



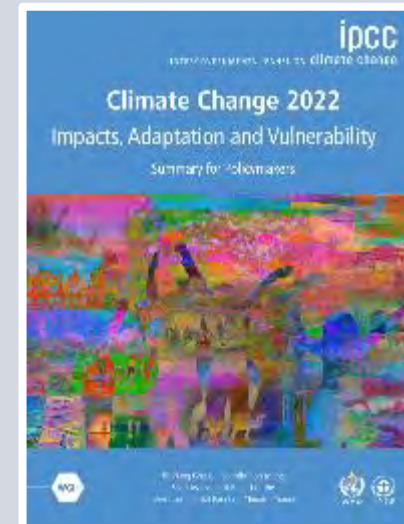
Оценка динамики зарастания древесной растительностью тундры и лесотундры России по данным спутникового мониторинга за период с 2001 по 2024 год

Е.А. Стыценко, С.А. Барталев, Т.С. Ховратович

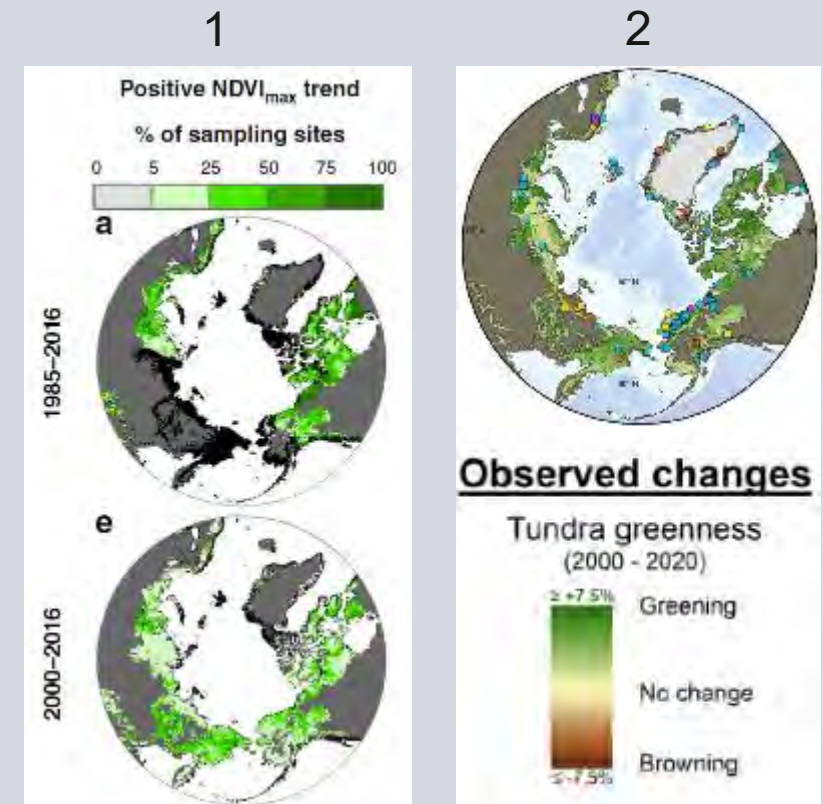
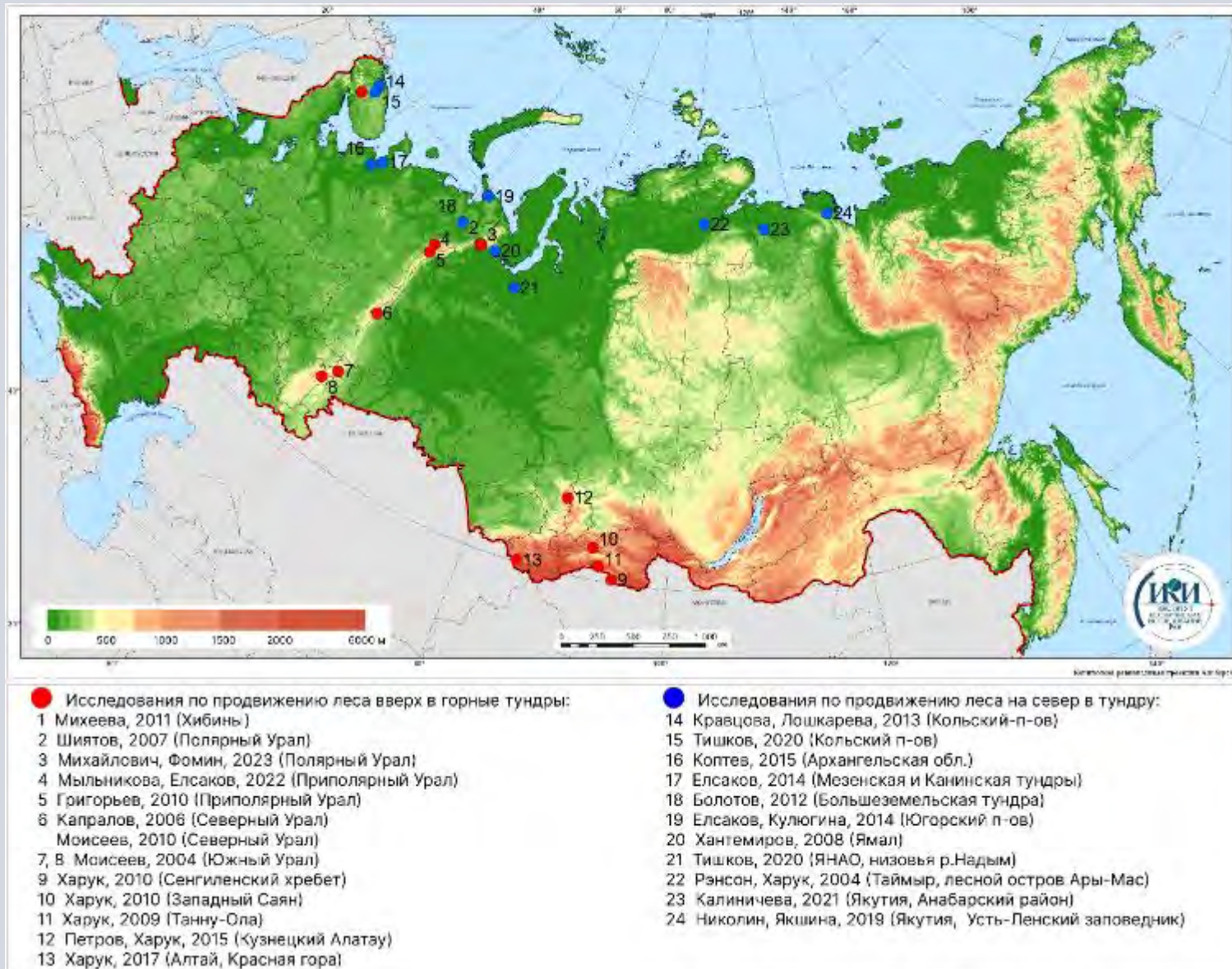
Институт космических исследований РАН

XXIII международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»,
Москва, 10-14 ноября 2025

- В условиях современного глобального потепления климата важной проблемой исследований является влияние факторов изменения климата на реакцию растительных сообществ;
- Наиболее выраженная пространственно-временная динамика экосистем наблюдается на территориях с экстремальными климатическими и почвенными условиями;
- Последствия изменения климата наиболее очевидно проявляются в виде смещения границ биомов, в т.ч. смещения границы лесов на север в тундру, а в горах – вверх в альпийский пояс.



Степень изученности проблемы



1. Logan T. Berner, et al., 2020. Summer warming explains widespread but not uniform greening in the Arctic tundra biome // Nature communications
2. Zelalem A Mekonnen et al., 2021. Arctic tundra shrubification: a review of mechanisms and impacts on ecosystem carbon balance // Environmental research

Границы зоны тундры и зоны лесотундры

Большая Российская энциклопедия:

Тундра – зональный тип ландшафта с преобладанием мохово-лишайниковой растительности, низкорослых многолетних трав, кустарничков и низкорослых кустарников. Характерная черта – *безлесье*.

↓
Тундра арктического
и субарктического
климатических поясов

↓
Горная тундра

Лесотундра, или экотон (переходная зона) «тайга-тундра» – зональный тип ландшафта, для которого характерно *чередование* участков тундры, леса и редколесья на мохово-травяно-кустарниковом покрове.

