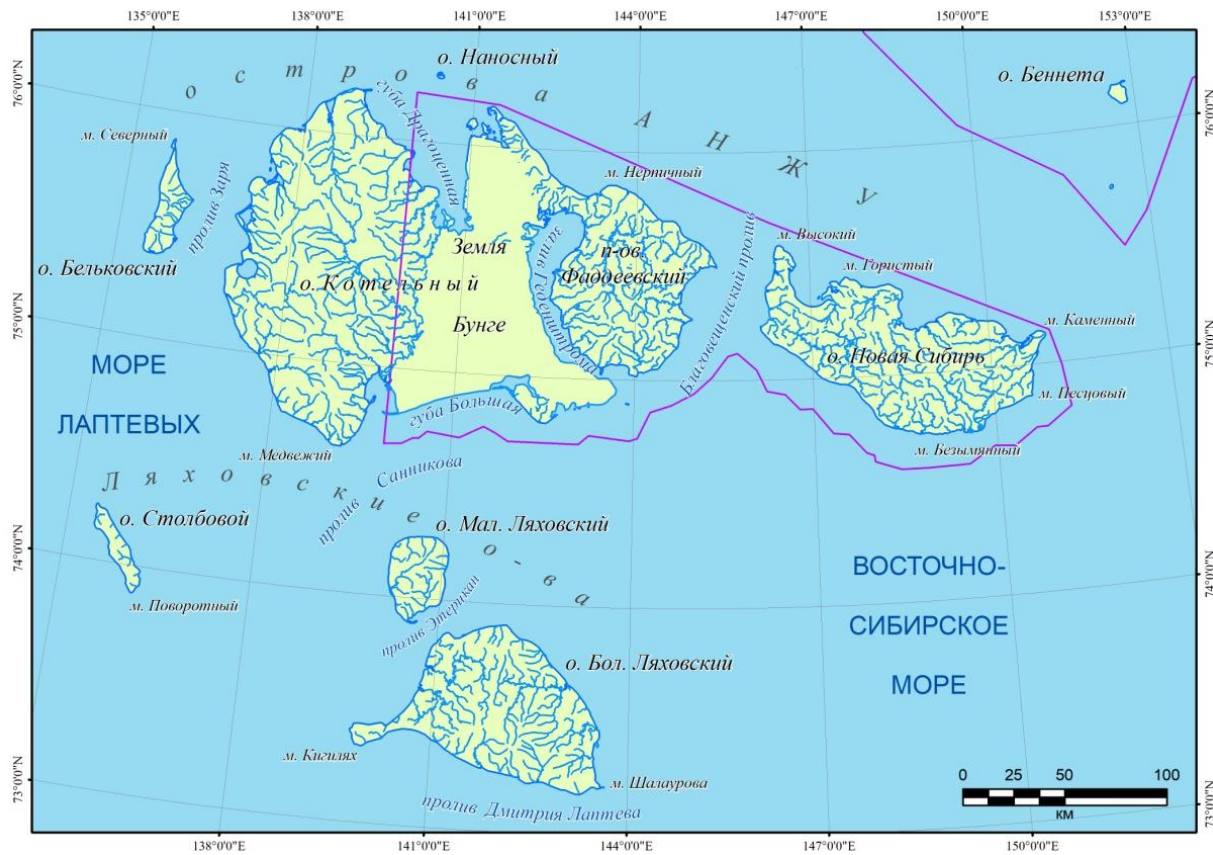


Рис. Распределение запасов зеленой кормовой фитомассы (ц/га) на пастбищах Западной Сибири и Таймыра

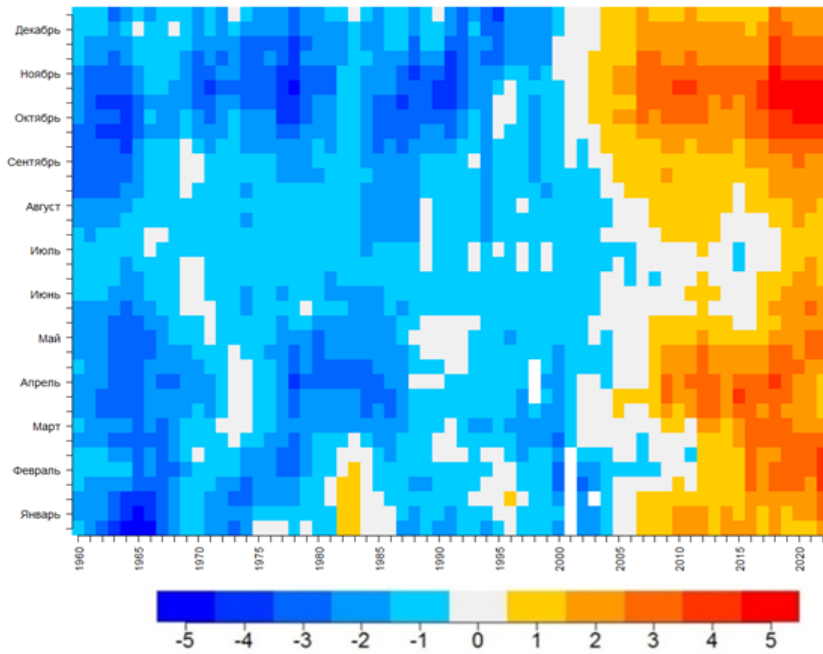


Елсаков В.В. Пространственная и межгодовая неоднородность изменений растительного покрова тундровой зоны Евразии по материалам съёмки MODIS 2000-2016 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. №6. С. 56-72.

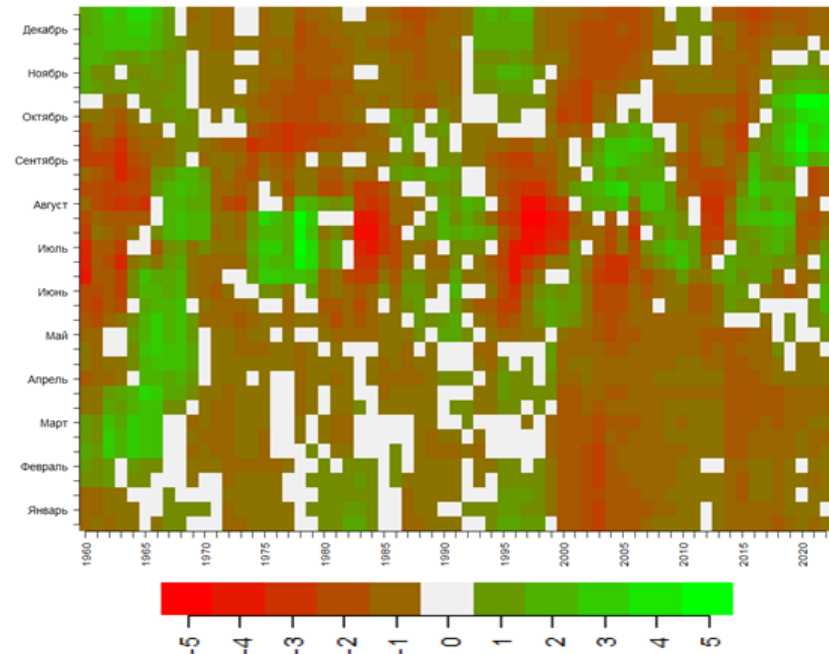


Расположение островов архипелага «Новосибирские острова», отмечена граница Государственного природного заказника федерального значения «Новосибирские острова» (распоряжение Правительства РФ от 02.03.2018 г. №352-р.).

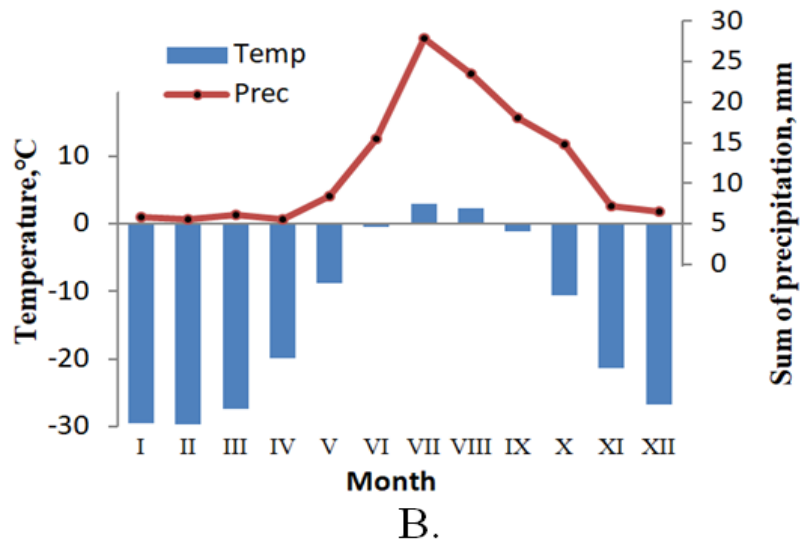
Бол. Ляховский - зона арктических тундр, о-в Новая Сибирь - зона высокоарктических тундр и полярных пустынь



А.



Б.



В.

Рис. Отклонения средних декадных температур приземной температуры воздуха, °С (А) и осадков, мм (Б) от средних многолетних показателей периода 1960-2022 гг (В) по данным наблюдений м/ст. «Остров Котельный».

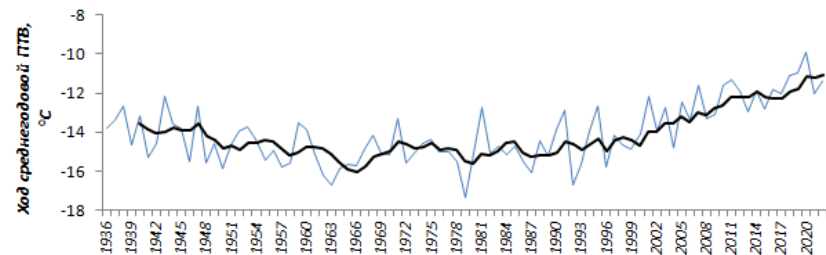


Рис. 3. Ход среднегодовых температур ПТВ (°С) по данным наблюдений м/ст. «Остров Котельный». Черным цветом показаны скользящее среднее 5 лет.

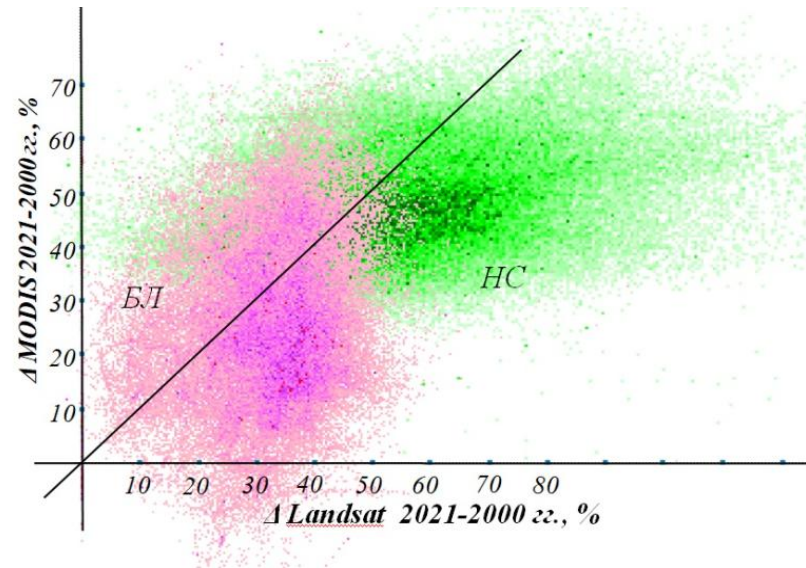
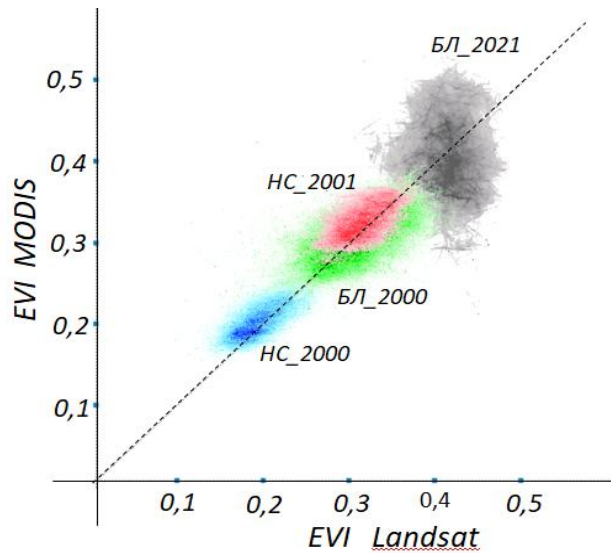
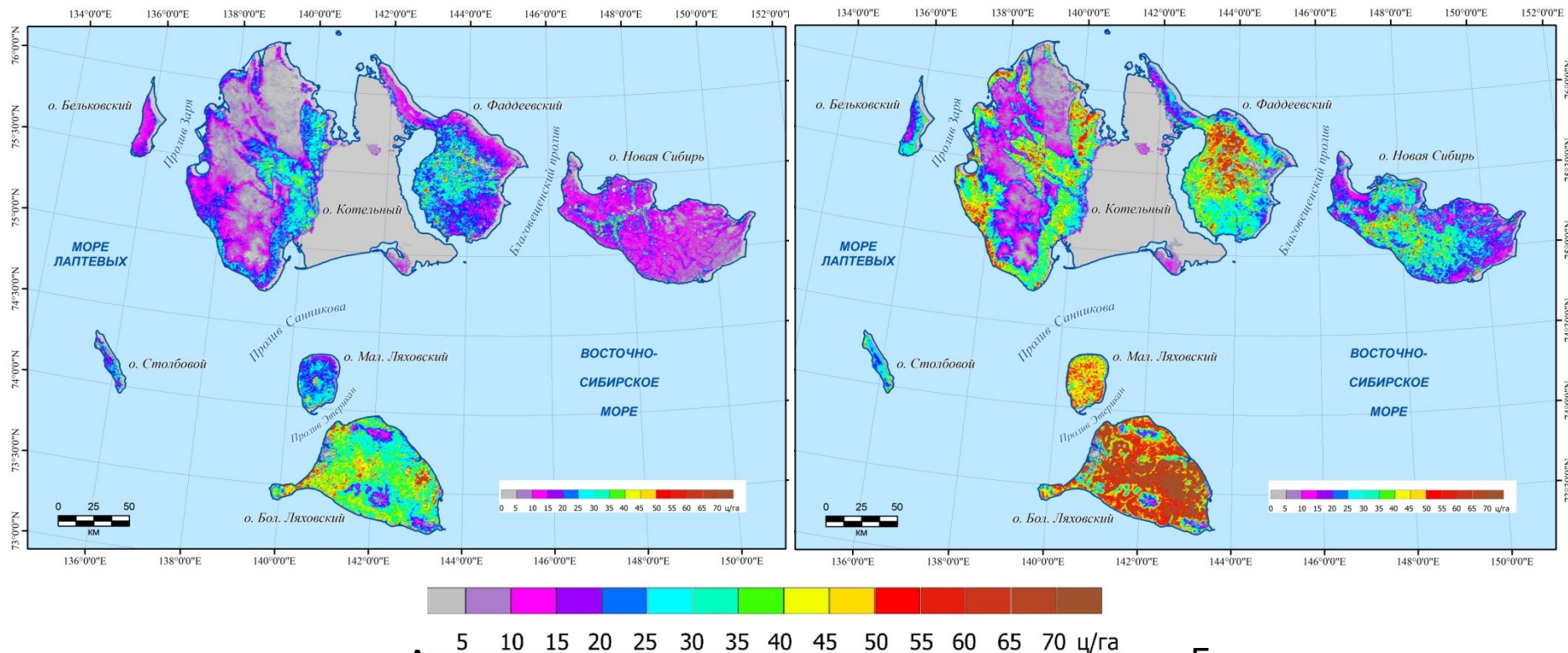


Рис. Сходимость величин EVI сравниваемых пар MODIS и Landsat (ETM+ и OLI) для о-ва Новая Сибирь (НС) и о-ва Бол. Ляховский (БЛ) в 2000 и 2021 гг. (А). Величины относительных изменений (в % к 2000 г.) индекса EVI фитоценозов о-ва Новая Сибирь и о-ва Бол. Ляховский по съемкам MODIS и Landsat 2000 и 2021 гг. (Б).



А.

Б.

Распределение зелёной фитомассы (ц/га) для 2000 (А) и 2021 гг. (Б)

Средний запас фитомассы на территории Новосибирских островов оценен в 5,38 т/га, из них лишь 1,38 т/га (25,7%) приходится на зелёные части (Базилевич, 1993).