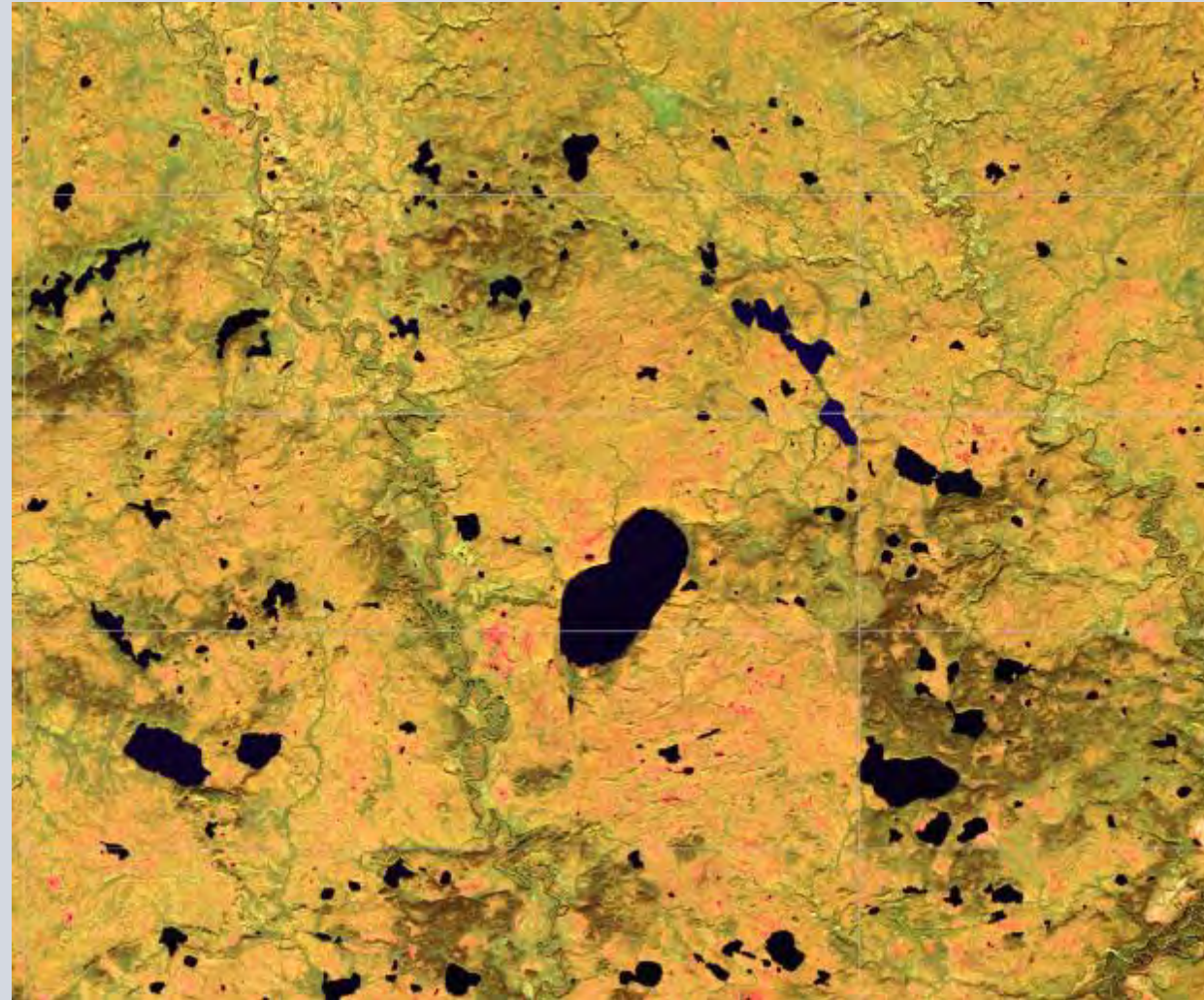


Зоны и типы поясности растительности.
Национальный Атлас России

Границы зоны тундры и зоны лесотундры: особенности

- отсутствие четко выраженной границы между тундрой и тайгой;
- граница между тундрой и тайгой – переходная зона, в которой наблюдается чередование участков земного покрова, где преобладает лесная растительность, с участками, где преобладает характерная для тундр растительность с отсутствием древостоев;
- ширина переходной зоны и широты её границ различаются на разных долготах;
- наблюдается «мозаичная картина» – при движении с севера на юг чередуются разные ландшафты.

Изображение Landsat-9 (NIR-SWIR-Red), июль 2025, Ненецкий АО, Малоземельская тундра



Спутниковые карты типов наземных экосистем

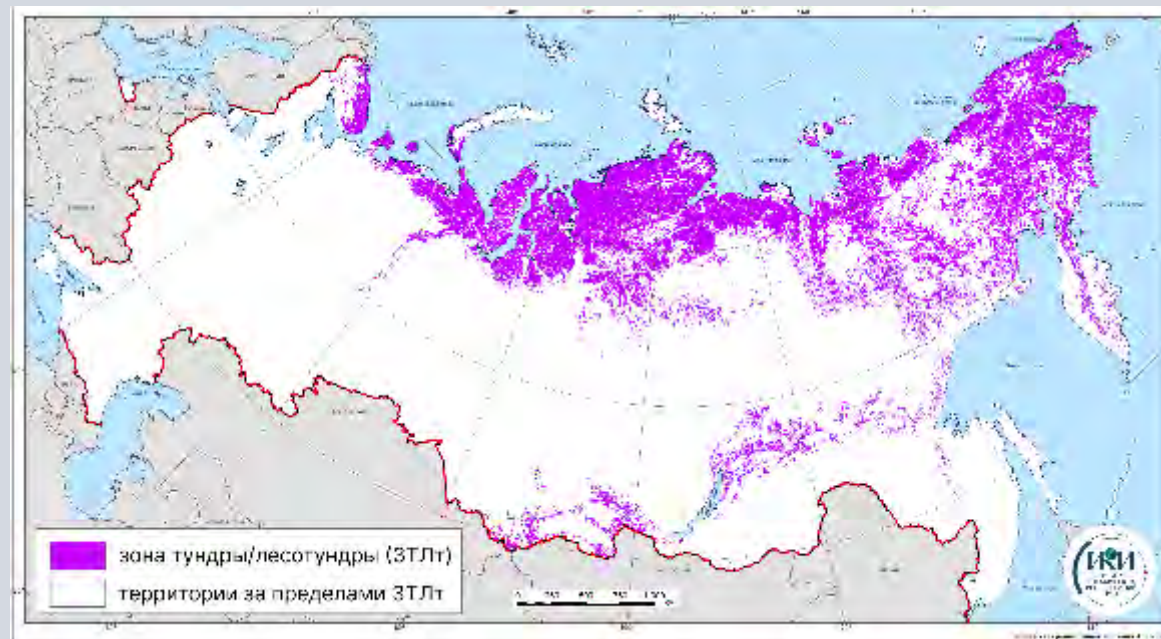
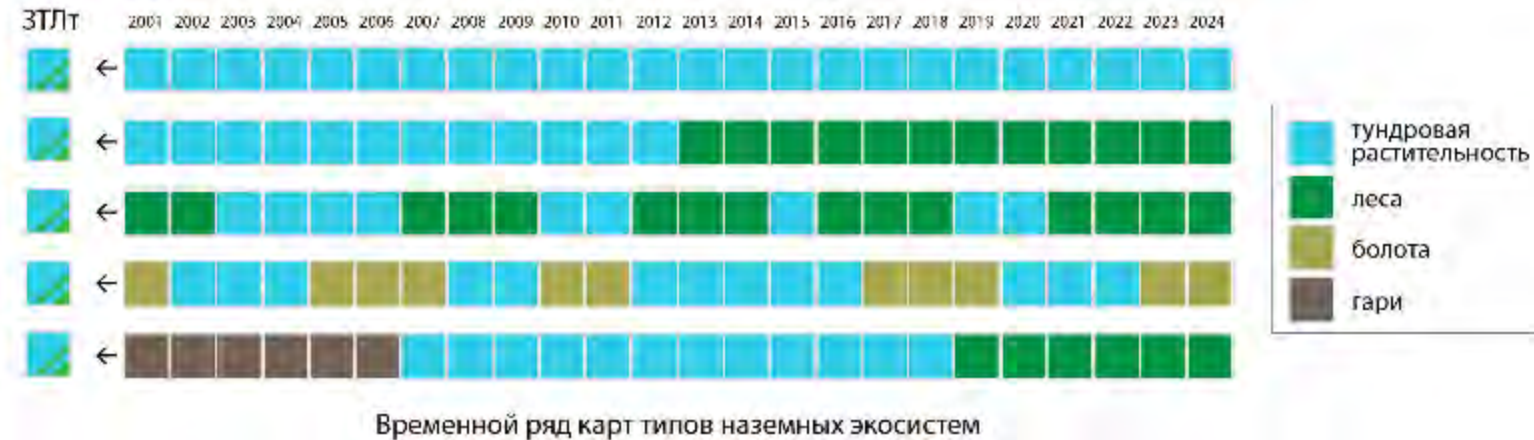
2001 год

2024 год



Формирование маски зоны тундры/лесотундры

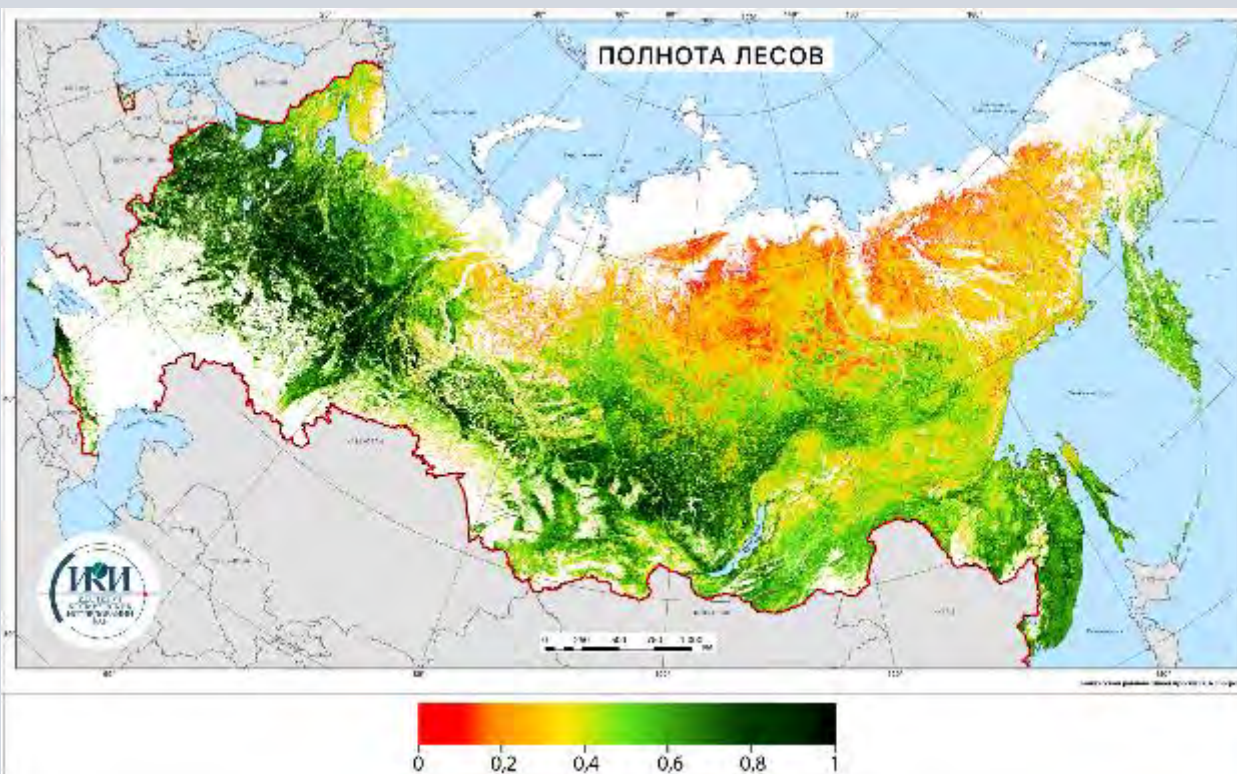
Формирование маски зоны тундры/лесотундры (ЗТЛт)



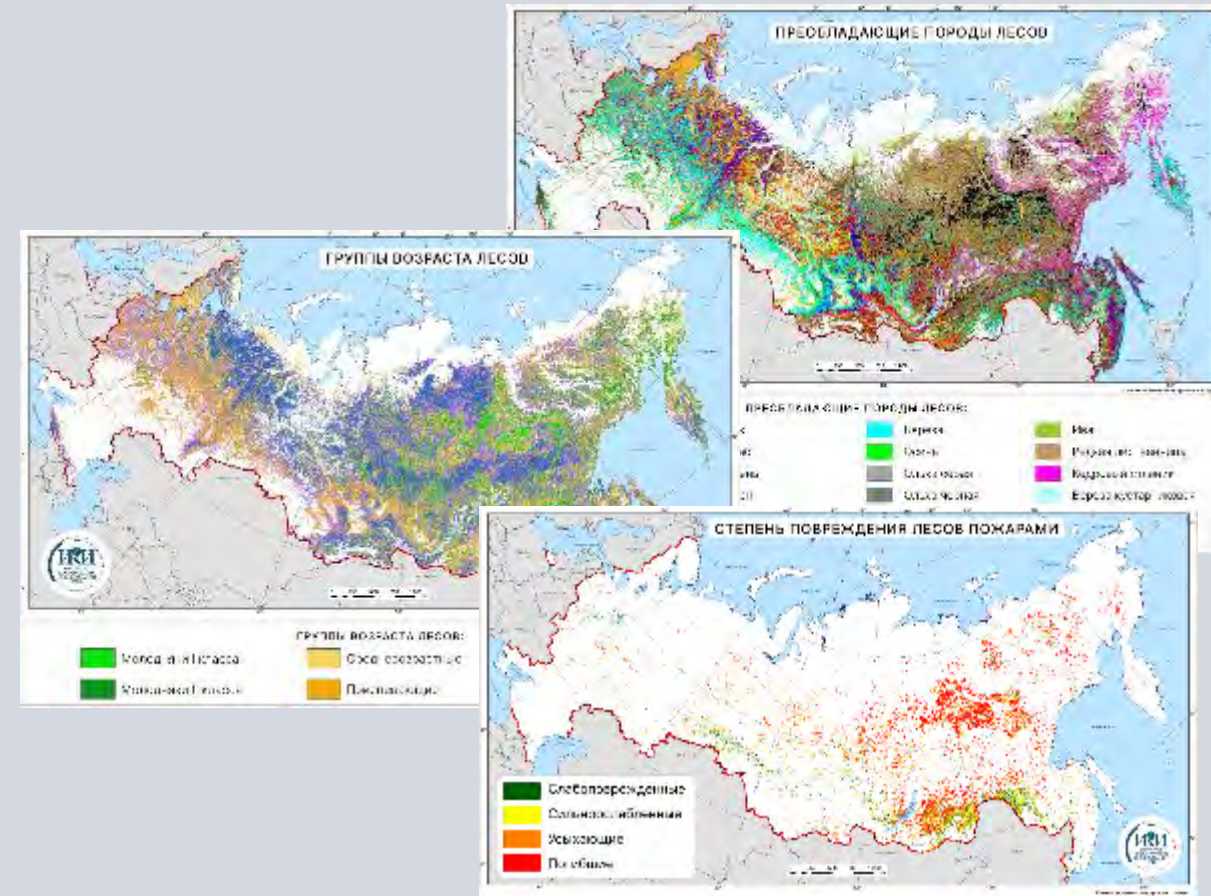
Площадь зоны
тундры/лесотундры:

$$S = 282,6 \text{ млн га}$$

Спутниковые карты горизонтальной структуры лесов



Оценка площади лесов и редколесий в зоне тундры/лесотундры

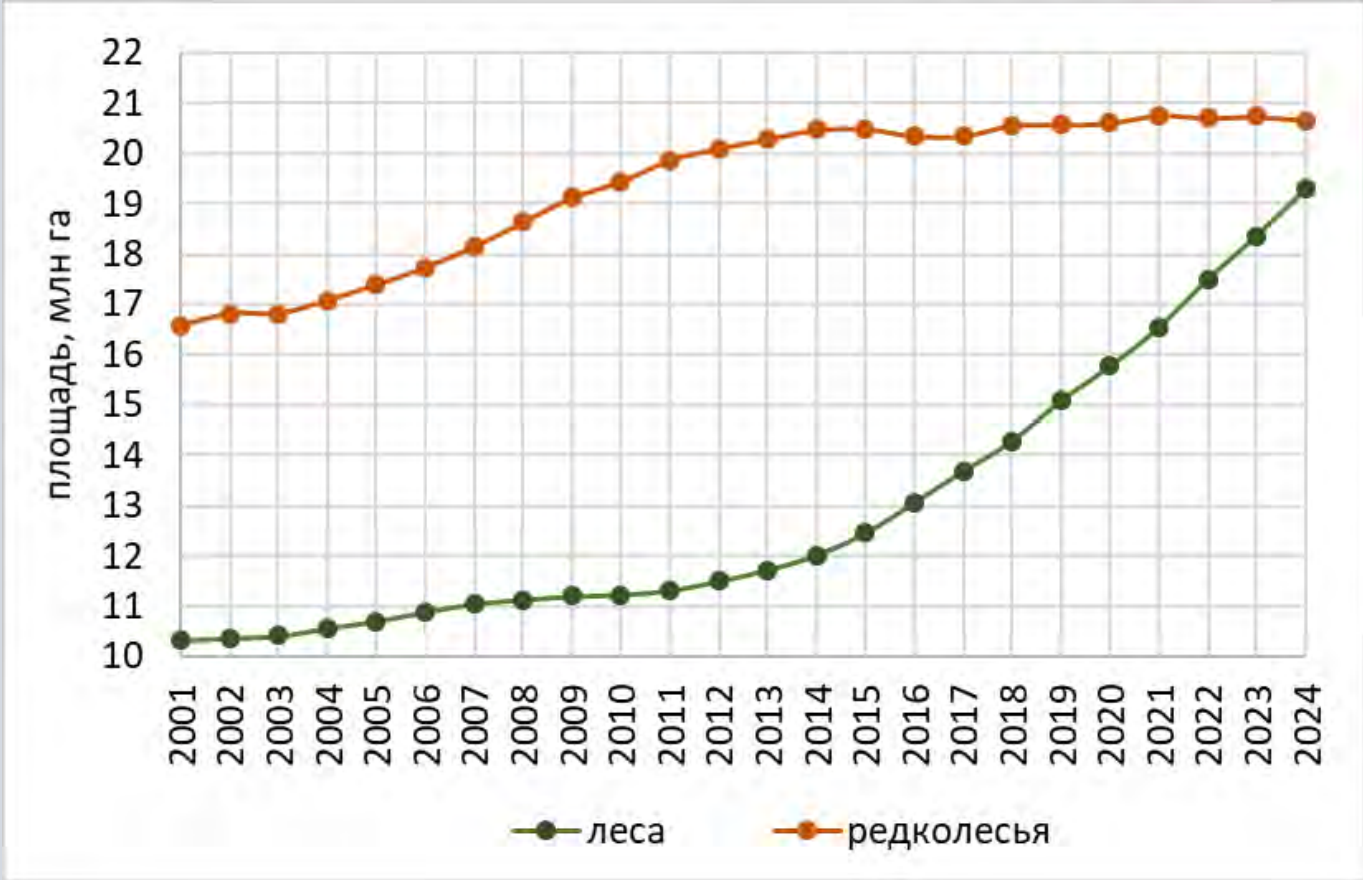


Лесоустроительная инструкция:

Лесные земли, покрытые лесной растительностью:

- земли, занятые **лесными насаждениями** естественного и искусственного происхождения с **полнотой** 0,4 доли единицы и выше в возрасте молодняков и с **полнотой** 0,3 доли единицы и выше в возрасте, превышающем возраст молодняков;
- земли, занятые **кустарниками**, на которых в силу естественно-географических условий не могут произрастать древесные породы или на которых специально организуются кустарниковые хозяйства (прутяных и высокотаннидных ив, орехоплодных, технических культур);
- плантации лесных древесных пород, предназначенные для ускоренного выращивания лесных насаждений с целью получения целевых сортиментов или древесной массы для последующей переработки.