Средний вес злаков на приморском разнотравно-злаковом луге, сообществ с максимальным запасом травянистых растений, составил 5,05 ц/га (Николин, 2017). Надземная воздушно-сухая фитомасса злаков и осок в среднеувлажненных и заболоченных тундровых лугах составляет 1,34–0,845 ц/га, разнотравья – 8,5–12,9, кустарничков – 0,11–3,48, зеленых мхов – 17,94–73,0 ц/га (Сафронов, 2021). Масса кормовых растений в мелкобугорковатых тундрах с.-в. части о-ва Большой Ляховский (Николин, 2017) не превышает 8,68 ц/га, в сообществах отличающихся высокими показателями фитомассы основная часть (до 70-90%) приходится на долю мхов.

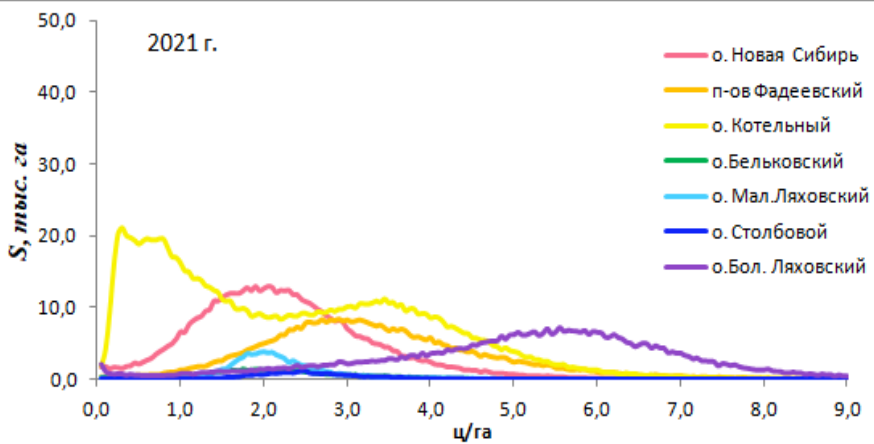
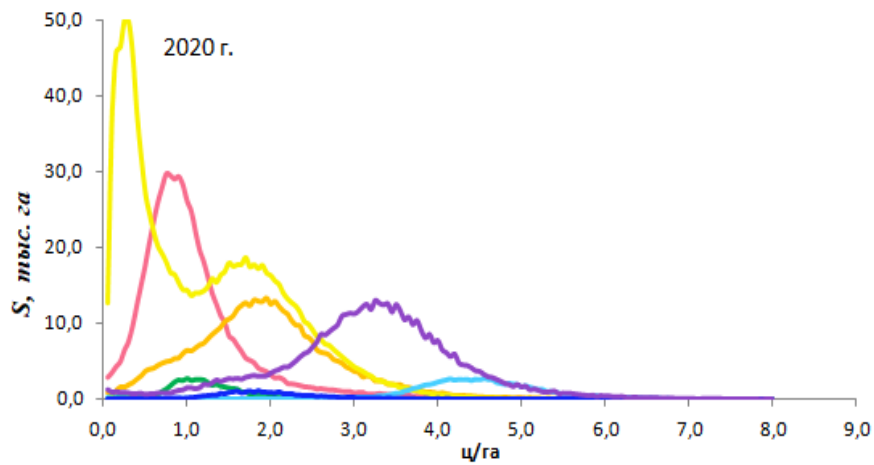
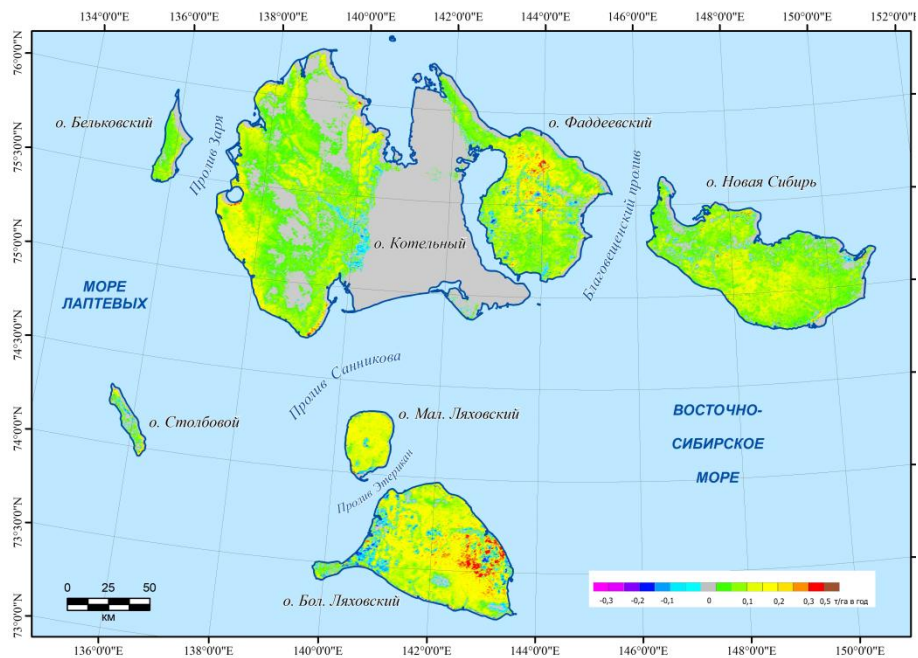


Рис. Распределение запасов зеленой фитомассы на островах Новосибирского архипелага (по съемке MODIS 2000 и 2021 гг.)

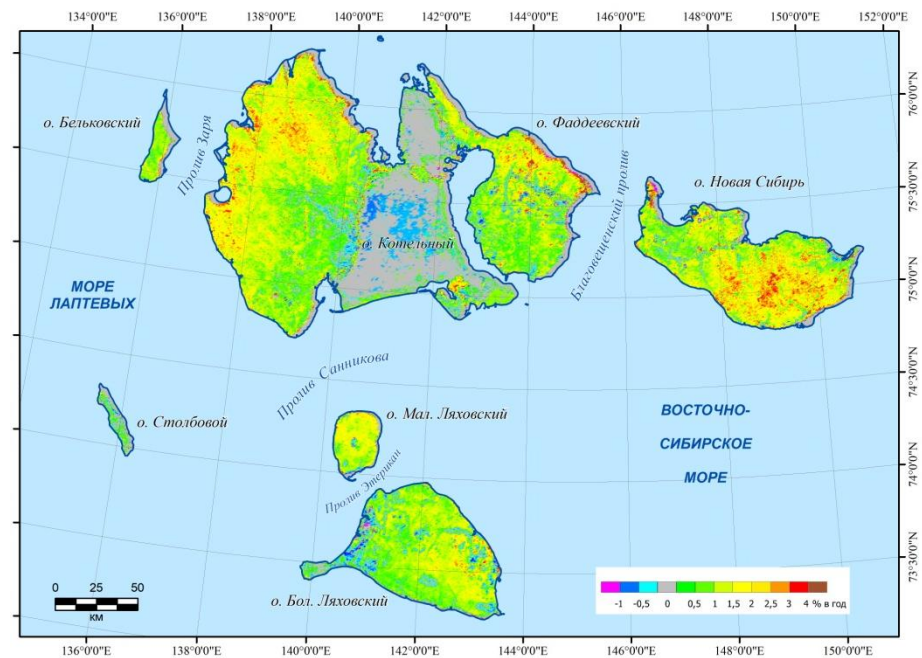
Для периода наблюдений 2000-2021 гг. отмечен рост продуктивности сообществ, что приводит к смещению показателей запаса в области более высоких значений на всех островах. Максимальные величины запаса зеленых растений наблюдали для сообществ наиболее южного о-ва Бол. Ляховский: для периода наблюдений средние показатели запаса (в среднем по острову) выросли от 3,21 до 5,22 ц/га. Суммарный рост запаса зеленых кормов вырос на острове на 62%. О-в Новая Сибирь характеризовался наиболее низкими величинами запаса. Рост средних показателей запаса на территории составил от 1,1 до 2,26 ц/га.

Таблица. Суммарные величины запасов зелёной фитомассы на островах архипелага

	S, тыс га	Запас зелёной фитомассы, тыс. т			Средний запас, ц/га		
		2000 г.	2021 г.	Δ, %	2000 г.	2021 г.	2020/2021
о. Новая Сибирь	614,1	67,4	139,0	206,2	1,10	2,26	2,06
п-ов Фадеевский	528,3	96,6	166,3	172,2	1,83	3,15	1,72
о. Котельный	1333,6	139,3	263,2	188,9	1,04	1,97	1,89
о. Бельковский	49,2	6,1	11,2	183,1	1,24	2,27	1,83
о. Мал. Ляховский	87,2	19,2	38,8	200,0	2,21	4,41	2,00
о. Столбовой	25,8	5,2	6,4	123,1	2,03	2,50	1,23
о. Бол. Ляховский	524,2	168,3	273,4	162,5	3,21	5,22	1,62



А



Б

Интенсивность изменений запасов фитомассы для периода 2000-2021 гг.:

А - К-тренда т/га год⁻¹;

Б - % в год по отношению к 2000 г.

Участки интенсивных изменений характеризуются значительным ростом продуктивности за счёт формирования высокопродуктивных осоково-злаковых фитоценозов на лессовых байджараках (Левыкин и др., 2013).

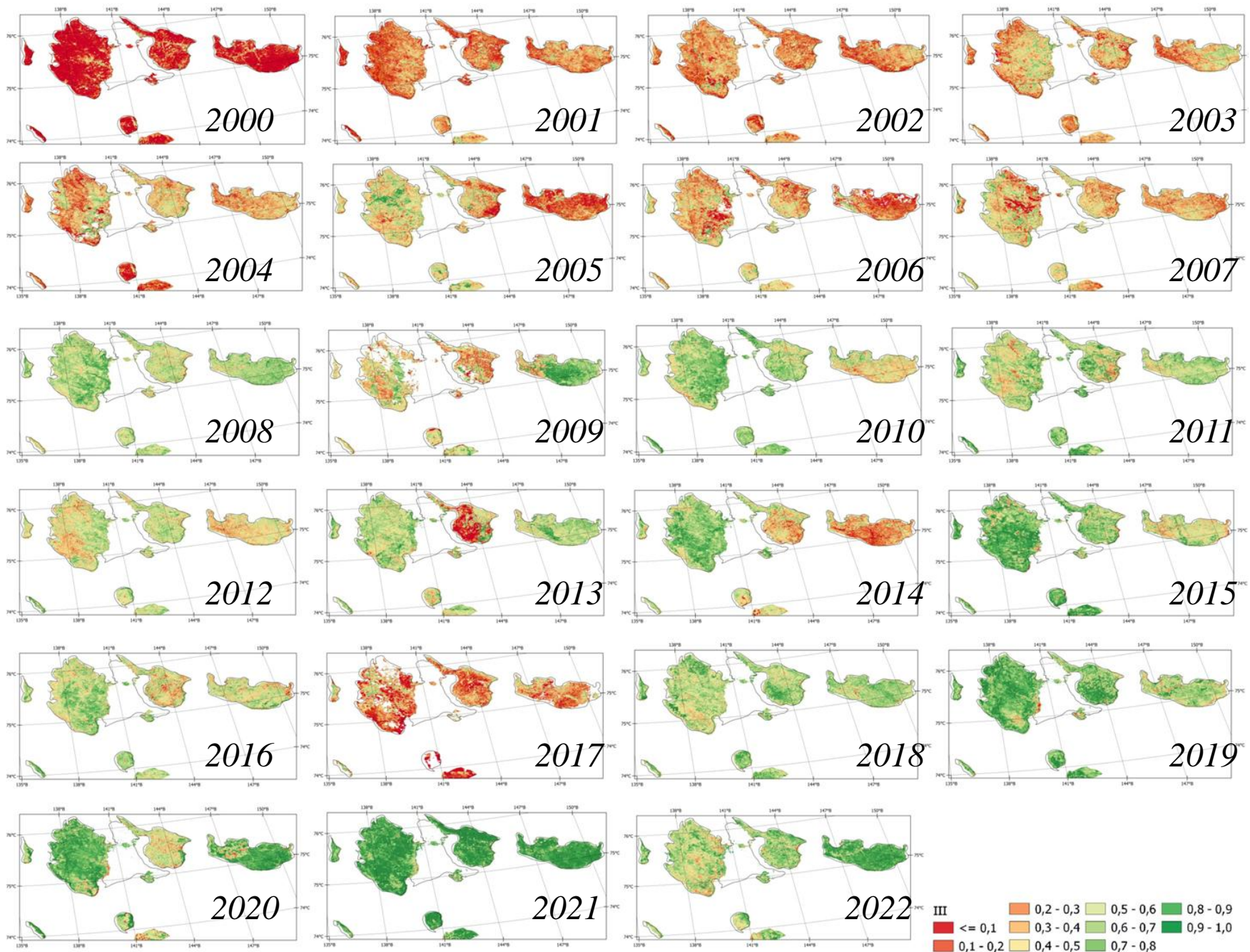
Анализ межгодового хода EVI

Для анализа многолетней изменчивости состояния растительности использовался индекс IVCI (*англ.* Integral Vegetation Condition Index — интегральный индекс условий вегетации), аналог индекса VCI (Liu, Kogan, 1996) с заменой сезонных значений одного вегетационного сезона на годовые:

$$IVCI_i = (EVI_i - EVI_{\min}) / (EVI_{\max} - EVI_{\min}) \quad (1),$$

где EVI_i — значение EVI в текущем году; EVI_{\min} , EVI_{\max} — минимальное и максимальное значения за весь период исследований.

Значения IVCI до 0,3 свидетельствуют о стрессовом состоянии растительности, от 0,3 до 0,7 — об удовлетворительном, близком к среднему многолетнему, а значения более 0,7 — о хорошем состоянии при благоприятных погодных условиях (Liu, Kogan, 1996)



о-в Новая Сибирь

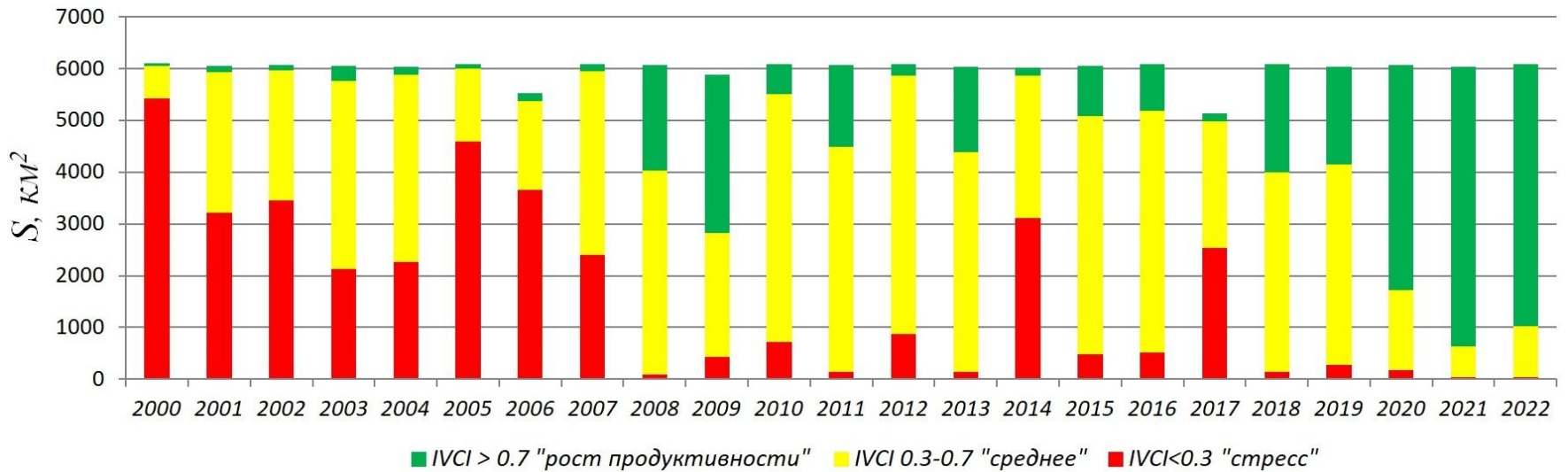


Рис. Общие площади классов с разными значениями IVCI для о-ва Новая Сибирь (отклонения от суммарных площадей в 2006 и 2017 гг. вызваны фильтрацией данных маской облаков)