Динамика площади лесов и редколесий в зоне тундры/лесотундры



Площадь **лесов**
в зоне тундры/лесотундры

2001	2024
10,3 млн га	19,2 млн га
+ 8,9 млн га	
+ 390 тыс. га в год	

Площадь **редколесий**
в зоне тундры/лесотундры

2001	2024
16,6 млн га	20,7 млн га
+ 4,1 млн га	
+ 178 тыс. га в год	

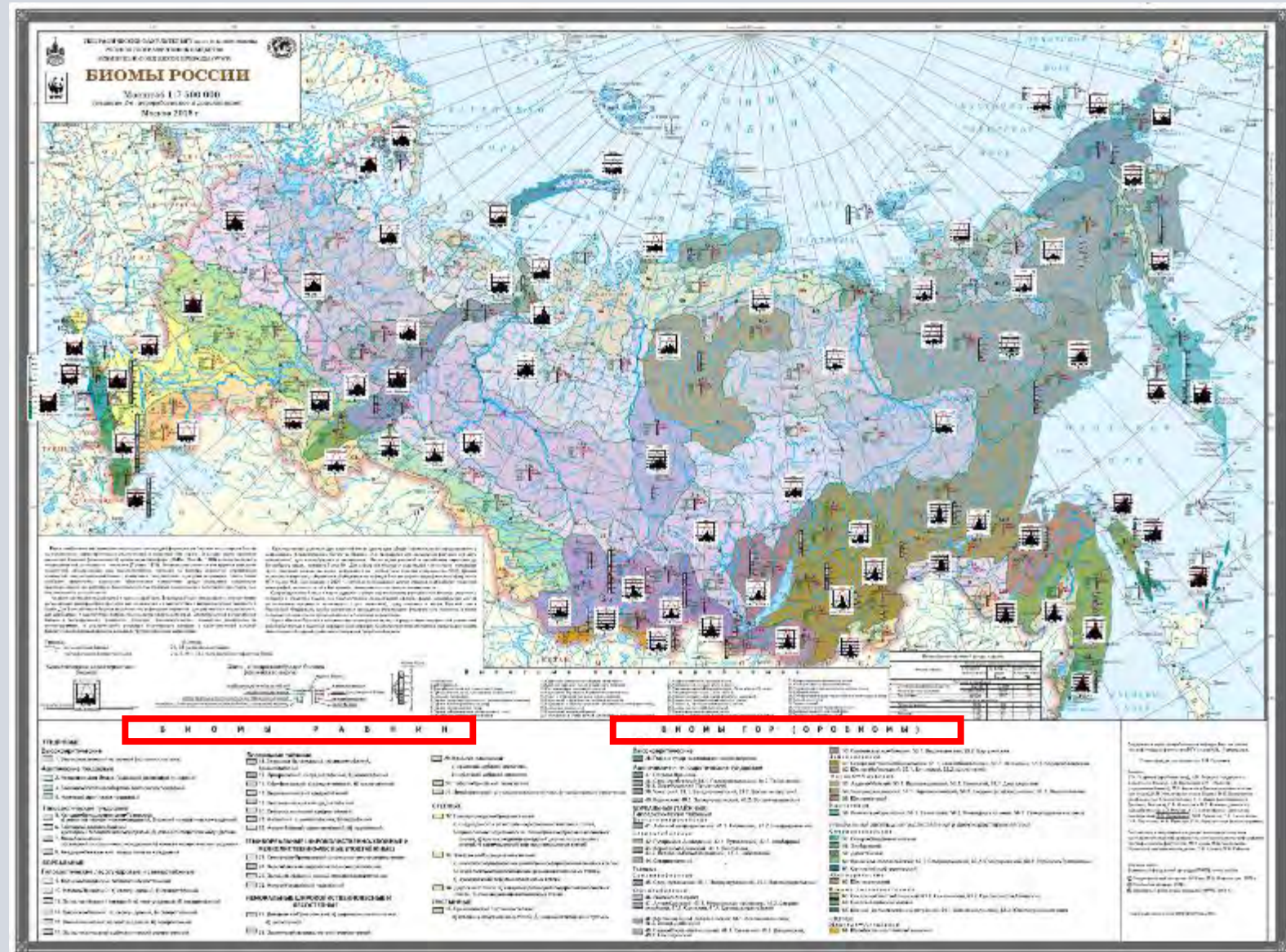
Динамика площади лесов и редколесий в зоне тундры/лесотундры

Площади изменения типов растительного покрова
в зоне тундры/лесотундры, 2001-2024 гг., млн га

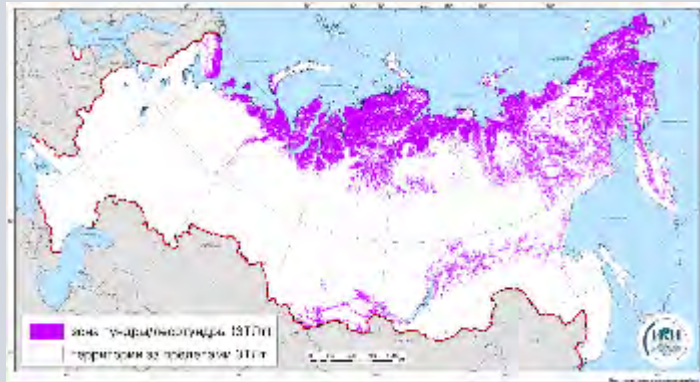
		2024			
		отсутствие ДКР	редколесье	лес	сумма
2001	отсутствие ДКР	238,9	9,8	7,0	255,7
	редколесье	2,8	10,1	3,7	16,6
	лес	1,0	0,8	8,6	10,3
	сумма	242,7	20,7	19,3	282,6

Горные и равнинные тундры и лесотундры

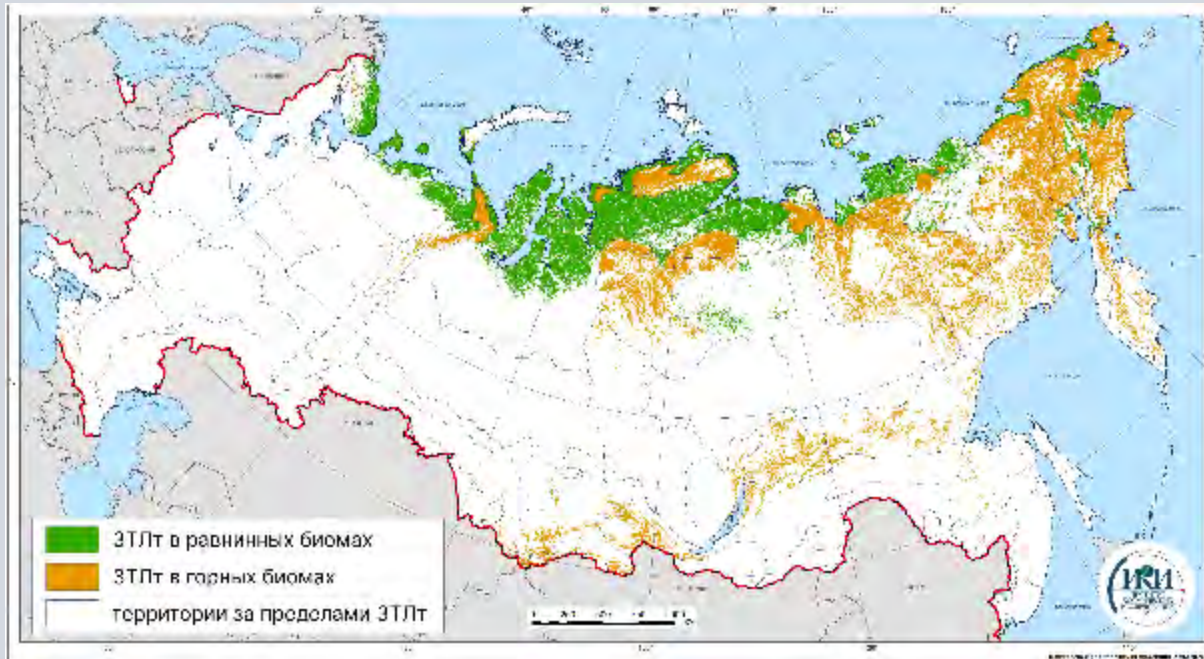
- Огуреева Г.Н. и др. Биомы России – карта. Географический факультет МГУ им. Ломоносова. Русское географическое общество. Всемирный фонд дикой природы (WWF). Москва, 2018.
- Огуреева Г.Н., Бочарникова М.В. Оробиомы как базовые единицы региональной оценки биоразнообразия горных территорий. Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1, №2, с. 52-81
- Огуреева Г.Н. и др. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы. – М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2020. – 623 с.



Формирование маски зоны тундры/лесотундры в равнинных и горных биомах



+



Площадь зоны
тундры/
лесотундры в
равнинных
биомах:

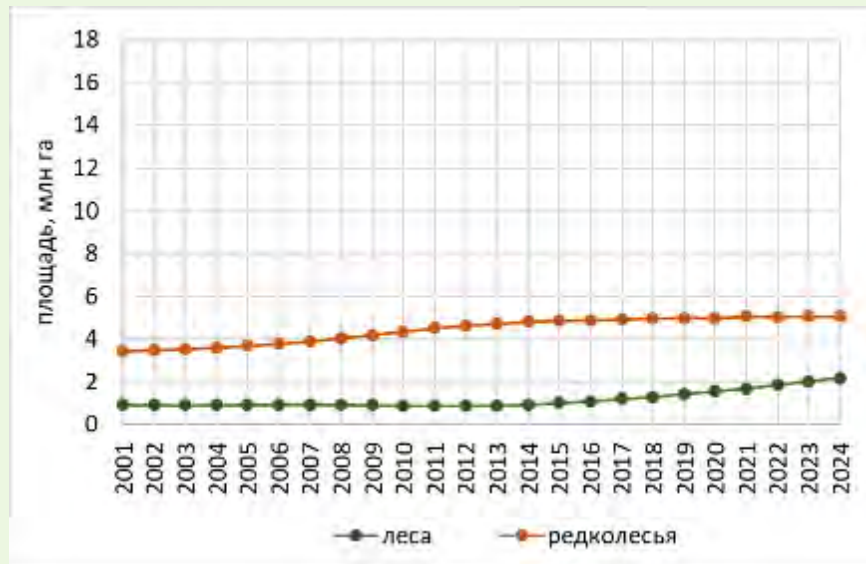
$S = 121,6$ млн га

Площадь зоны
тундры/
лесотундры в
горных
биомах:

$S = 161,0$ млн га

Динамика площади лесов и редколесий в равнинных и горных тундрах/лесотундрах

Площадь лесов и редколесий в зоне тундры/лесотундры в **равнинных** биомах



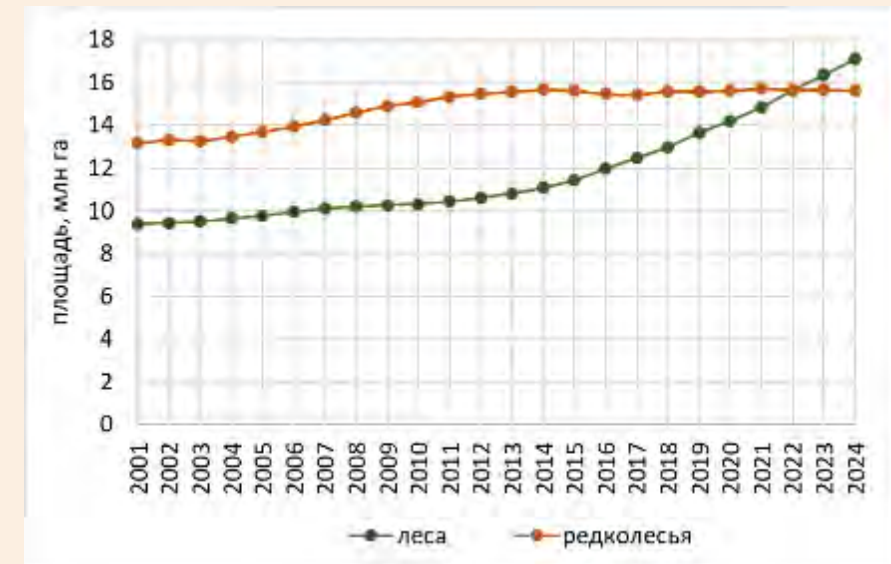
Площадь **лесов**
в зоне тундры/лесотундры

2001	2024
0,9 млн га	2,2 млн га
+ 1,3 млн га	
+ 54 тыс. га в год	

Площадь **редколесий**
в зоне тундры/лесотундры

2001	2024
3,4 млн га	5,0 млн га
+ 1,6 млн га	
+ 70 тыс. га в год	

Площадь лесов и редколесий в зоне тундры/лесотундры в **горных** биомах



Площадь **лесов**
в зоне тундры/лесотундры

2001	2024
9,4 млн га	17,1 млн га
+ 7,7 млн га	
+ 335 тыс. га в год	

Площадь **редколесий**
в зоне тундры/лесотундры

2001	2024
13,1 млн га	15,6 млн га
+ 2,5 млн га	
+ 107 тыс. га в год	

Динамика площади лесов и редколесий в равнинных и горных тундрах/лесотундрах



В зоне равнинной тундры/лесотундры:

- площадь леса увеличилась на 1,3 млн га с 0,9 млн га до 2,2 млн га,

площадь редколесий возросла на 1,6 млн га с 3,4 млн га до 5,0 млн га.

В зоне горной тундры/лесотундры:

- площадь леса увеличилась на 7,7 млн га с 9,4 млн га до 17,1 млн га,

- площадь редколесий возросла на 2,5 млн га с 13,1 млн га до 15,6 млн га.

Динамика площади лесов и редколесий в равнинных и горных тундрах/лесотундрах

Площади изменения типов растительного покрова
в зоне тундры/лесотундры, 2001-2024 гг., млн га

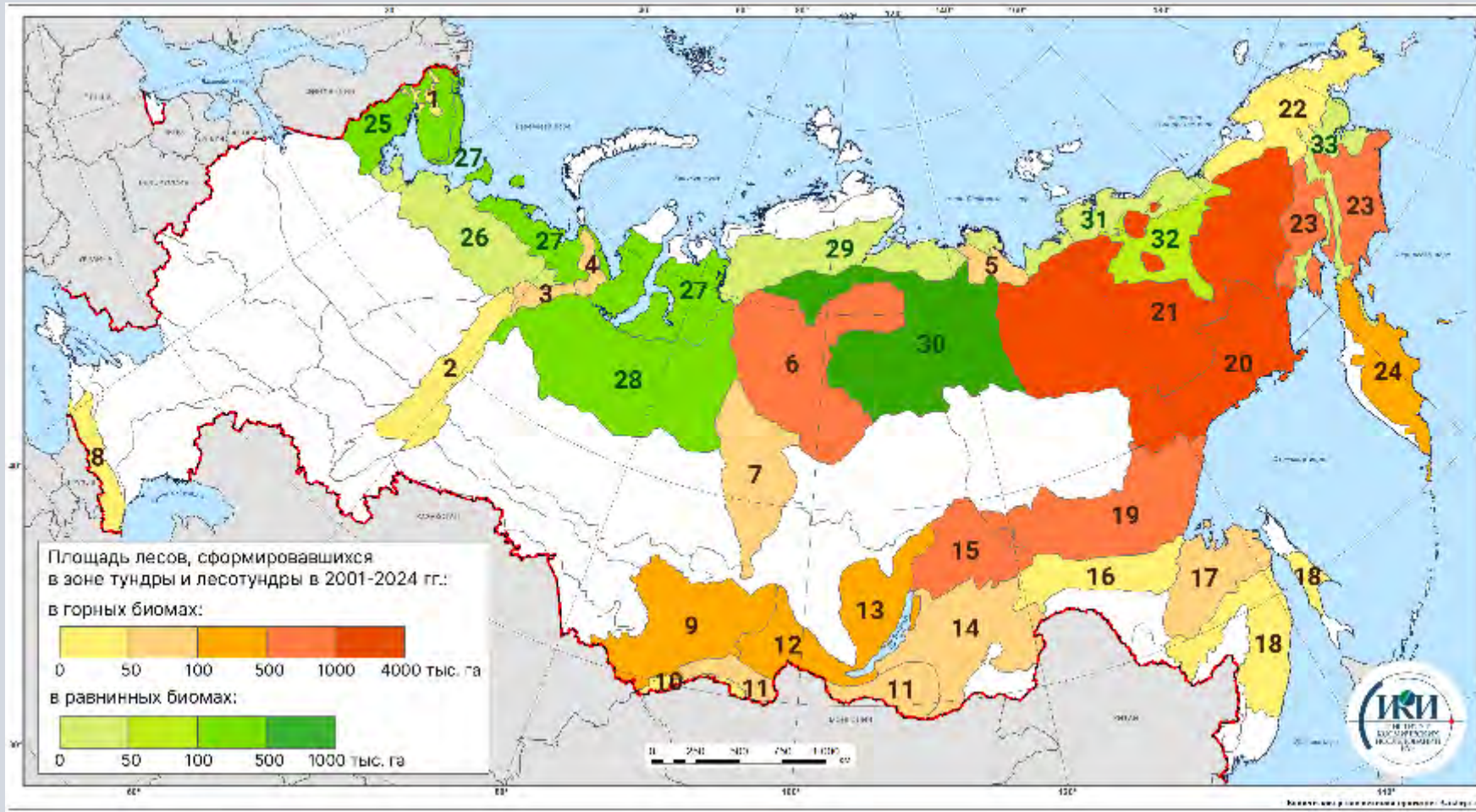
в равнинных
биомах

		2024			
		отсутствие ДКР	редколесье	лес	сумма
2001	отсутствие ДКР	113,6	2,6	1,0	117,2
	редколесье	0,6	2,3	0,5	3,4
	лес	0,1	0,1	0,7	0,9
	сумма	114,3	5,1	2,2	121,6

в горных
биомах

		2024			
		отсутствие ДКР	редколесье	лес	сумма
2001	отсутствие ДКР	125,3	7,2	6,0	138,5
	редколесье	2,3	7,8	3,1	13,1
	лес	0,8	0,6	7,9	9,4
	сумма	128,4	15,6	17,1	161,0

Прирост площади лесов в зоне тундр/лесотундр в равнинных и горных биомах



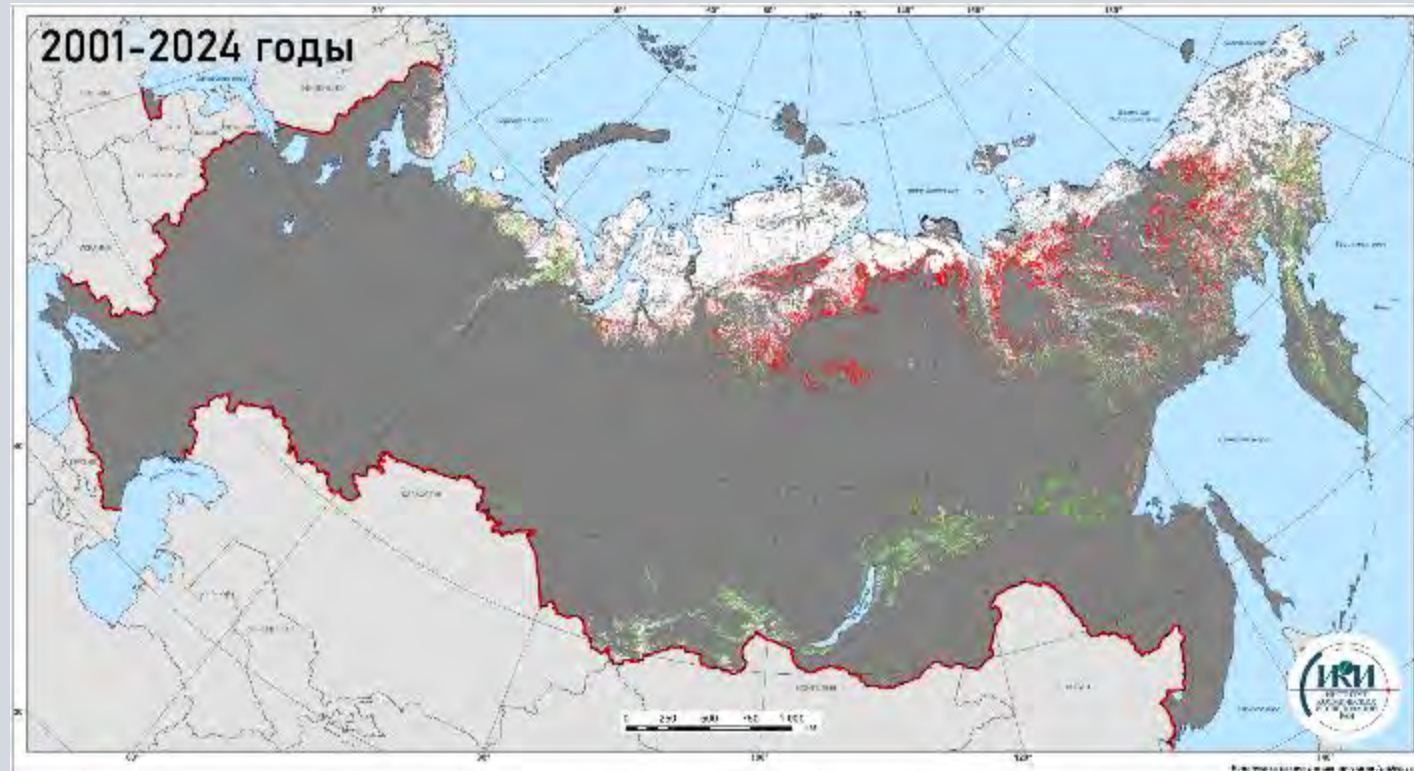
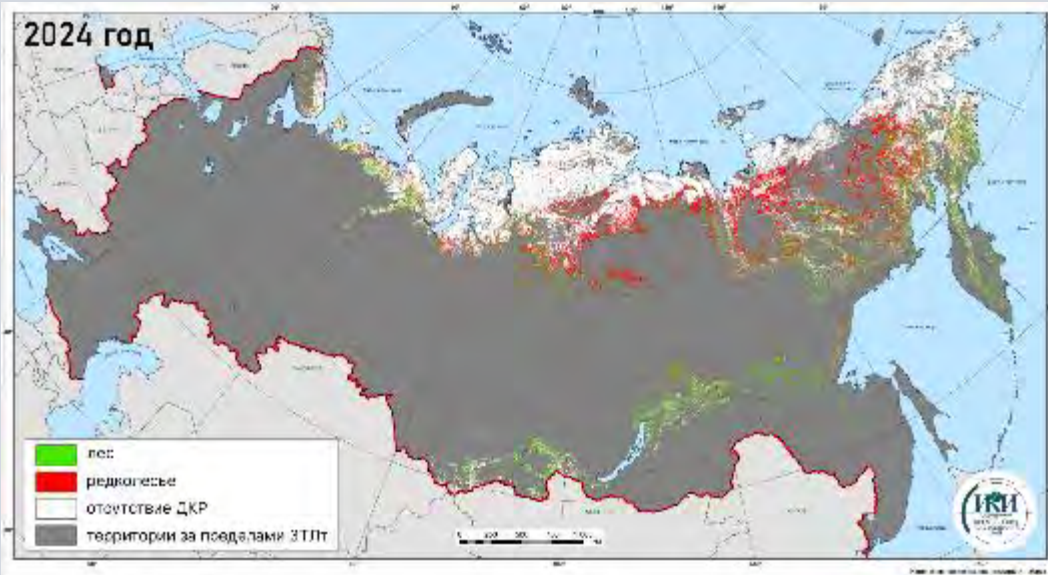
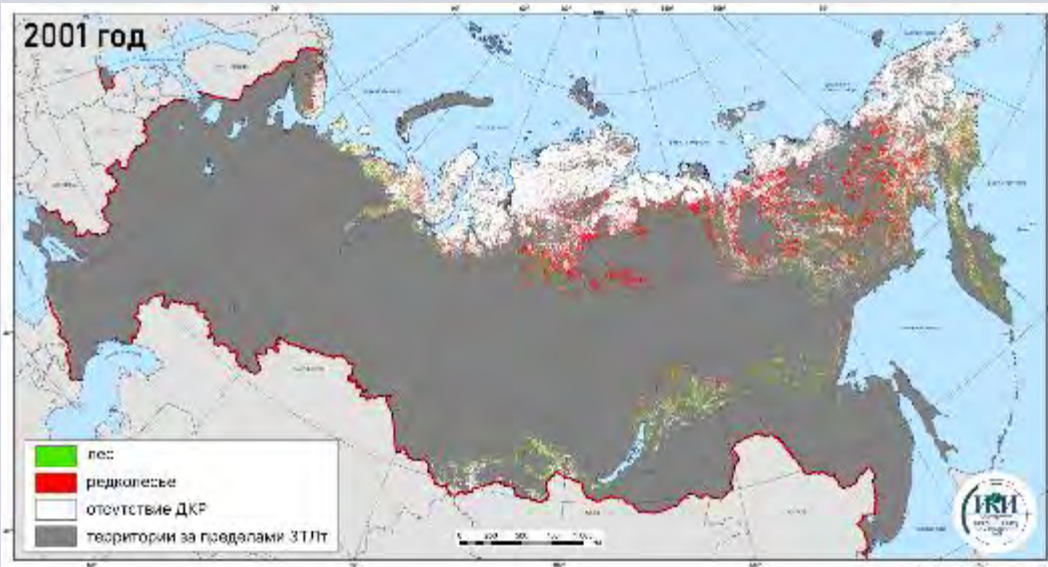
Горные биомы