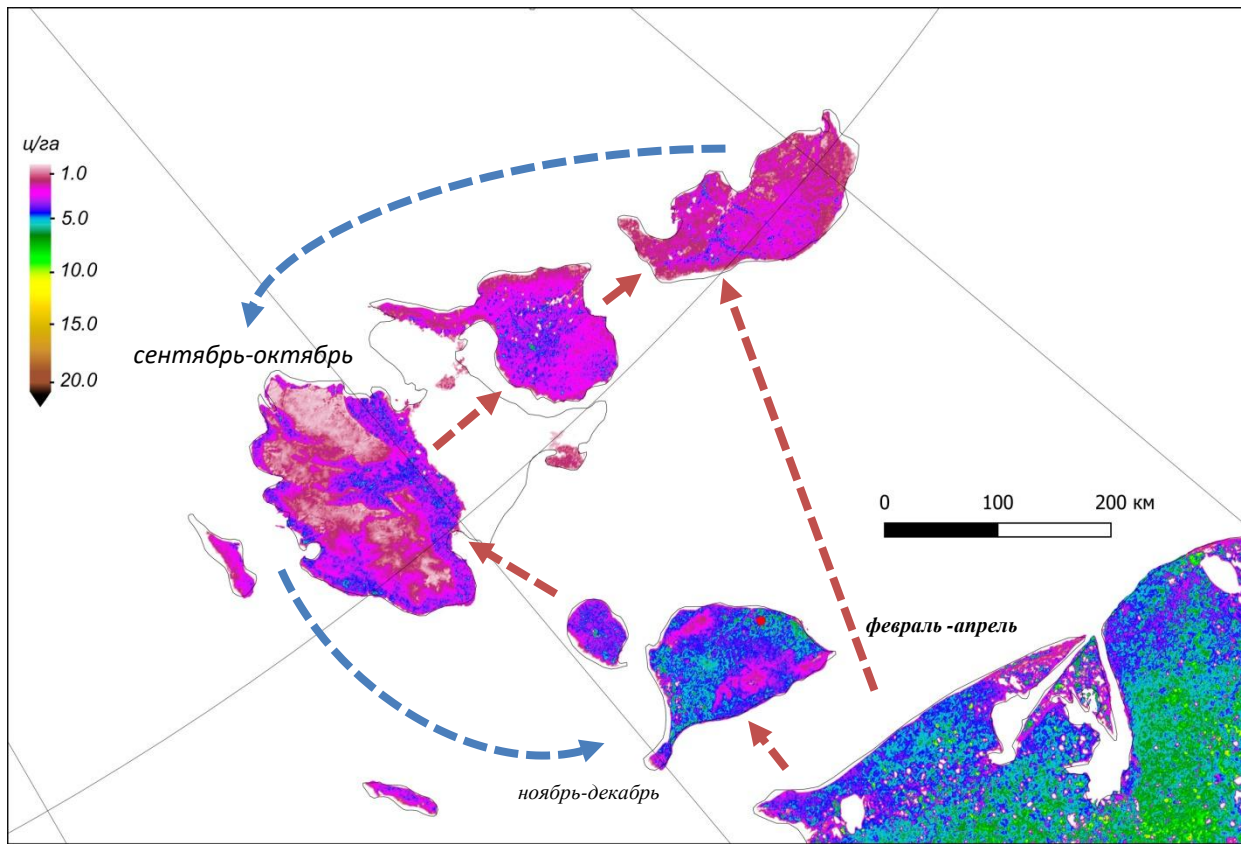


Схема сезонных миграций островных диких оленей (по Давыдов и др., 2017; Mizin et. al., 2018)

ВЕСТНИК ОХОТОВЕДЕНИЯ, 2017, том 14, № 4, стр. 253-271
УДК 639.111.4.574.34

Поступила в редакцию 22.05.2017 г.

**СЕВЕРНЫЕ ОЛЕНИ АРКТИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ
РОССИИ**

© 2017 г. А.В. Давыдов¹, И.А. Мизин², Т.П. Сипко³, А.Р. Груздев⁴

Nature Conservation Research. Заповедная наука 2018. 3(3): 1–14

DOI: 10.24189/ncr.2018.040

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

REVIEW ARTICLES

**THE WILD REINDEER (*RANGIFER TARANDUS*: CERVIDAE, MAMMALIA)
ON THE ARCTIC ISLANDS OF RUSSIA: A REVIEW**

Ivan A. Mizin¹, Taras P. Sipko², Andrey V. Davydov³, Alexander R. Gruzdev⁴

Группировка наноспутников Kinéis



25

НАНОСПУТНИКОВ



20

ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ



3

**СТРАТЕГИЧЕСКИХ
ПАРТНЕРА**

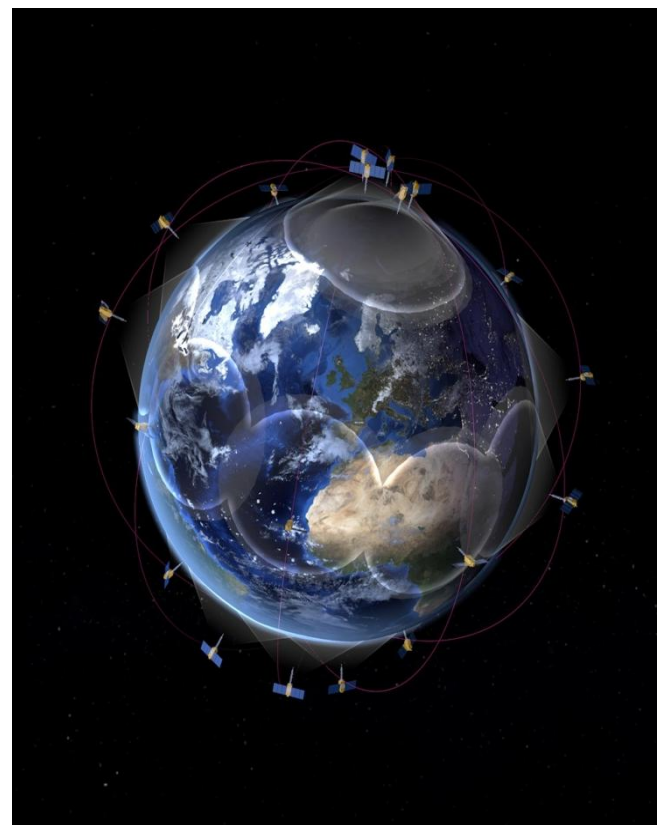
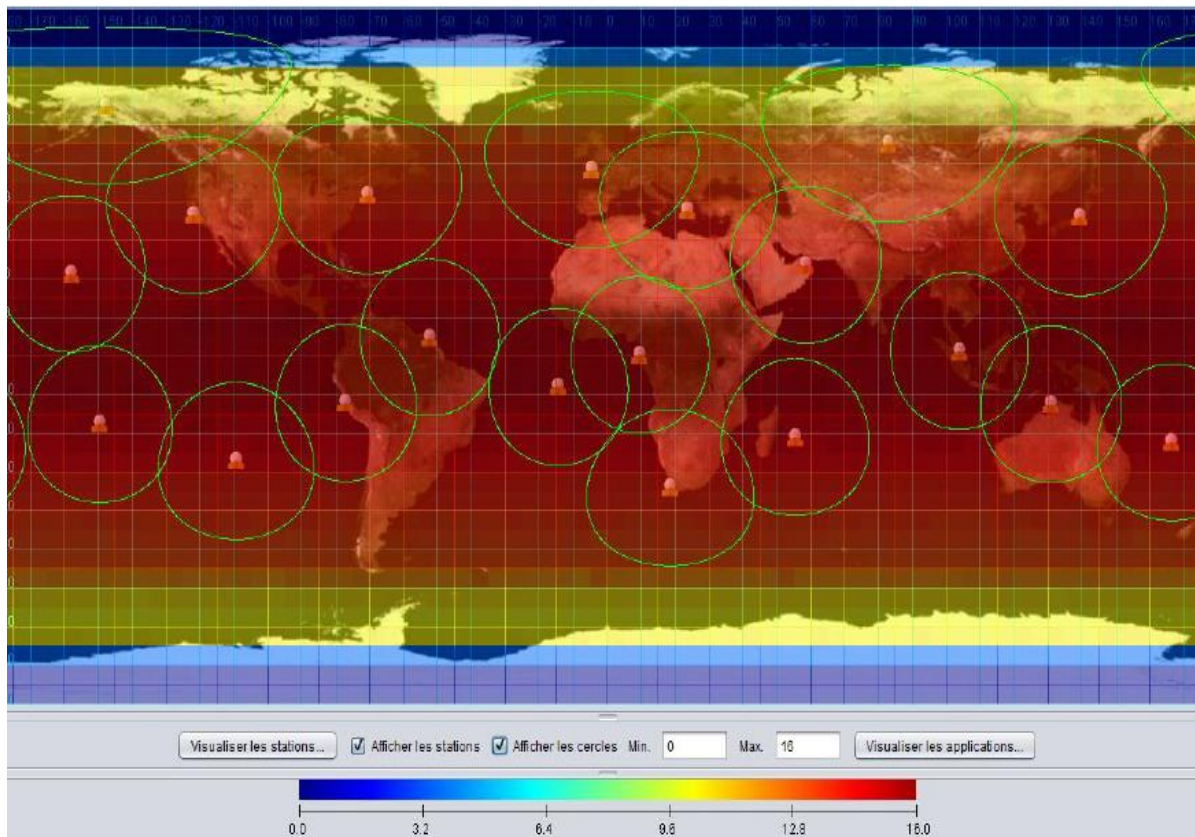


2023

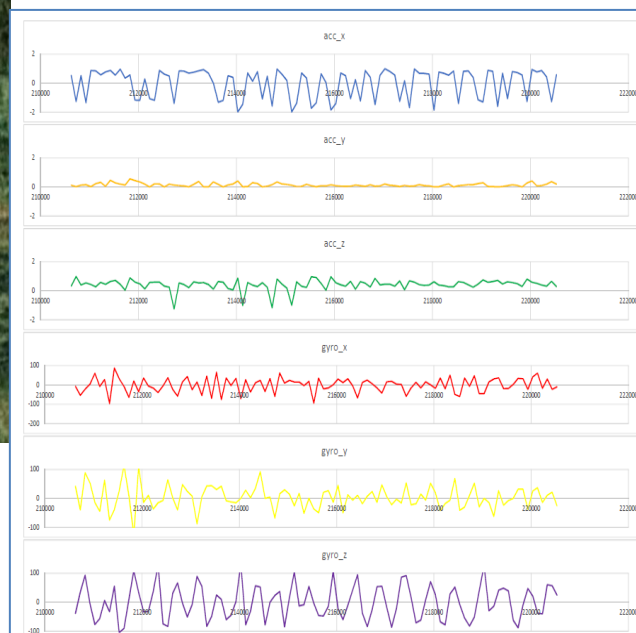
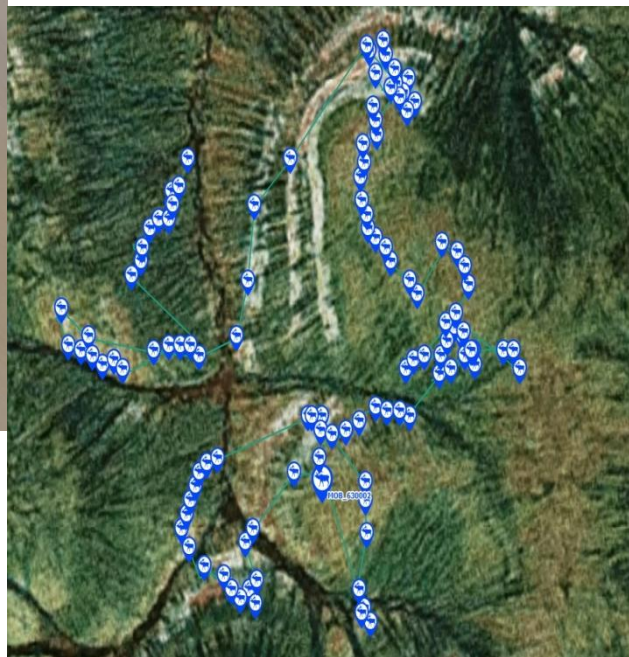
ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ



Спутниковая группировка Kinéis



Спутниковый ошейник «Квазар»