- 1 Хибинский-Североуральский Хибинский
- 2 Среднеуральский
- 3 Хибинский-Североуральский Североуральский
- 4 Центральносибирский Полярноуральский
- 5 Центральносибирский Хараулахский
- 6 Путоранско-Анабарский
- 7 Енисейского края
Северо-Западнокавказский, Эльбрусский, Сочинский,
- 8 Дагестанский
- 9 Алтае-Саянский
- 10 Юго-Восточноалтайско-Тувинский
- 11 Саяно-Южнозбайкальский
- 12 Восточносаяно-Прибайкальский
- 13 Прибайкальско-Момский
- 14 Южнозбайкальский
- 15 Северовостоchno-Збайкальский
- 16 Янкано-Джагдинский
- 17 Южноохотский
- 18 Сахалино-Сихотэ-Алиньский
- 19 Алдано-Майский
- 20 Североохотский
- 21 Верхояно-Колымский
- 22 Чукотский
- 23 Корякский
- 24 Камчатско-Курильский

Равнинные биомы

- 25 Кольско-Карельский гипоарктическо-таежный
- 26 Мезено-Печорский лесотундрово-северотаежный
Кольско-Большеземельско-Тазовский гипоарктическо-
тундровый
- 27 Западносибирский северный лесотундрово-
северотаежный
- 28 Таймыро-Среднесибирский гипоарктическо-тундровый
- 29 Котуйско-Ленский лесотундрово-северотаежный
- 30 Лено-Колымский гипоарктическо-тундровый
- 32 Нижнеколымский лесотундрово-северотаежный
- 33 Анадыро-Пенжинский гипоарктическо-тундровый

Карты лесов и редколесий и изменений типов растительного покрова в экотоне «тайга-тундра»



Изменение типа древесного растительного покрова в зоне тундр/лесотундр:

- формирование лесов на безлесных территориях
- формирование редколесий на безлесных территориях
- формирование лесов на месте редколесий
- отсутствие ДКР
- территории за пределами ЗТЛТ

Карты лесов и редколесий и изменений доли ДКР

Доля покрытых ДКР земель в лесах и редколесьях зоны тундры/лесотундры

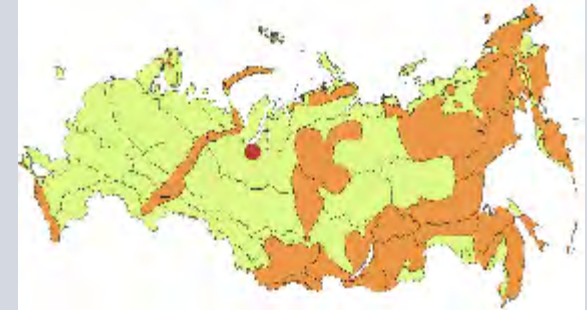
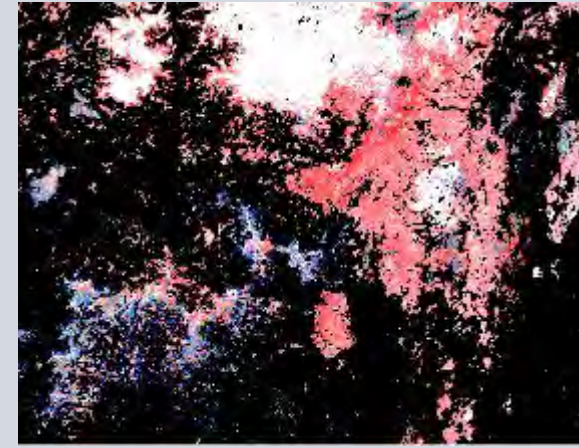
2001

2024



Изменение доли ДКР

2001-2024



Западносибирский северный лесотундрово-северотаежный (равнинный биом)



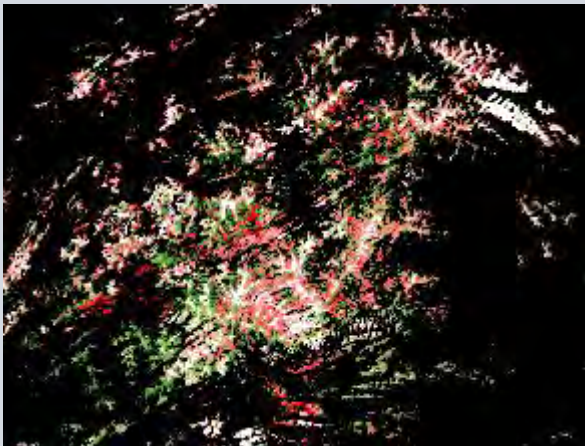
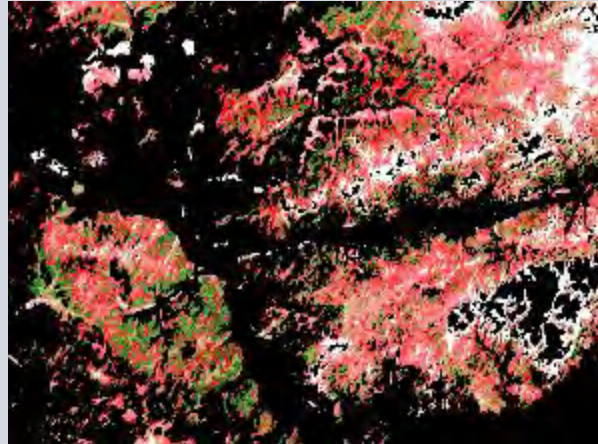
Котуйско-Ленский лесотундрово-северотаежный (равнинный биом)

Карты лесов и редколесий и изменений доли ДКР

Доля покрытых ДКР земель в лесах и редколесьях зоны тундры/лесотундры

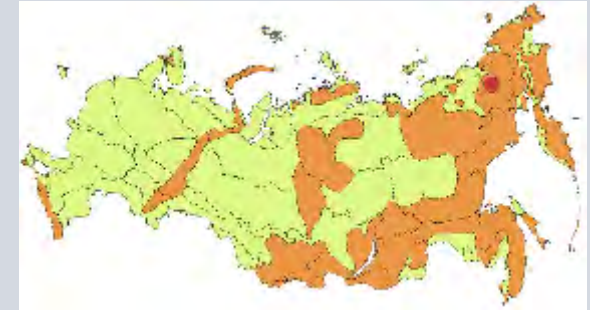
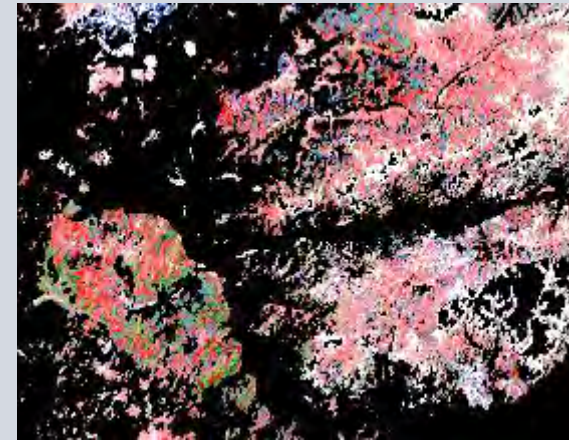
2001