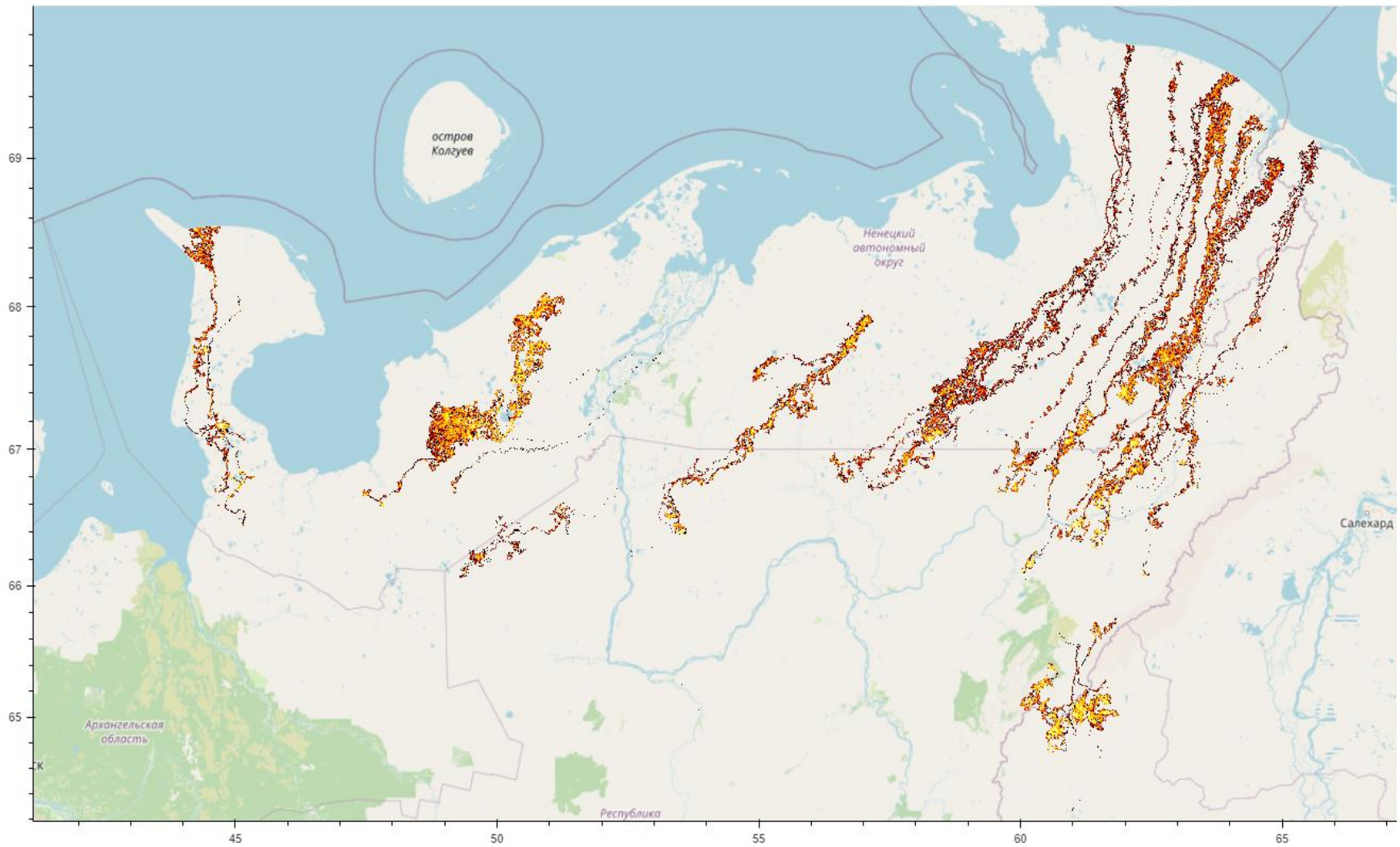


GOODWIN

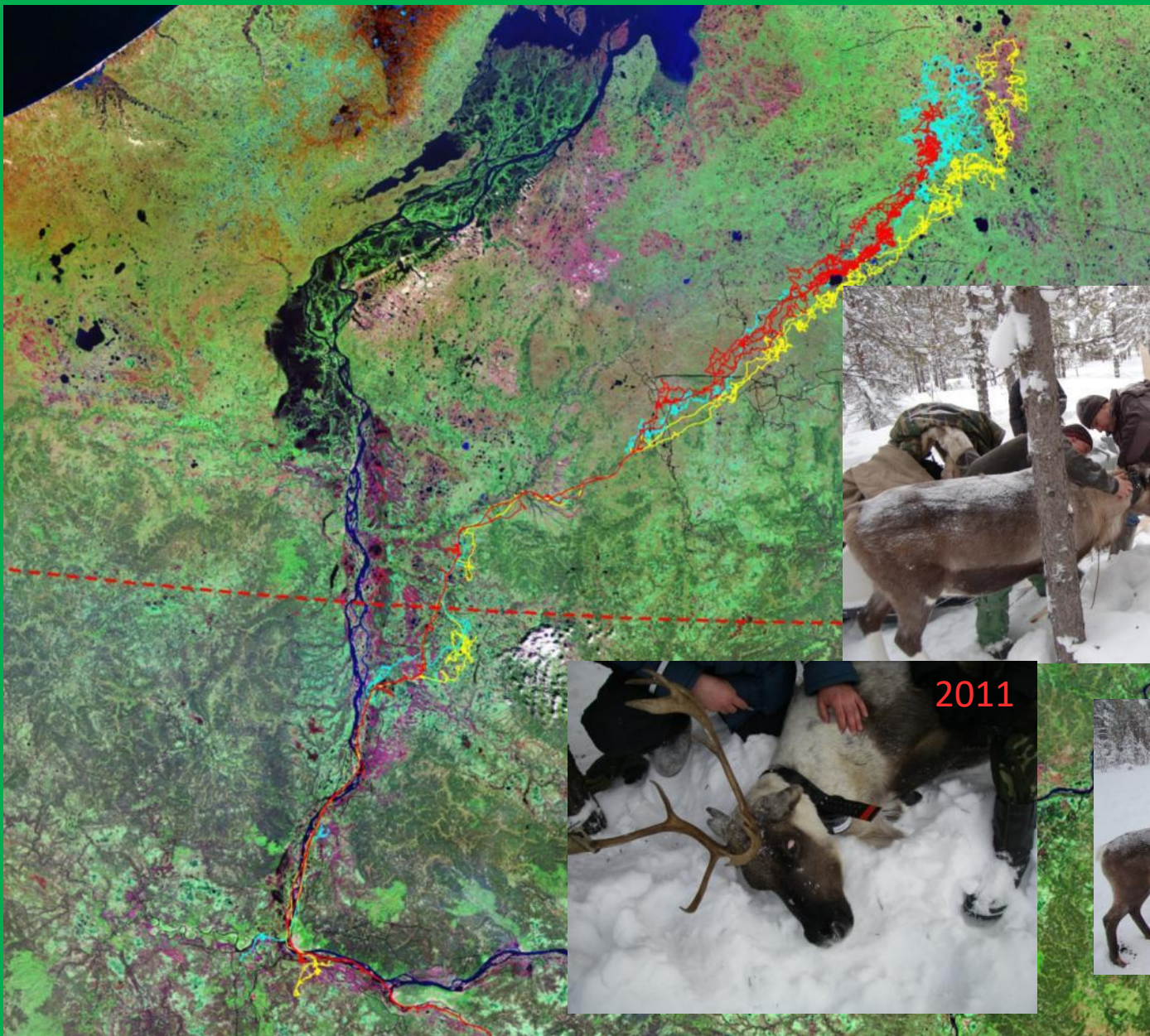


135

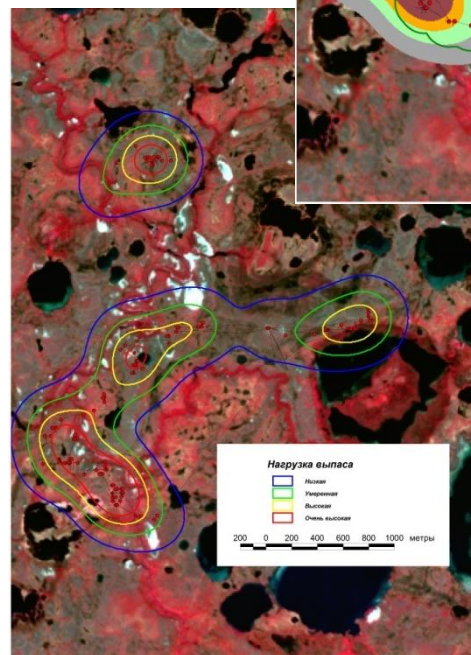
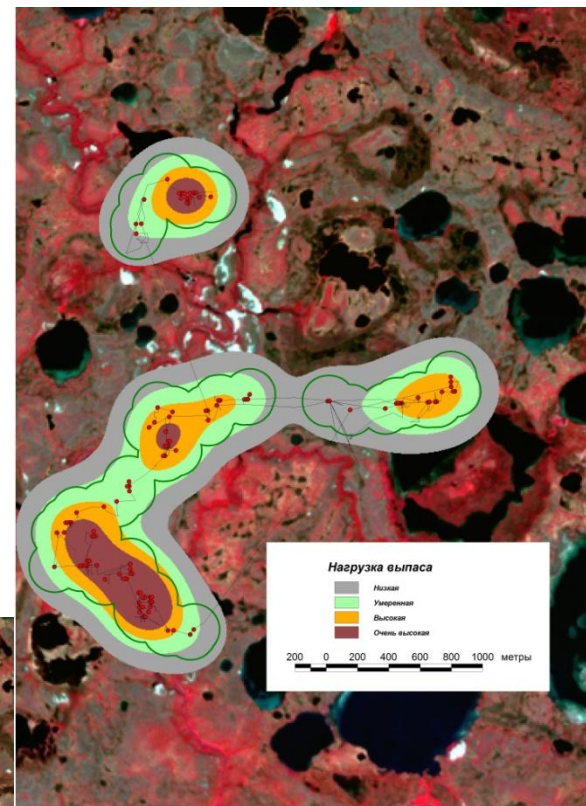
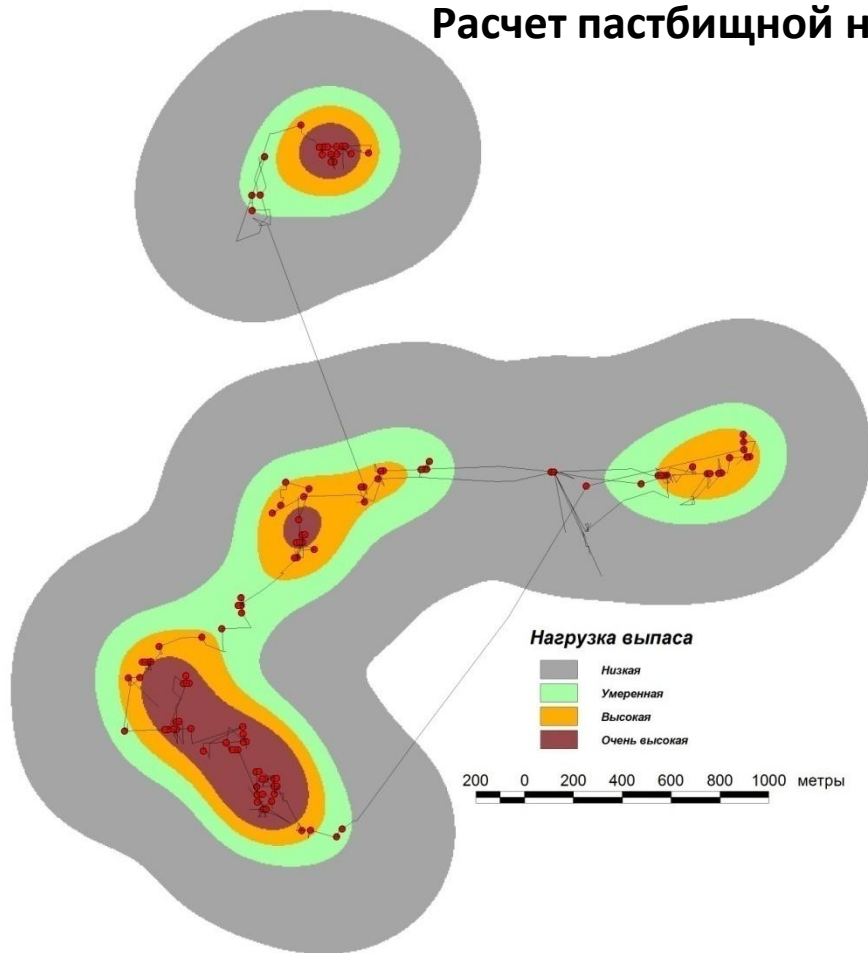




Маршрут движения отдельных бригад по съемке GPS ошейников



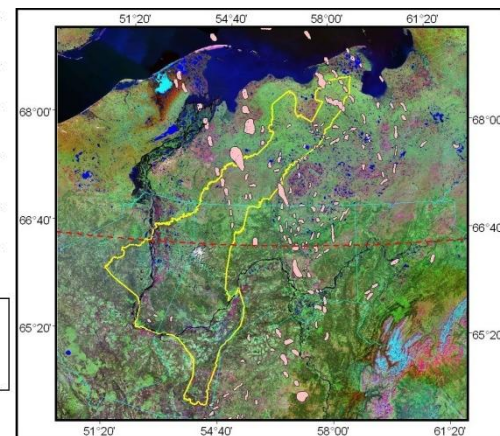
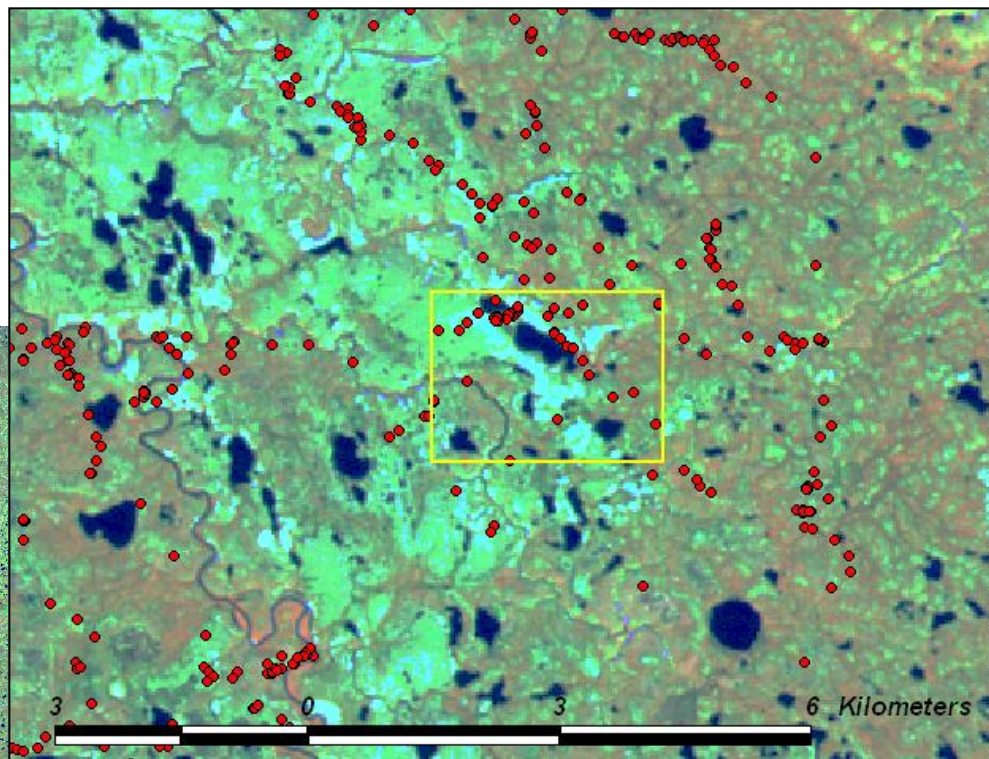
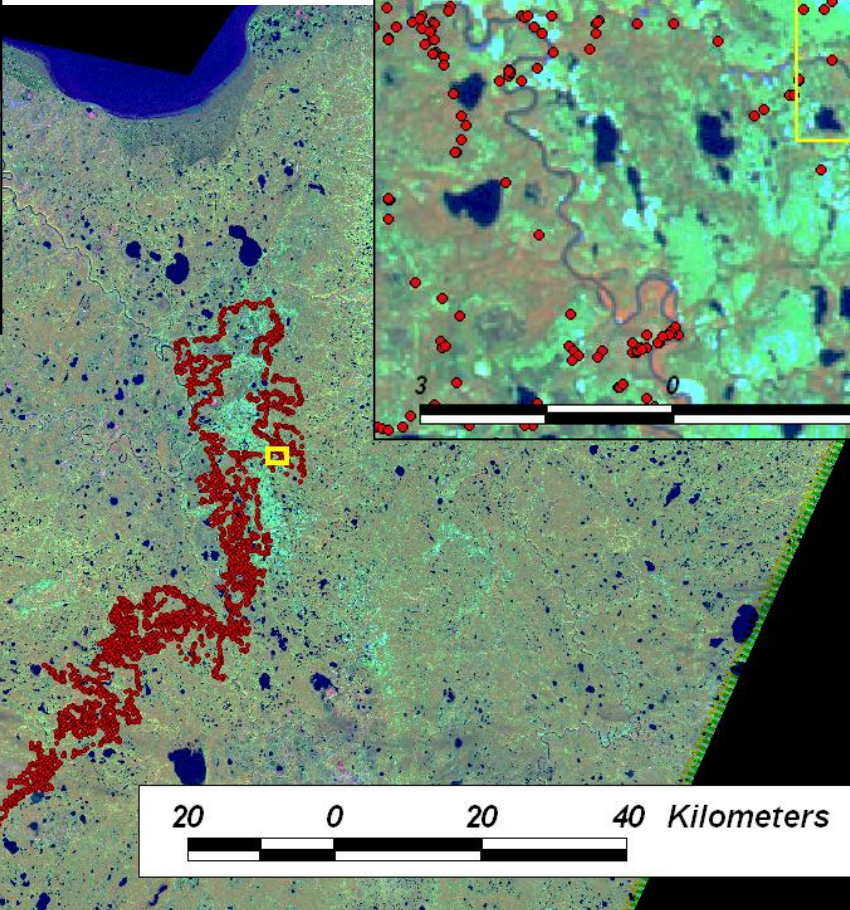
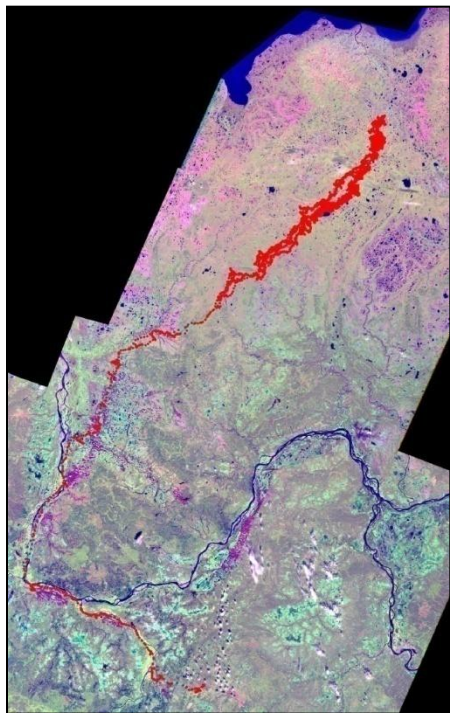
Расчет пастбищной нагрузки по ошейнику



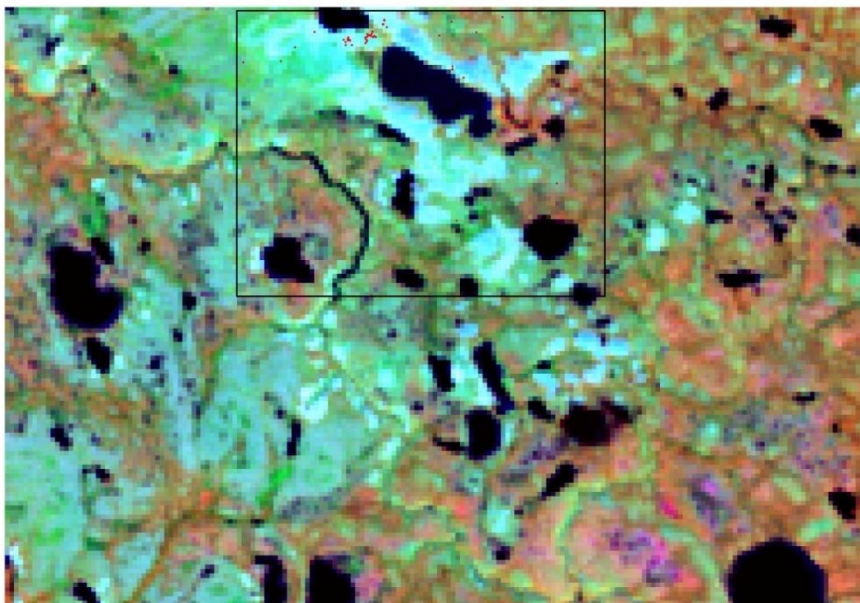
Норматив: 0.08-0.4 га/сутки/оленя

Сыроватский Д.И. Организация и экономика оленеводческого оленеводства. — Якутск: Сахаполиграфиздат, 2000. — 408 с.
Мухачев, А.Д.. Оленеводство : [Для спец. "Зоотехния"] / А. Д. Мухачев. - М. : Агропромиздат, 1990. – 271 с.

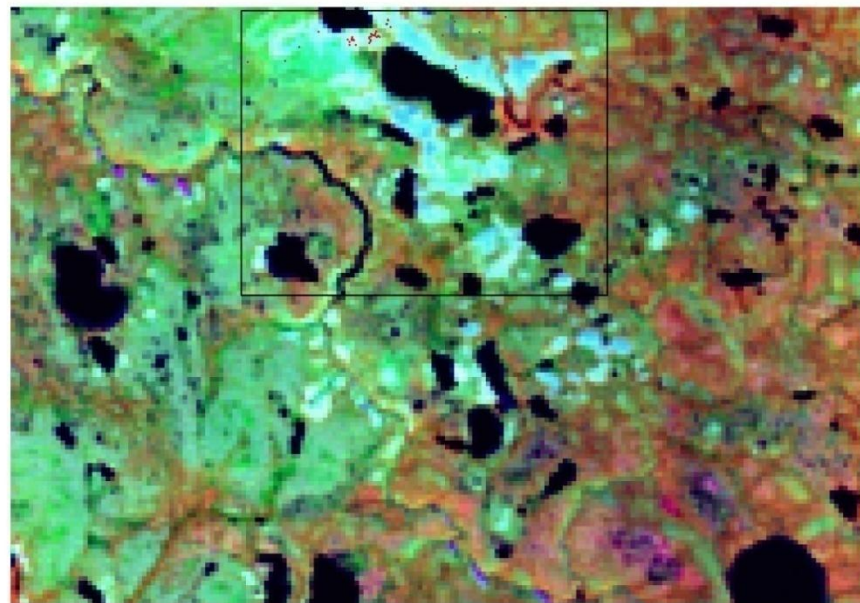
Участок модельных наблюдений СПК «Ижемский оленевод и К°»



2.7.2010.

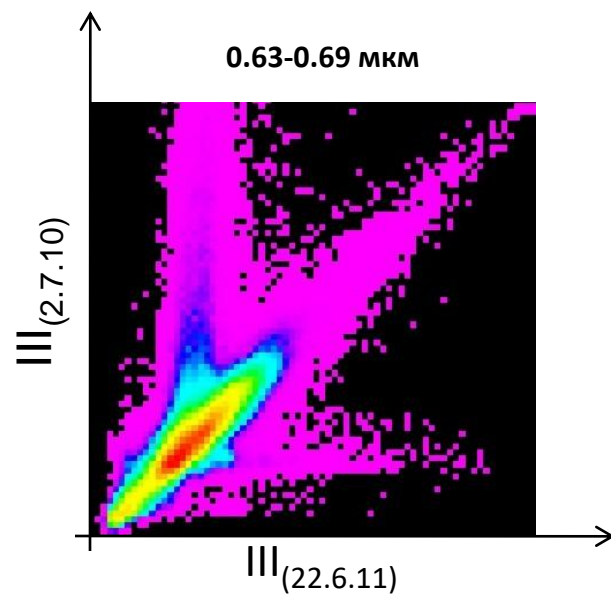
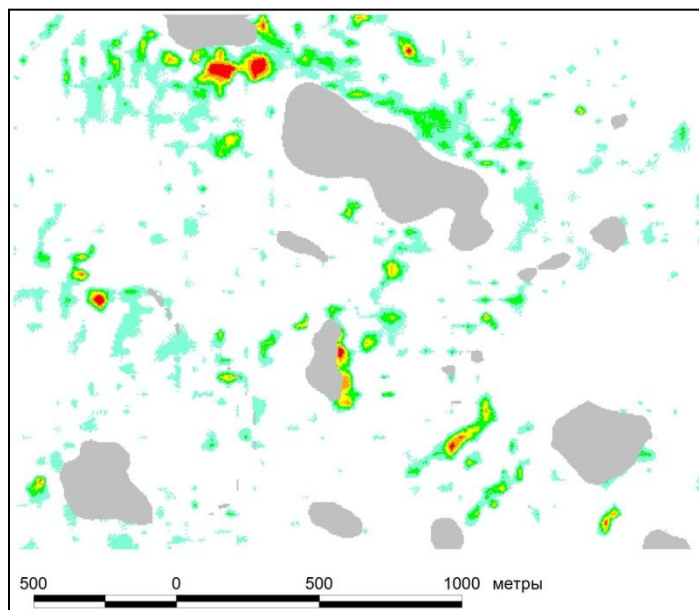


22.6.2011.

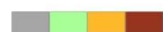
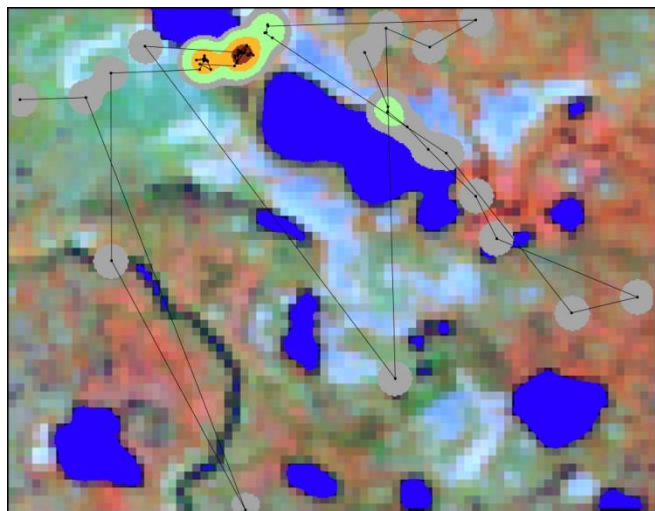


Проход стада - сентябрь 2010 г.

$$\Delta = III_{(2.7.10)} - III_{(22.6.11)}$$

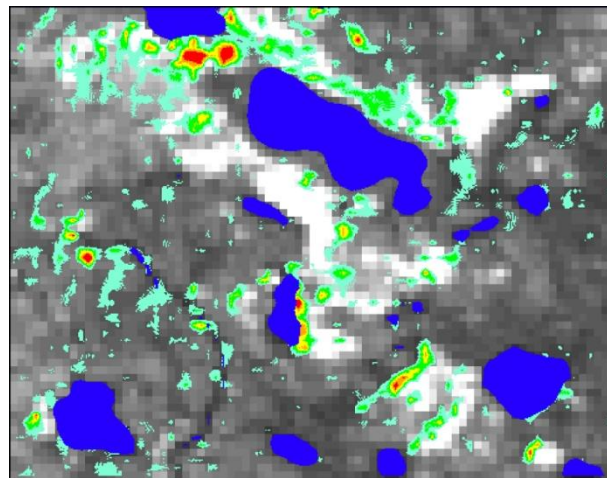


Градация нагрузки выпаса по ошейнику



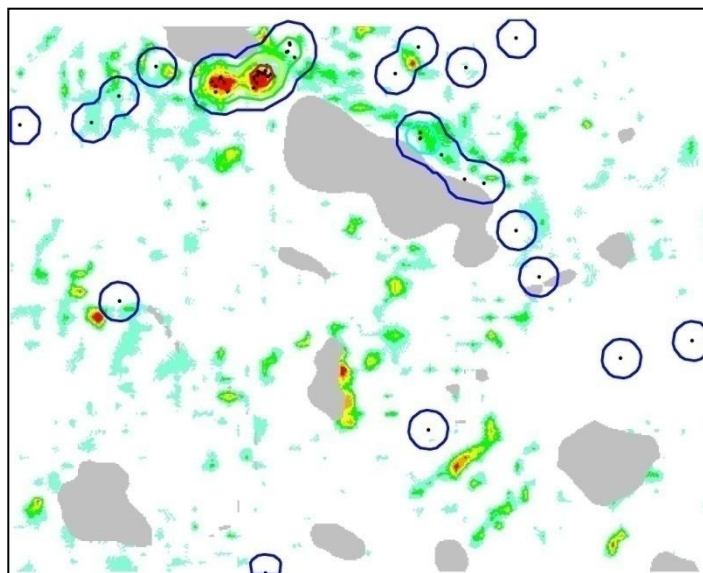
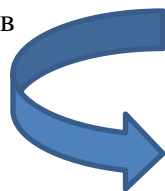
0 250 500 м

Изменения 3 канал (спутник)

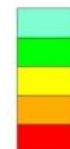


0 250 500 м

30 мин выпаса стада 2000 голов
приходится 3.4÷16.6 га



Градация силы произошедших нарушений

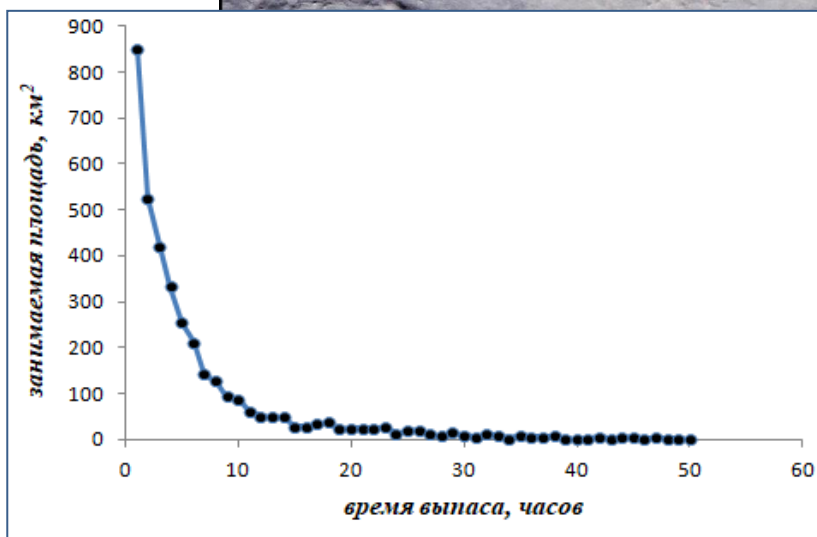
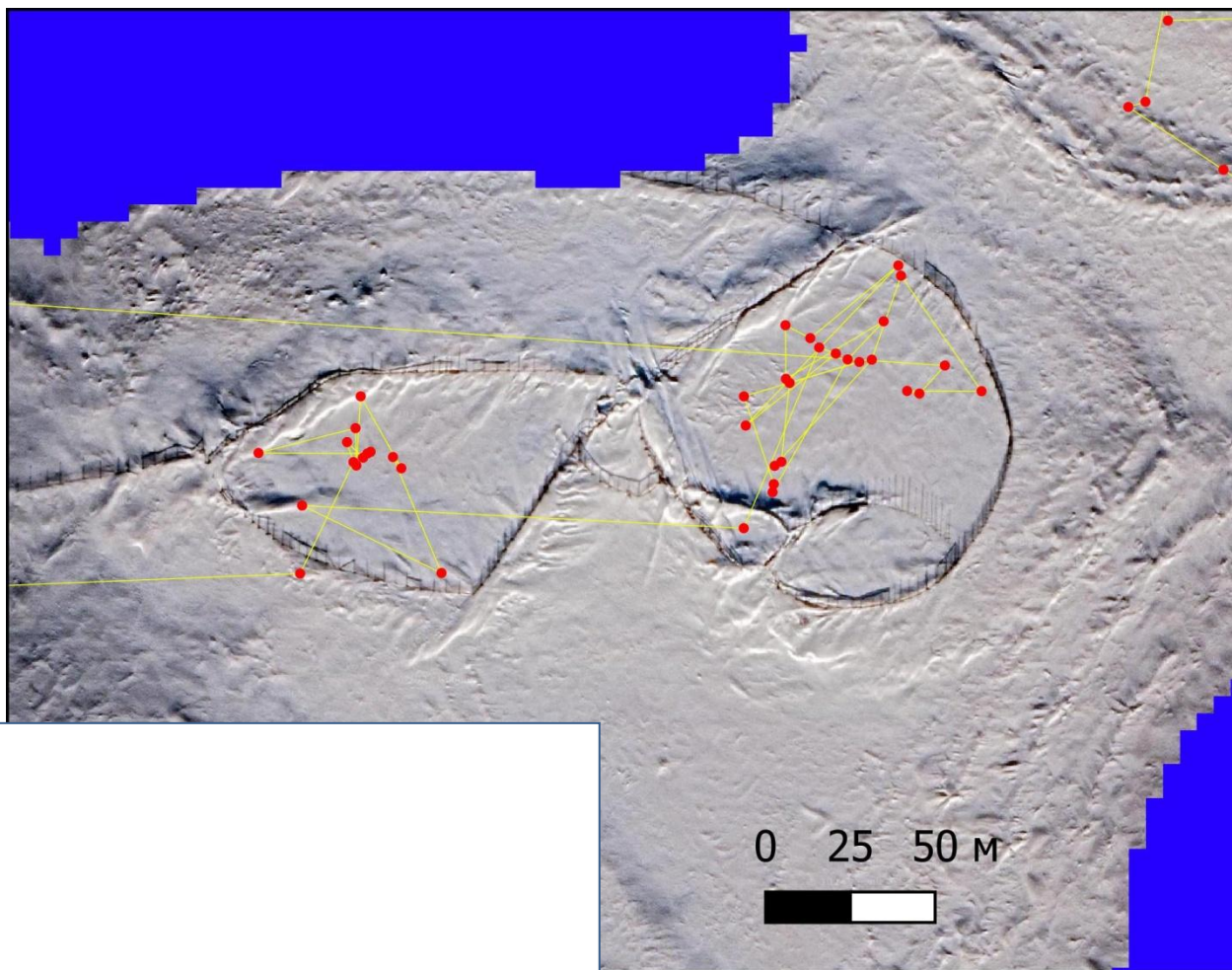


Слабая нагрузка

Средняя нагрузка

Сильная нагрузка

Очень сильная нагрузка

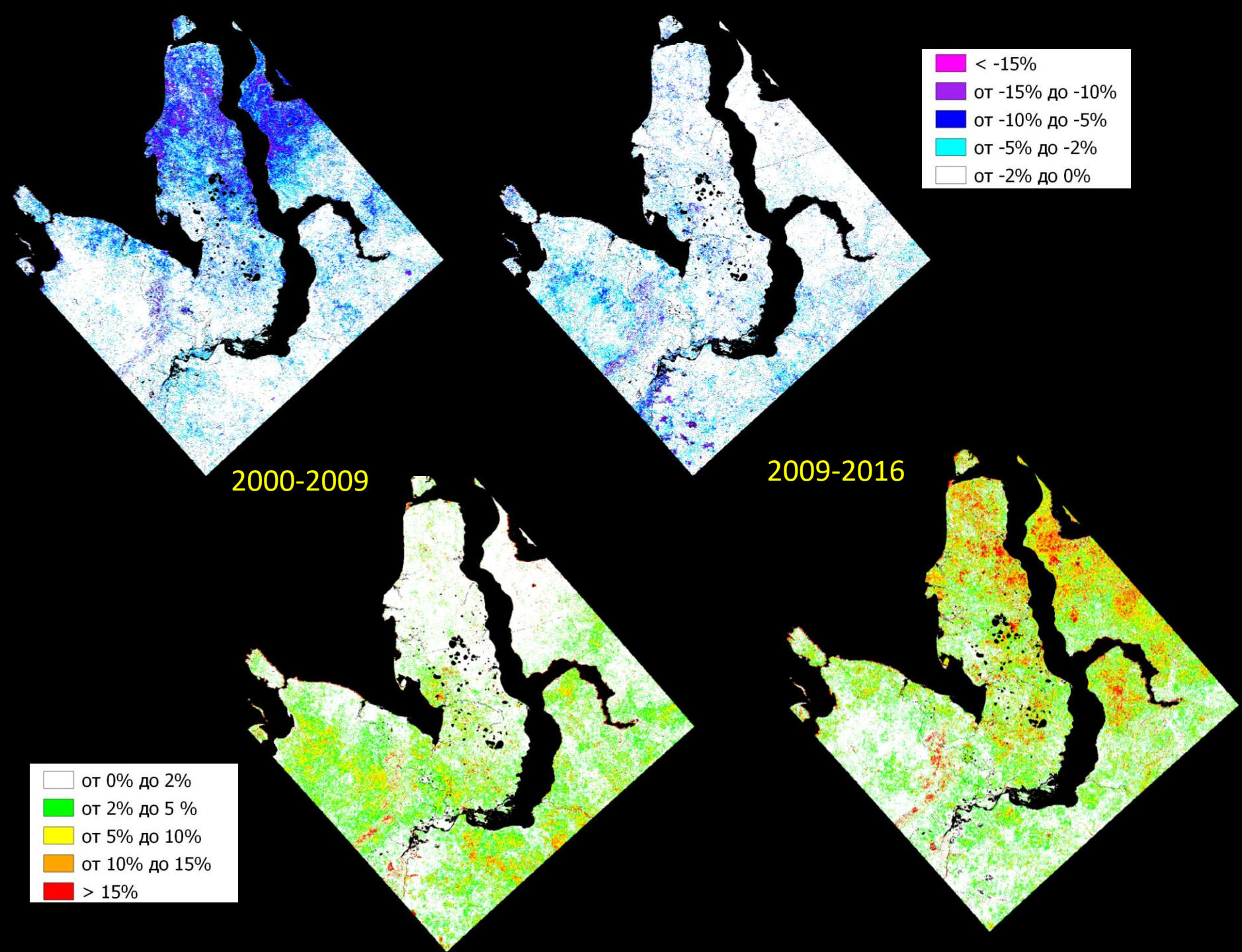


По данным Департамента агропромышленного комплекса ЯНАО общая площадь оленьих пастбищ ЯНАО 49 млн. га (63,7% от площади всего округа), из них только 36,4% расположено на землях лесного фонда. Фактическое поголовье оленей 630 тыс. голов, при установленных показателях оленеемкости в 367,4 голов.