2024



Изменение доли ДКР

2001-2024

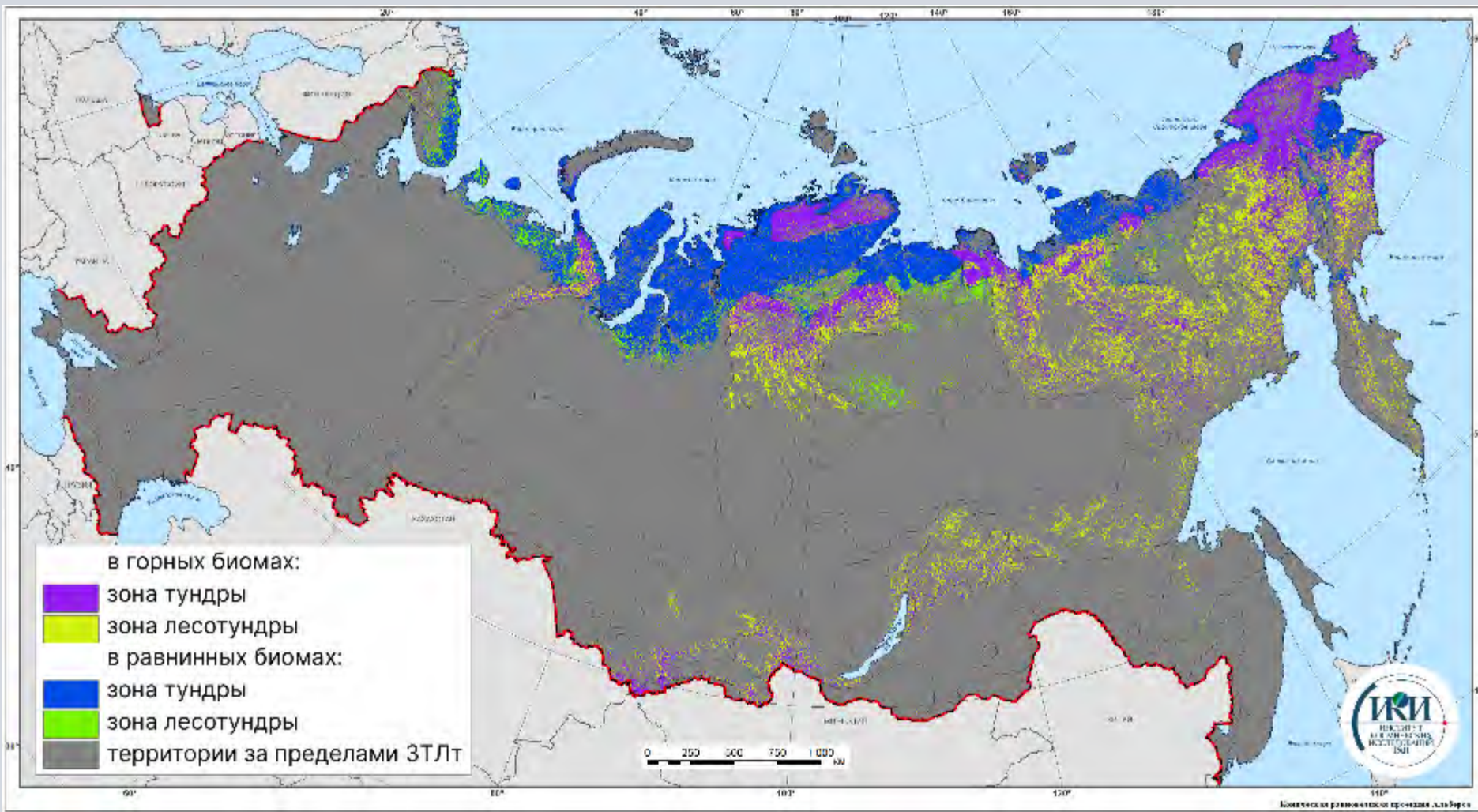


Верхояно-Колымский
(горный биом)



Северовосточно-Забайкальский
(горный биом)

Карта зоны тундры и зоны лесотундры 21 века



Площадь зоны **тундры**
183 млн га

в **равнинных** биомах:
102 млн га
в **горных** биомах:
81 млн га

Площадь зоны **лесотундры**
99 млн га

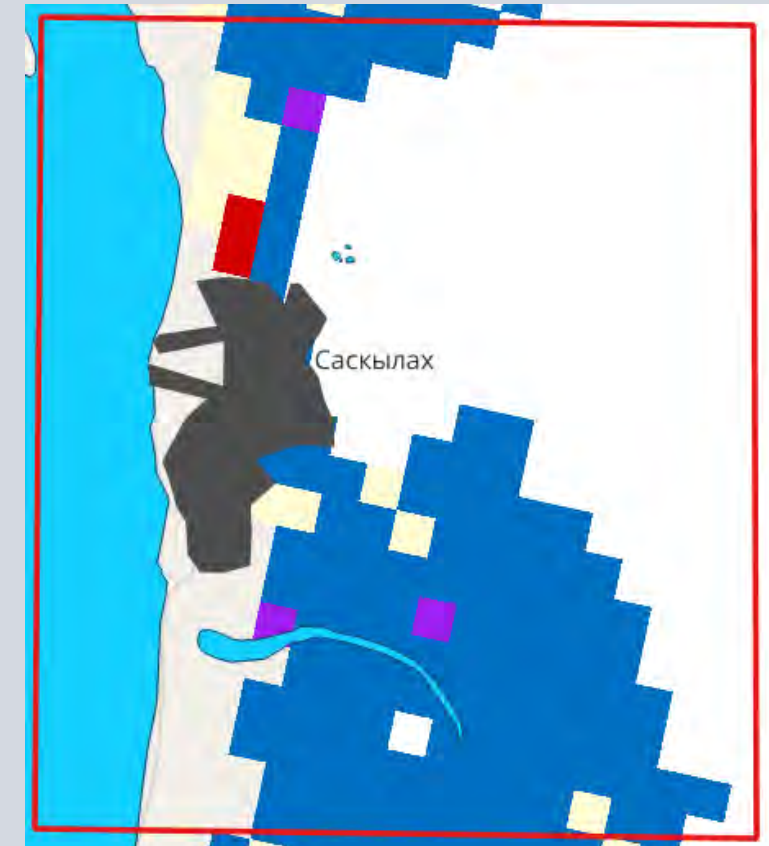
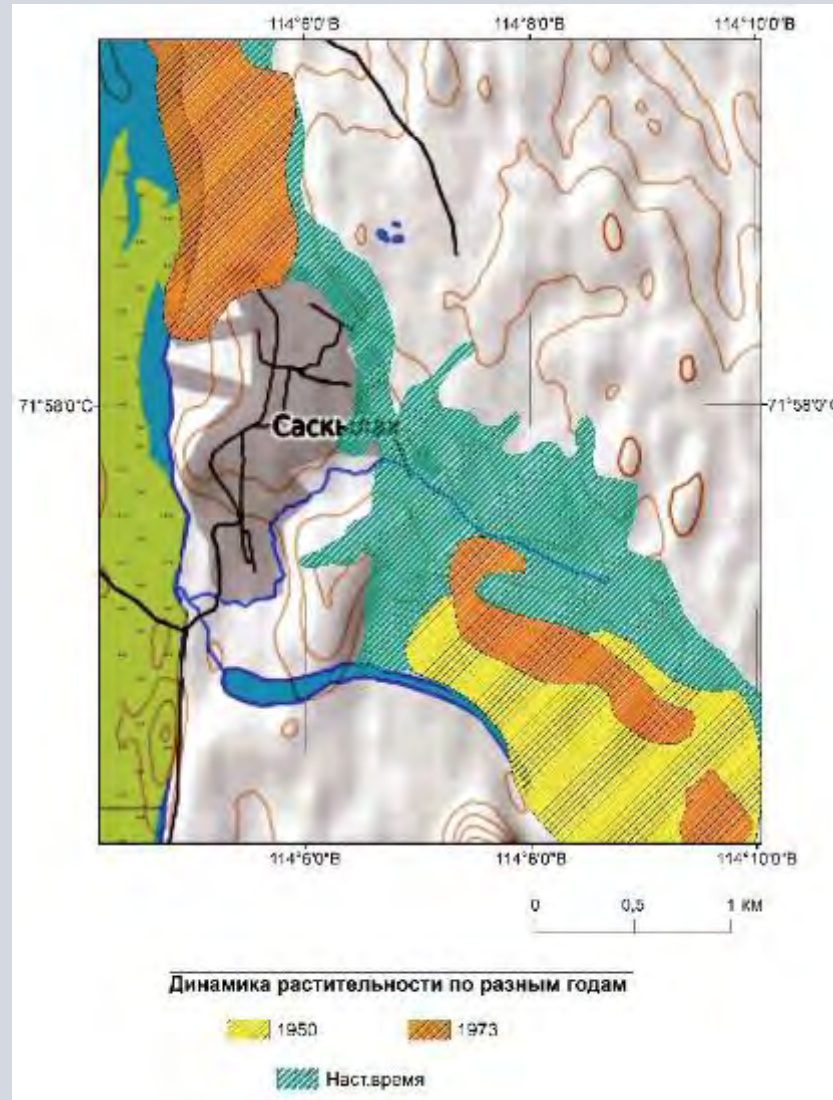
в **равнинных** биомах:
19 млн га
в **горных** биомах:
80 млн га

Сравнение с локальными исследованиями

Калиничева С.В, Никифорова Н.Н.,
Максимов Н.А., Мисайлов И.Е.,
Федоров А.Н. Исследование
наступление леса на тундру в
регионе Восточной Сибири в
условиях меняющегося климата с
применением ГИС и данных
дистанционного зондирования
Земли. Вестник СВФУ. Серия «Науки
о Земле». №4(24). 2021