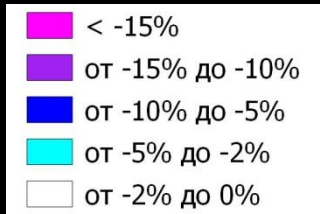
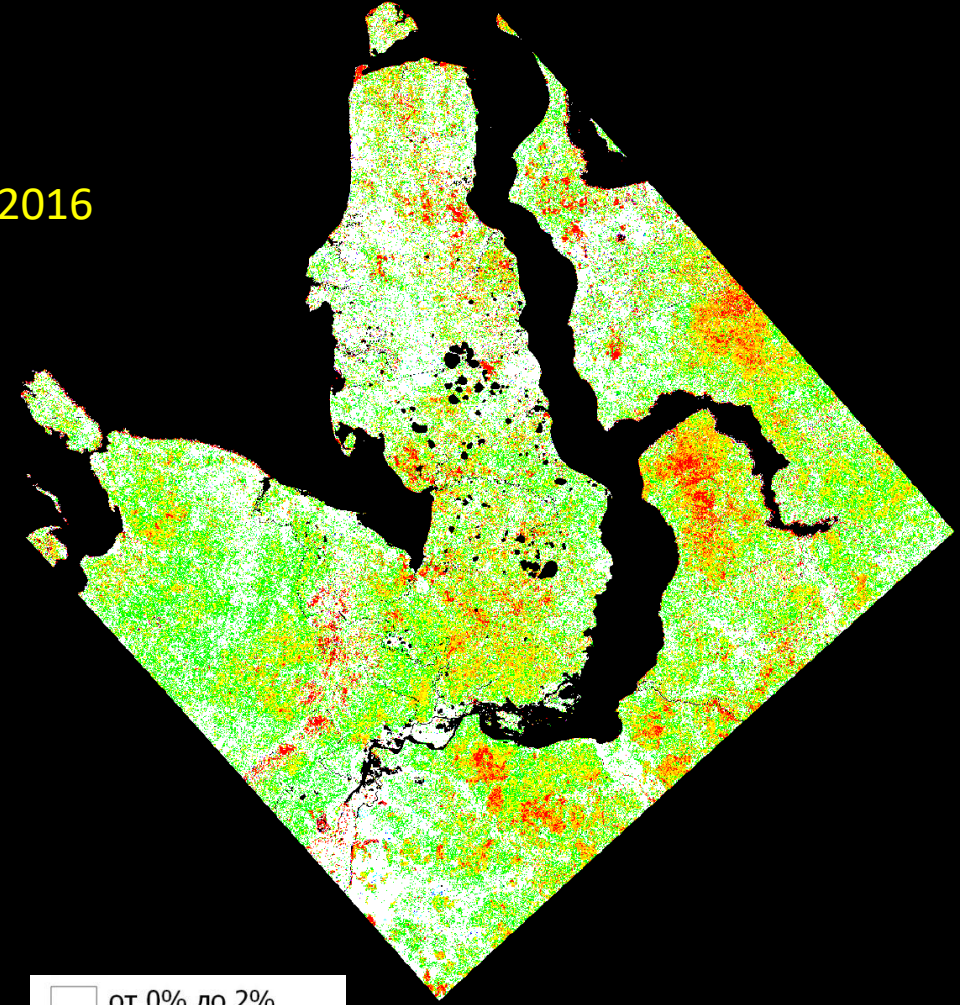
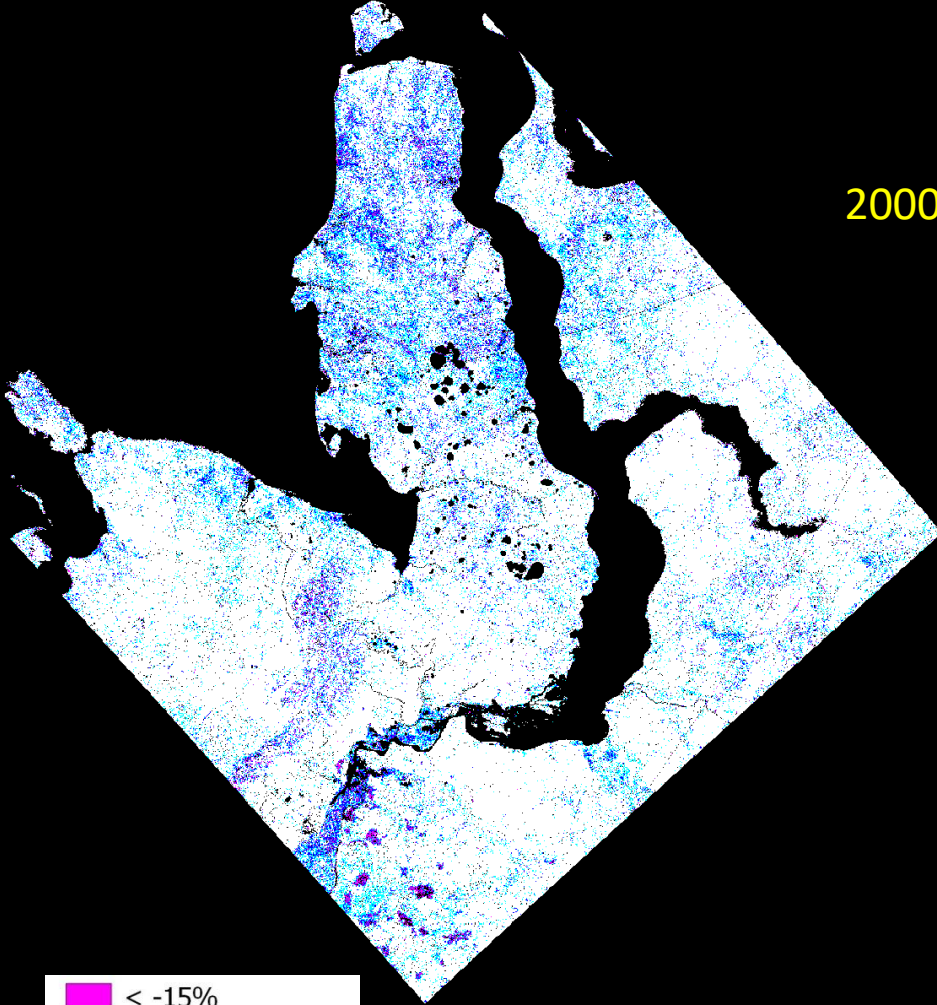
Оленеводством занимается 14 оленеводческих хозяйств различных форм собственности (АО, ООО, МП), содержащие 109 тыс.голов (17,3%), 12 общин КМНС – 98 тыс. голов (15,5%), 33 СПОК и КФК – 51 тыс.голов (8,1%), 4622 семьи ведущие ТОЖ – 372 тыс.голов (59%).

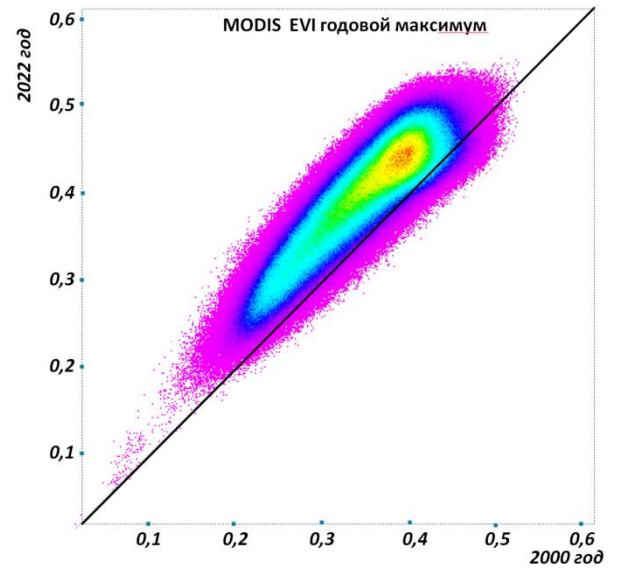
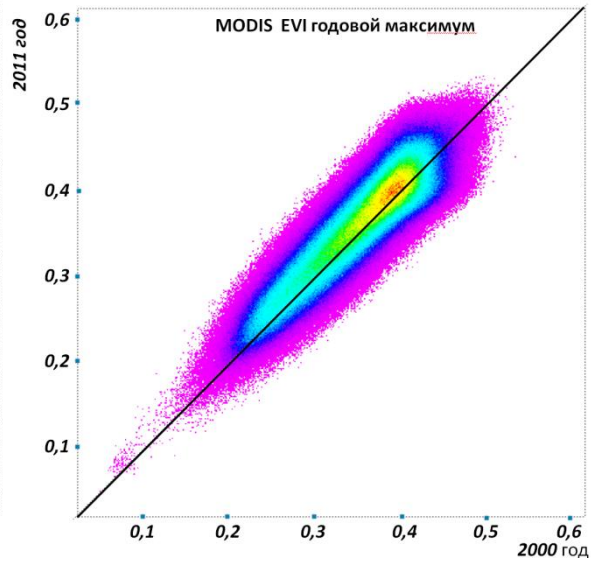
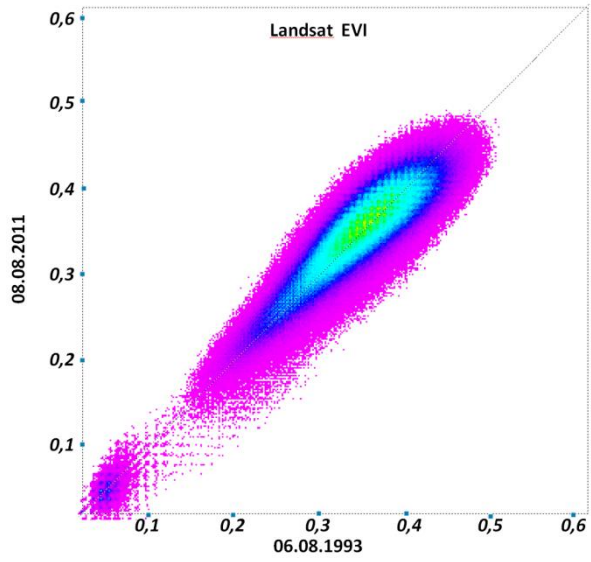
В работах 2011 г. отмечалось (Кряжемский, и др., 2011), что на полуострове Ямал без ущерба пастбищным угодьям может выпасаться не более 20 тыс. оленей. На 2017 г. численность оленей в Ямальском районе оценивается в 273.8 тыс. голов (2022 г. - 210.2 тыс. голов)





2000-2016





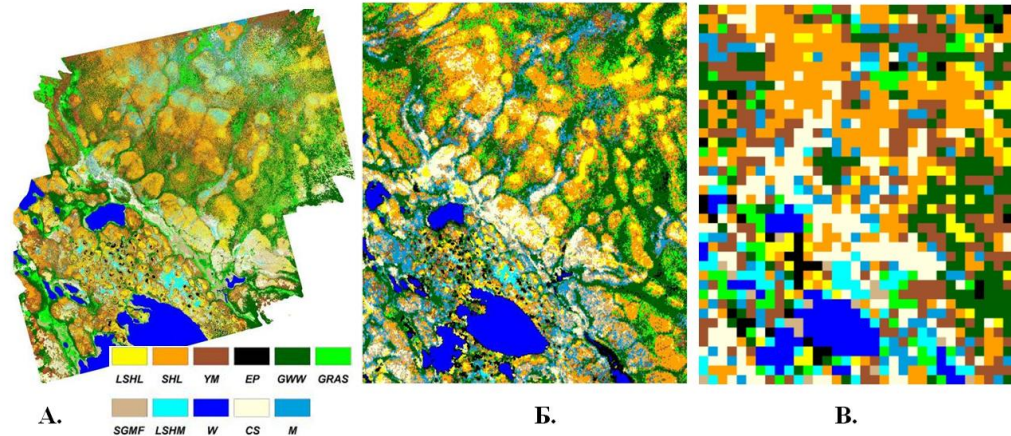
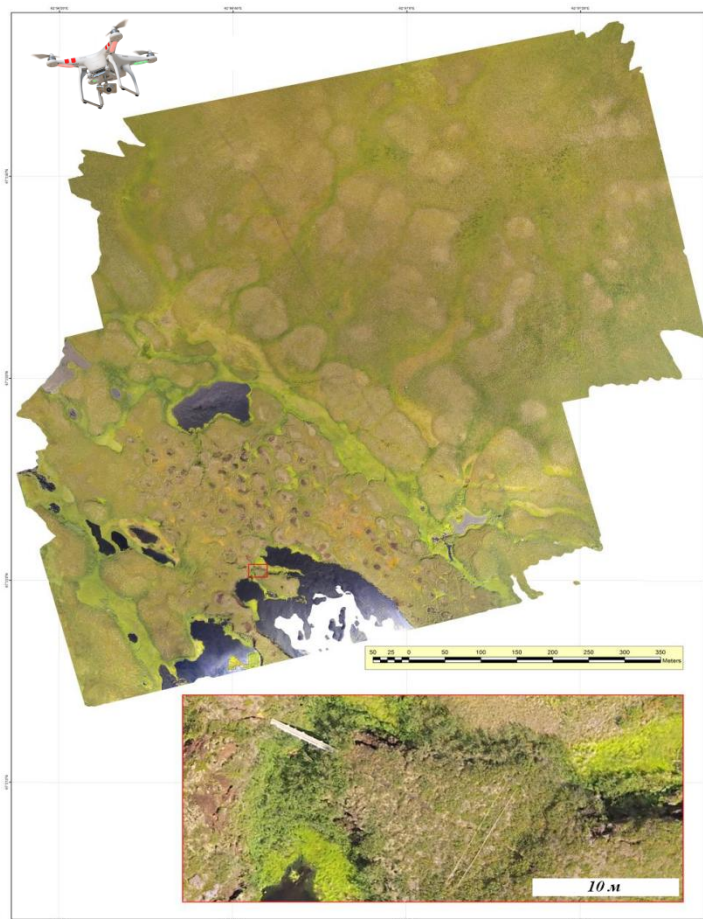
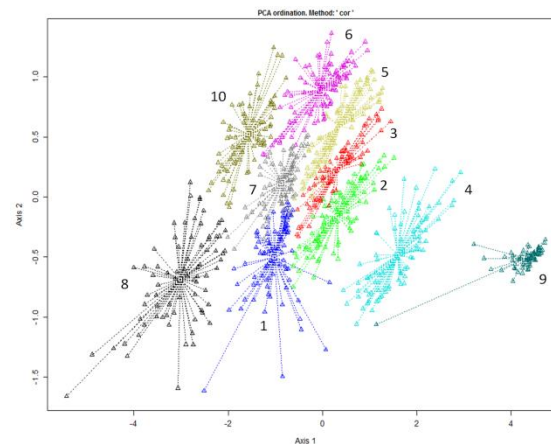


Рис. Распределение доминирующих классов растительного покрова после процедуры сегментации снимков UAV (A), QB; (Б) и L5; (B). Обозначения: 1 - кустарничково-лишайниковые тундры (LSHL); 2 - кустарничково-лишайниковые тундры (SHL); 3 - ерничково-моховые (YM); 4 - обнаженный торф (EP); 5 - ивняки высокосомкнутые травяные (GWW); 6 – прибрежноводные и осоковые сообщества (GRAS); 7 - осоково-моховые обводненные сообщества (SGMF); 8 - кустарничково-моховые (LSHM); 9 - водные поверхности (W); 10 - обводненные пушицево-моховые сообщества (CS); 11 - моховые (M).