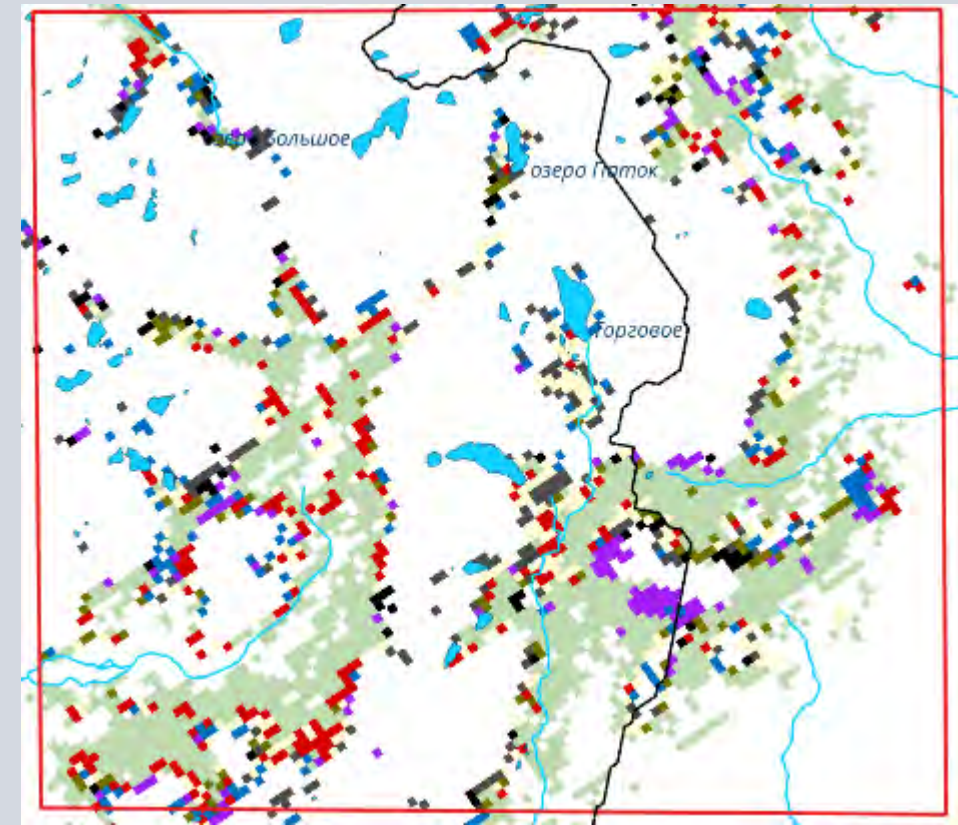
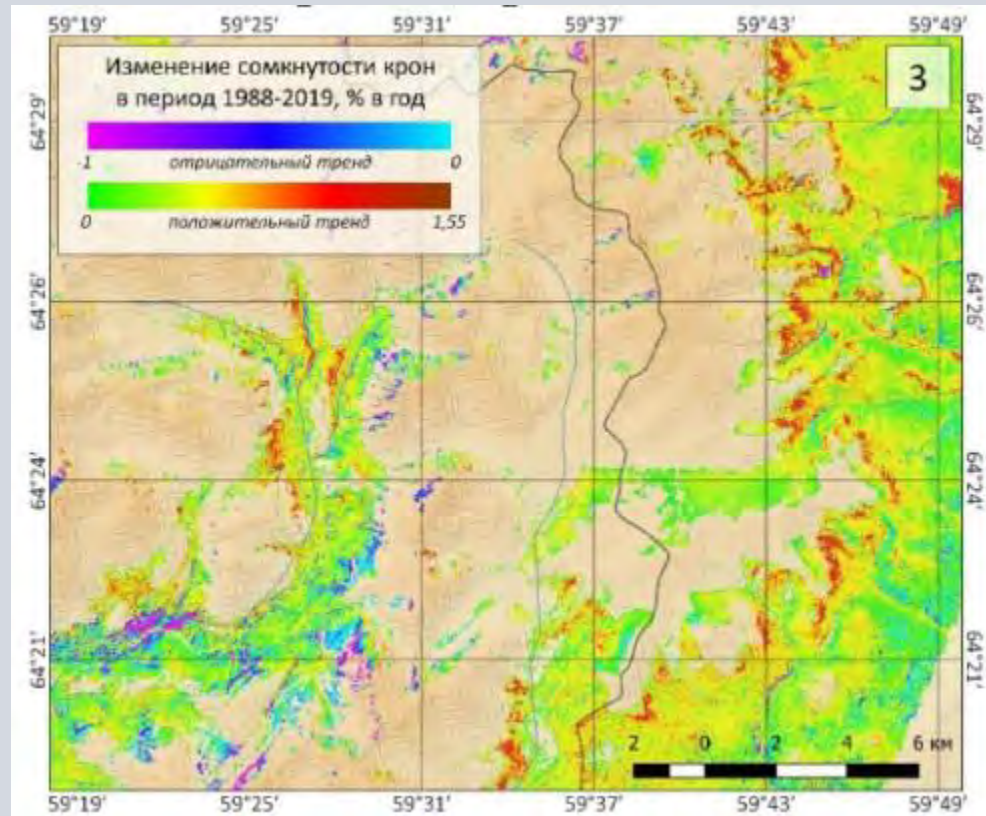
Материалы: топокарты, Landsat 8

Якутия, Анабарский улус



		2024		
		лес	редины	нет ДКР
2001	лес			
	редины			
	нет ДКР			

Сравнение с локальными исследованиями



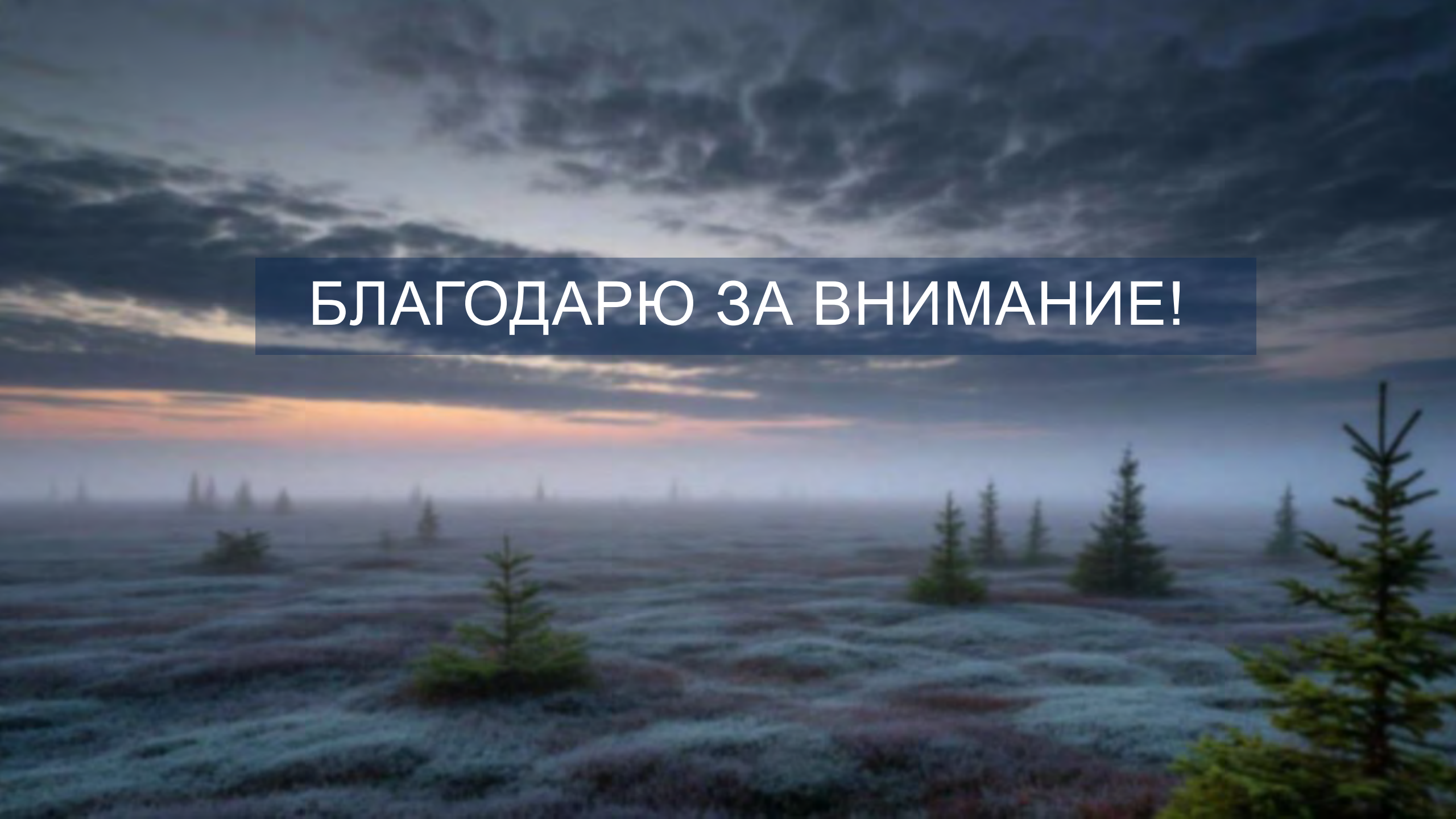
Мыльникова Т.А., Елсаков В.В. Продвижение верхней границы леса национального парка Югыд ва под влиянием климатических трансформаций // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг, №8, 2022. сс. 45-54.
Материалы: Landsat
Приполярный Урал, район оз. Торговое и р. Малый Паток

		2024		
		лес	редины	нет ДКР
2001	лес			
	редины			
	нет ДКР			

- с использованием методов спутникового мониторинга в 21 веке выявлено увеличение площади лесов и редколесий в экотоне «тайга-тундра»

Перспективы

- совершенствование подхода к формированию маски зоны тундры/лесотундры;
- совершенствование подходов раздельной оценки движения леса на север в циркумполярной тундре и вверх по склонам в горных тундрах;
- оценка влияния пожаров, как фактора лесовозобновления на пройденных огнем площадях;
- сравнение результатов спутниковой оценки динамики растительного покрова в экотоне «тайга-тундра» с наземными обследованиями.

A misty forest landscape at dawn or dusk. The foreground is covered in low-lying vegetation, possibly moss or lichen, in shades of blue and purple. Several small evergreen trees are scattered across the landscape. The background is hazy, with more trees visible in the distance. The sky is filled with dark, dramatic clouds, with a thin layer of orange and yellow light near the horizon, suggesting the sun is low. A semi-transparent dark blue rectangular box is centered horizontally across the middle of the image, containing white text.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!