Более половины пикселей изображения QB модельного участка включают смешанные по составу UAV пиксели с долей наиболее преобладающего класса ниже 50%



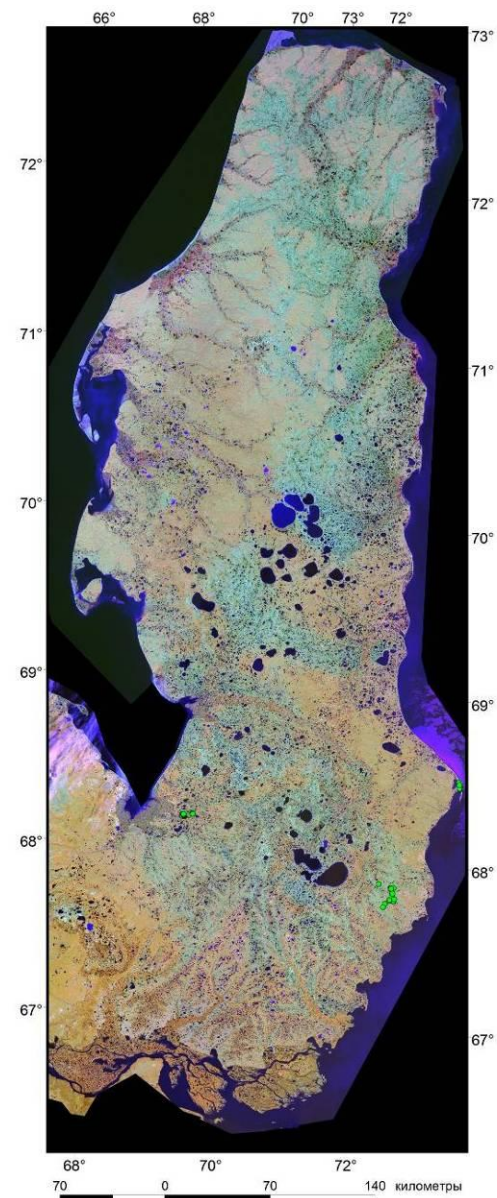
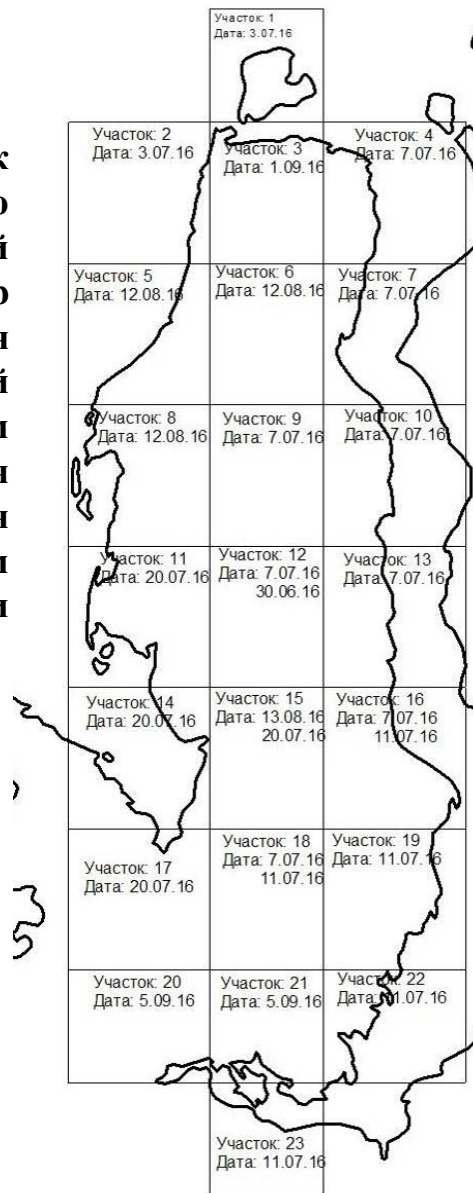
Анализ временных изменений характеристик растительного покрова выполняли по материалам спектрзональной спутниковой съемки Landsat TM/ETM/OLI, Sentinel 2b разных лет. Основная проблема для составления временных серий спутниковой съемки была связана с частым наличием облачного покрова на сценах. Для рассматриваемой территории был подготовлен набор мозаик изображений по нескольким временным срезам. Подготовленные мозаики включали:

1984 -1988 гг. - 20 сцен Landsat 4-5 TM (6 пролетов) вся площадь п-ва;

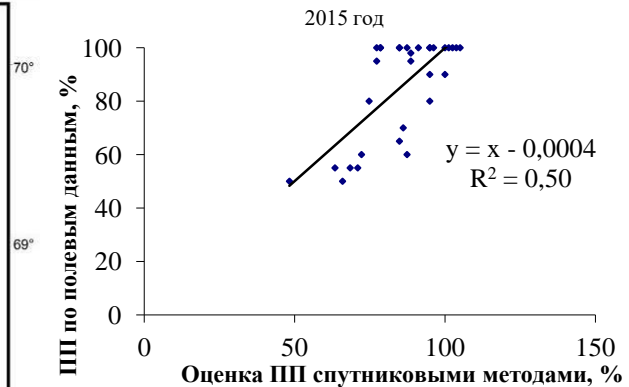
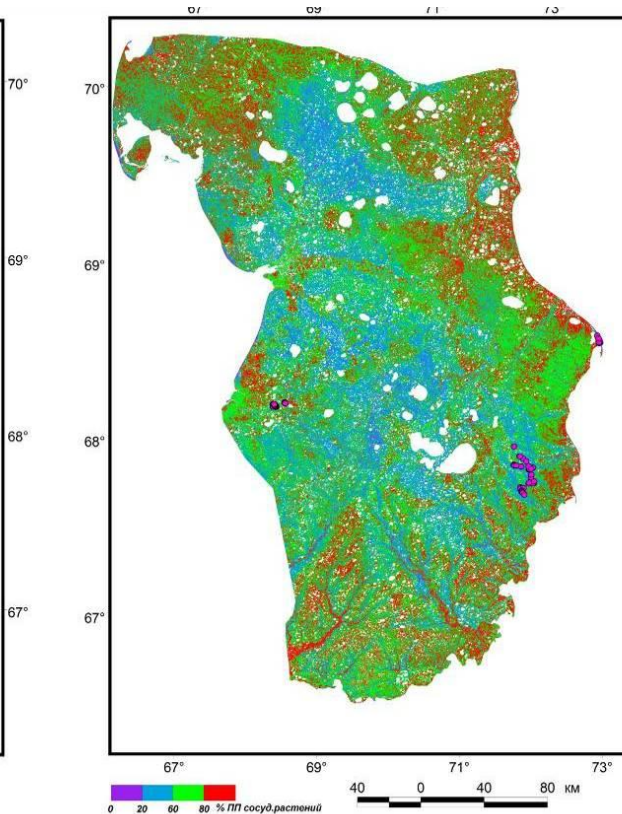
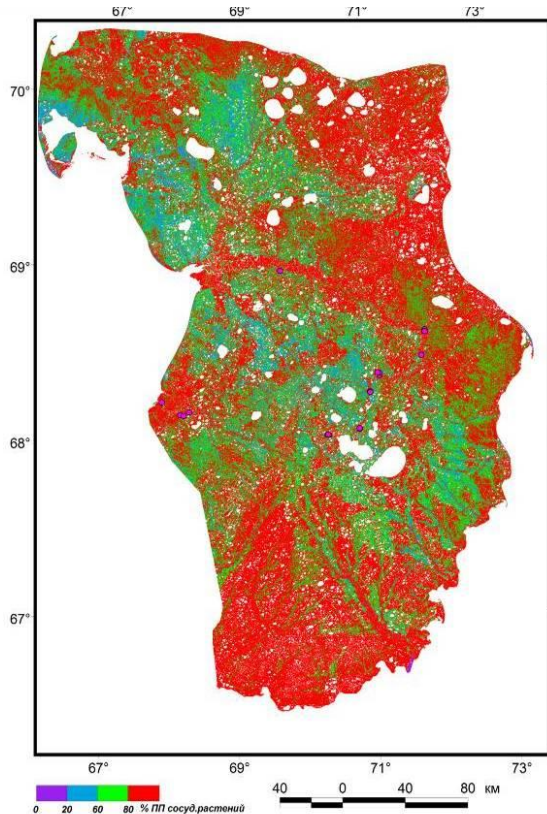
1994 - 2000 гг. - 9 сцен Landsat TM (6 пролетов);

2013-2015 гг. - 17 сцен Landsat 5, Landsat 8 OLI (6 пролетов, вся площадь п-ва);

2016 г. – Sentinel 2b – 27участков



Разбиение территории работ по основным обработанным сценам съемки Sentinel 2b и построенная спутниковая мозаика 2016 г.



Сравнительный анализ результатов сравнения величин проективного покрытия сосудистых растений по полевым измерениям и по спутниковым данным



Распределение классов проективного покрытия сосудистых растений по материалам спутниковых съемок и полевым измерениям (точечные объекты) для 2000 г (А) и 2015 г. (В).



Фото Л.М. Морозовой

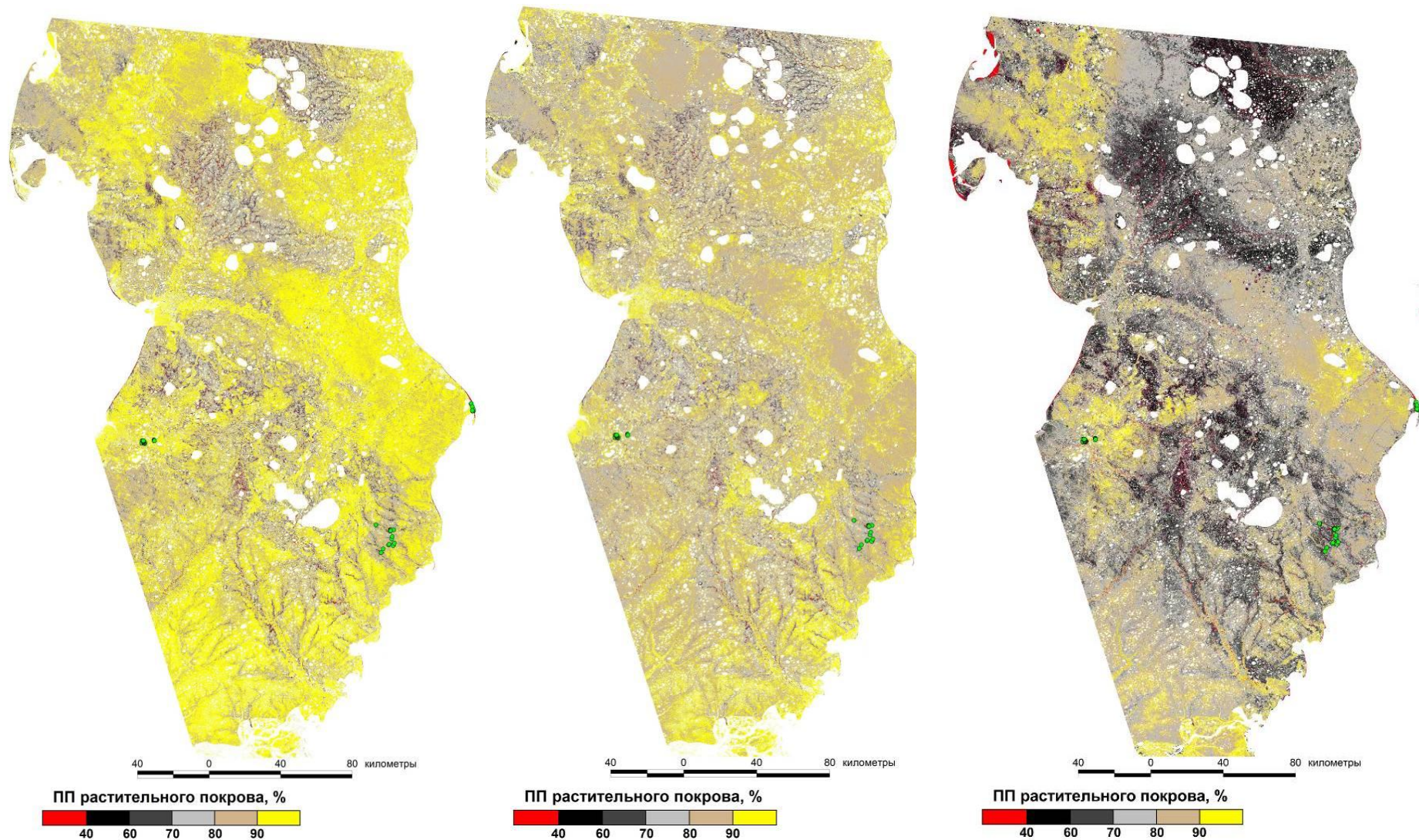
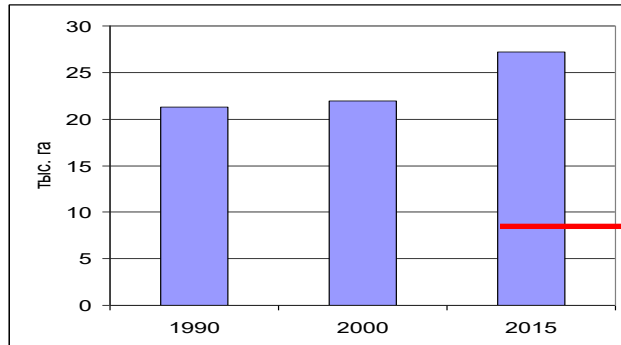


Рис. Изменения проективного покрытия (%) южных тундр п-ва Ямал по материалам анализа мозаики спутниковых изображений Landsat 1988 (А), 2013 г. (В) и Sentinel 2b 2016 г. (В.)

Основные выводы по выполненным измерениям:

1. Общая площадь техногенно нарушенных земель в подзоне южных субарктических тундр и лесотундре Ямальского района на 2016 г. составляет **9.3 тыс га**. Эта площадь за последние 15 лет увеличилась **в 6,2 раза** (в 2000 эта площадь составляла 1 505 га).
2. За последние 15 лет суммарная площадь песчаных обнажений увеличилась на **5.2 тыс га** и составляет порядка **27.2 тыс га**. Скорость формирования песчаных обнажений, в среднем, 350 га в год, что более чем в 6 раз превышает этот показатель за предыдущий десятилетний период.



9.3 тыс. га
техногенно-
нарушенные

Рис. Изменение площадей водораздельных песков на территории работ.

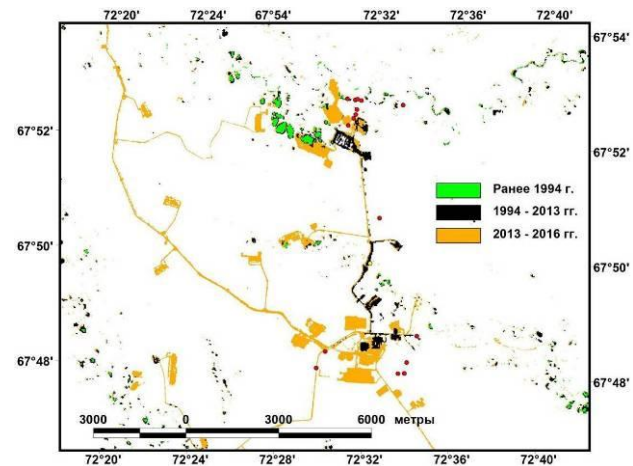
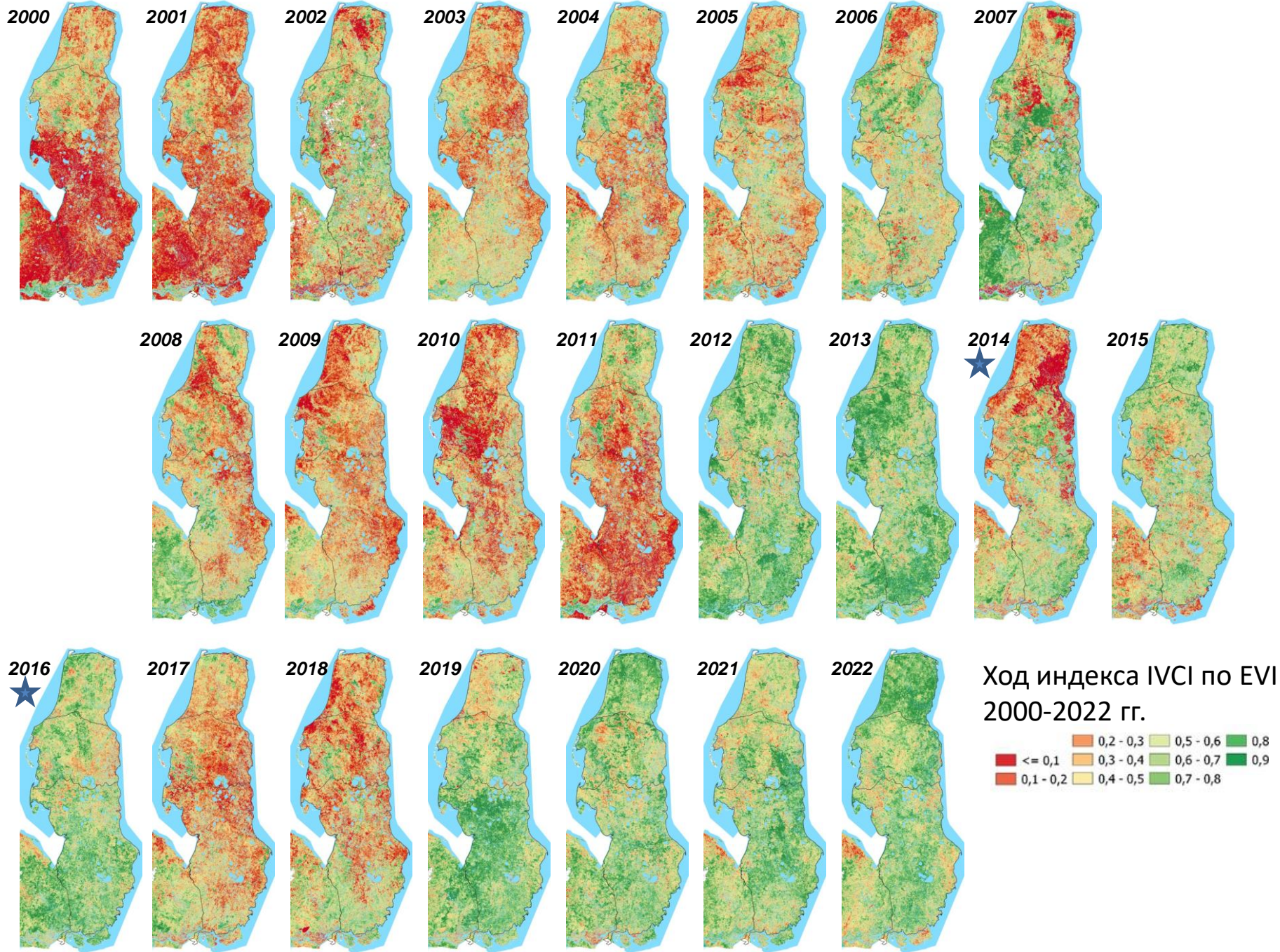
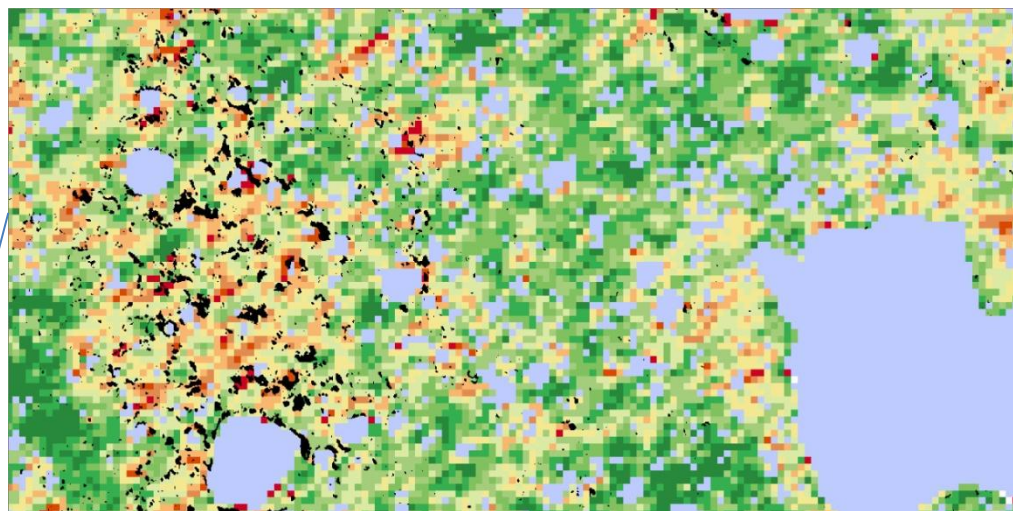
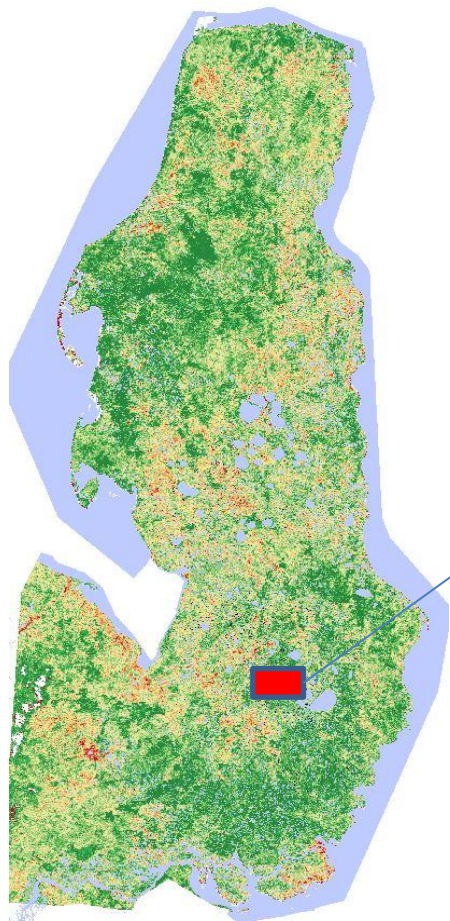


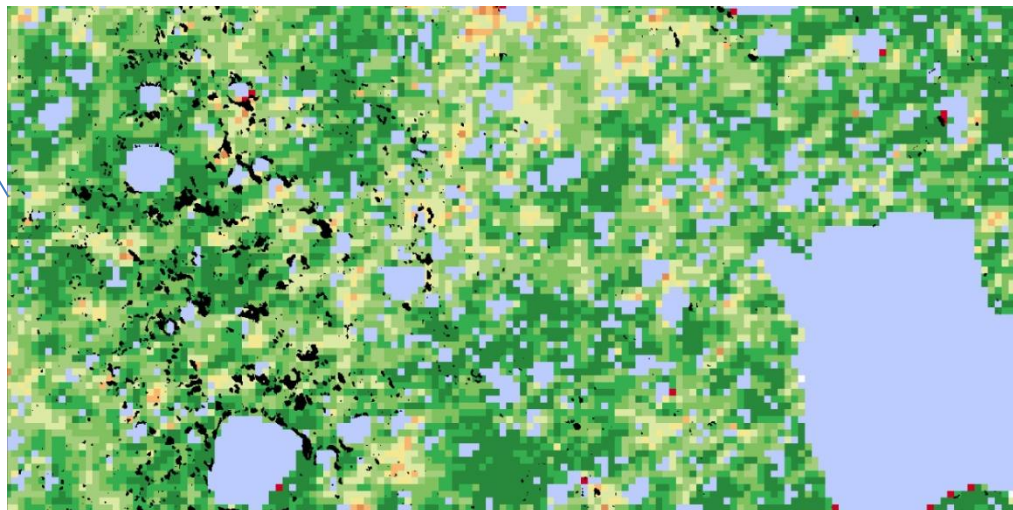
Рис. Фрагмент изображения временных изменений участка полевых исследований 2016 г. Район Нового порта. Участки изменений разных лет представлены градацией цвета.

3. Площадь пастбищ с высоким проективным покрытием (>80-100%) за прошедшие 15 лет уменьшилась **в 2,5 раза** и в настоящее время составляет только 25% от общей площади.

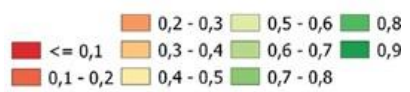




2013

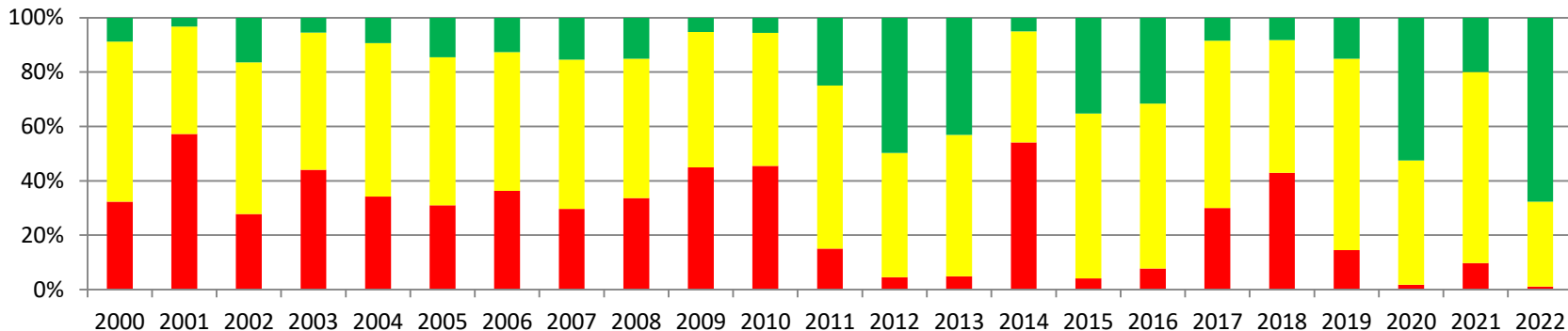


2022

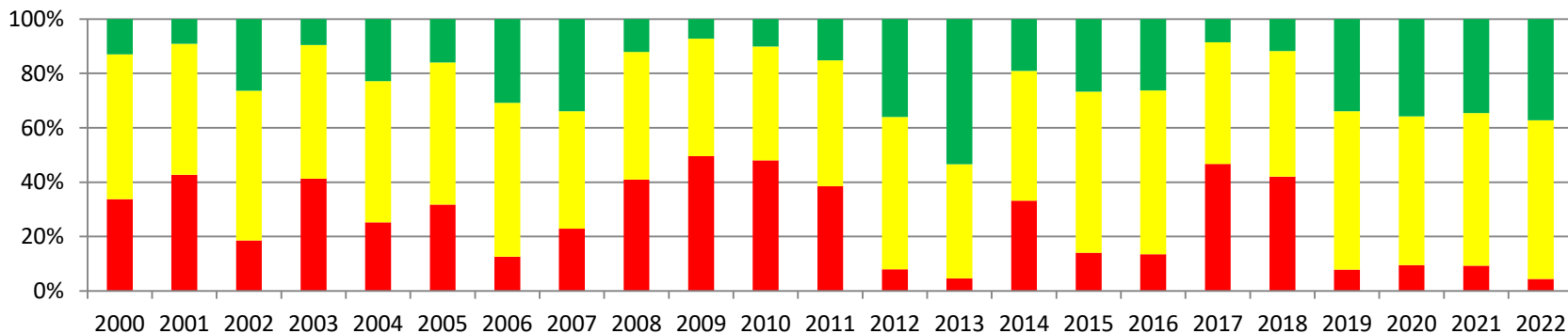


Динамика индекса IVCI для разных ботанико-географических зон п-ва Ямал

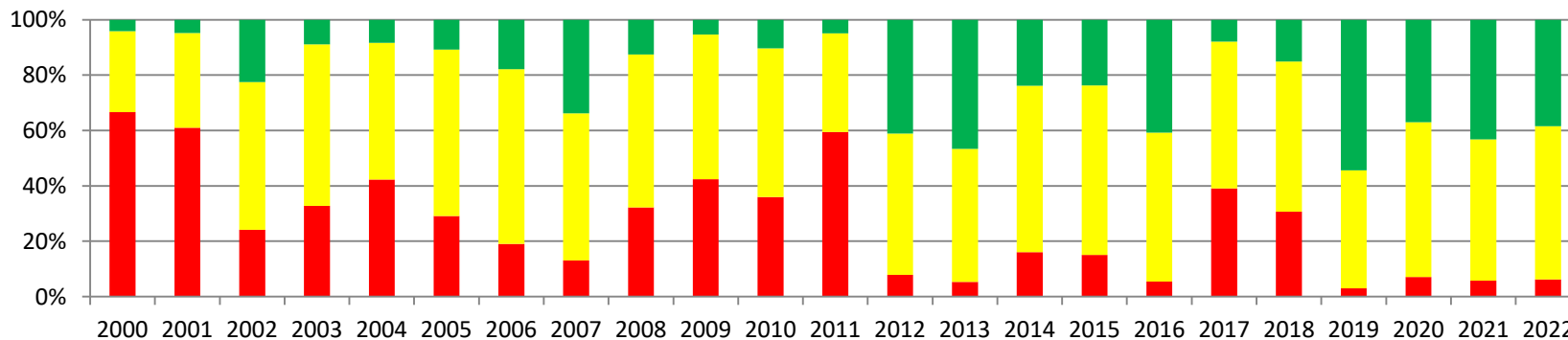
Арктические тундры



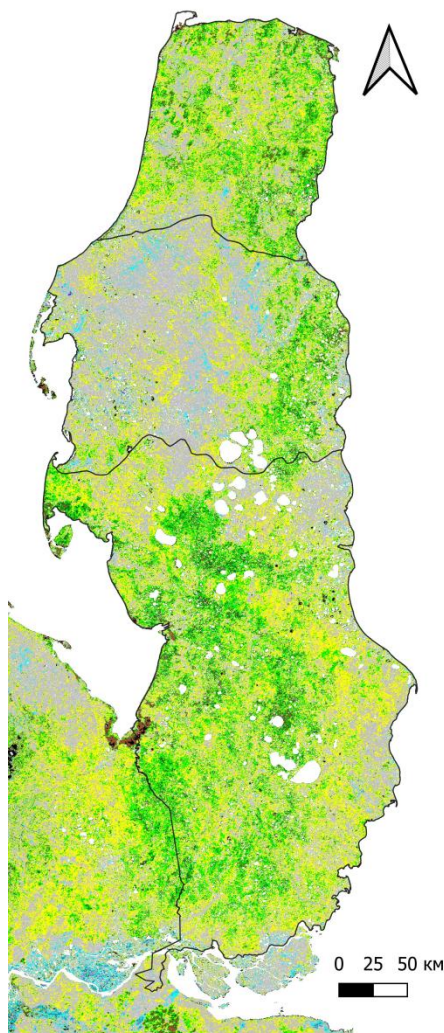
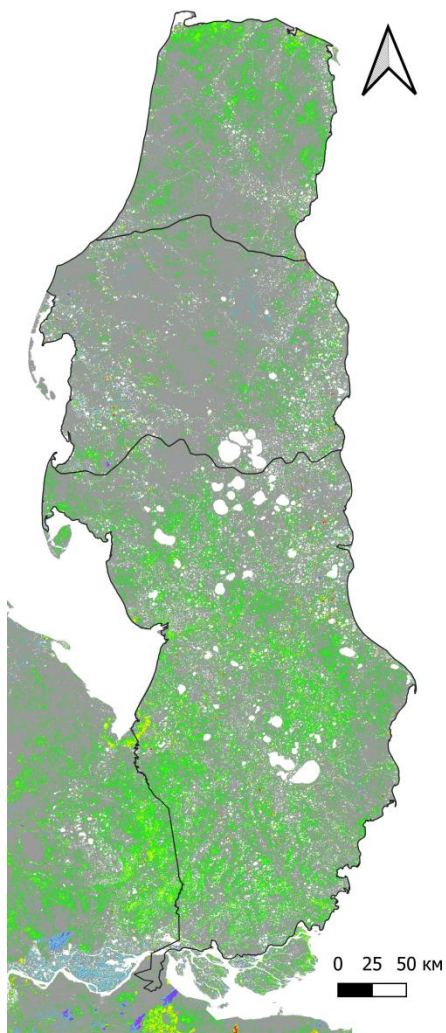
Северные субарктические тундры



Южные субарктические тундры



■ IVCI > 0.7 "рост продуктивности" ■ IVCI 0.3-0.7 "среднее" ■ IVCI < 0.3 "стресс"

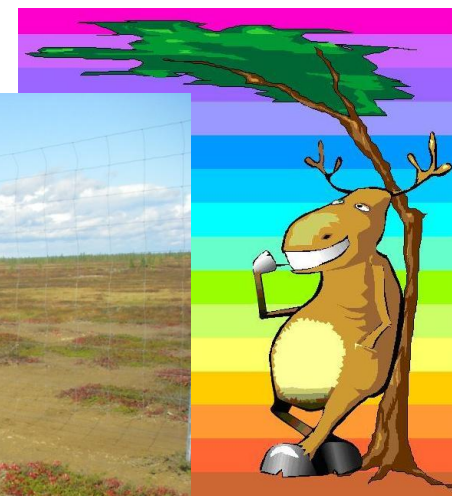
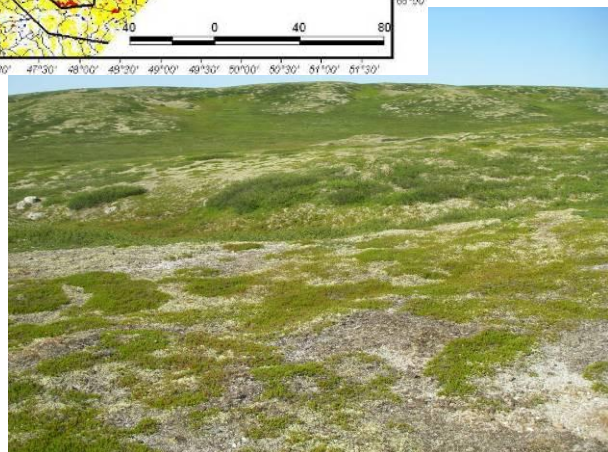
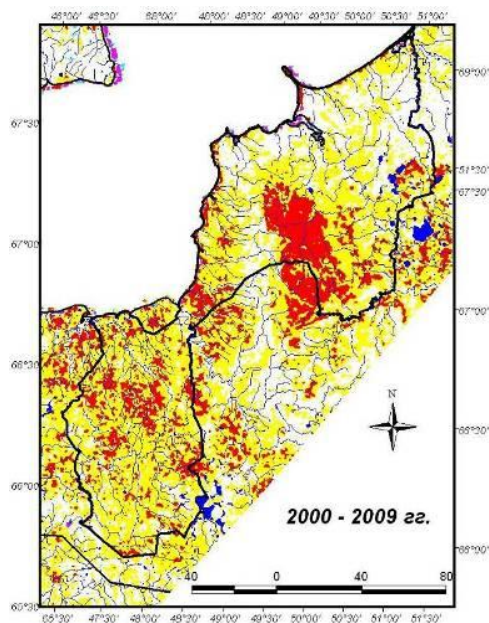


Изменение EVI единиц/10лет



Рис. Изменения ПП (%)

За счёт чего происходит рост продуктивности?



Заключение

Результаты исследований показали, что изменения растительного покрова Арктического региона на фоне климатических трансформаций сопровождаются

- ростом продуктивности (зелёной фитомассы, показателей хлорофильного индекса);

- изменениями видовой структуры, соотношением доминирующих жизненных форм;

Использование материалов спутниковых съемок наглядно отражает происходящие изменения. При составлении рядов сравнения необходимо учитывать меж годовые/сезонные особенности растительного покрова, различия сенсоров, пространственного разрешения. Учет этих факторов ошибок часто нивелирует большую часть ложных заключений о трансформации растительных сообществ

