

Вклад спутникового спектрорадиометра MODIS в изучение растительного покрова России

Барталев С.А., Ворушилов И.И., Егоров В.А., Жарко В.О.,
Лупян Е.А., Миклашевич Т.С., Сайгин И.А., Стыценко Ф.В.,
Стыценко Е.А., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С., Шабанов Н.В.

23-ая Международная конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"

Институт космических исследований Российской академии наук

10 - 14 ноября 2025, Москва

Предпосылки применения MODIS для мониторинга растительного покрова России

1) Накопленный в Море к началу 2000-х годов опыт глобального картографирования растительности с использованием «аналогичных» систем ДЗЗ:

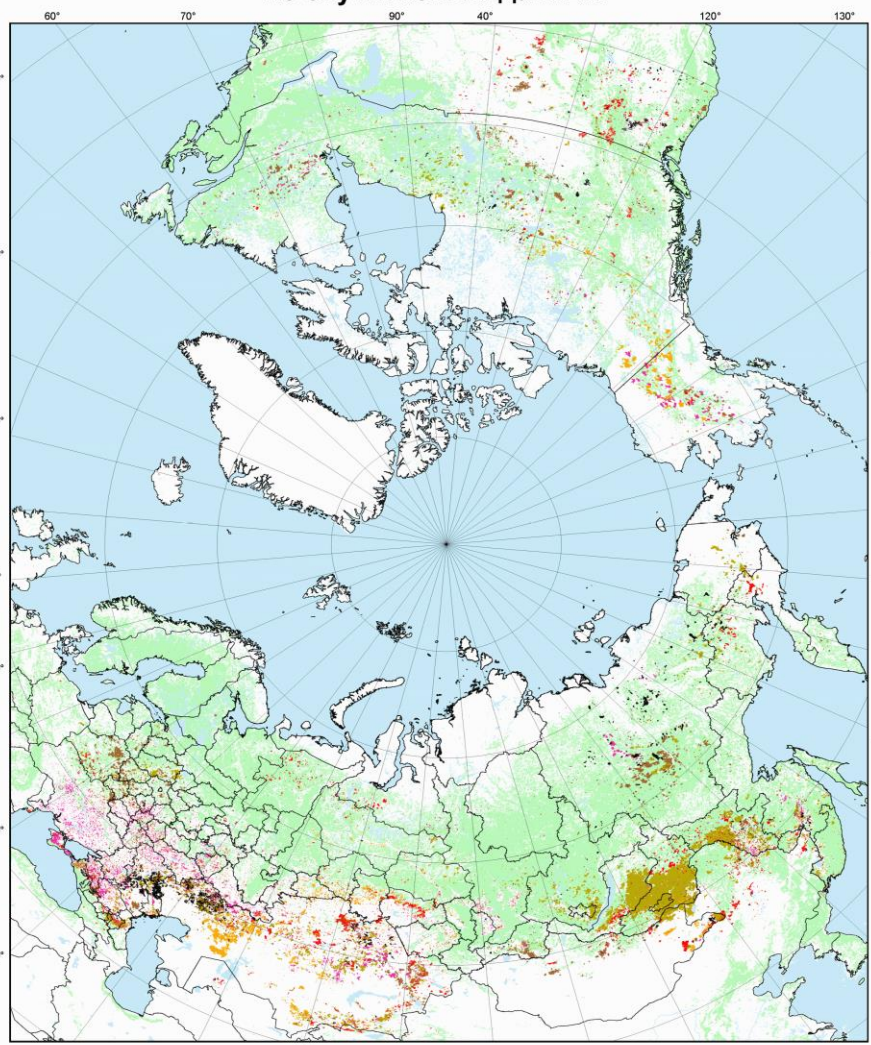
- NOAA-AVHRR, глобальное картографирование земного покрова (проекты IGBP-DIS и Университета Мэриленд, США);
- SPOT-Vegetation, глобальное картографирование растительного покрова и его повреждений пожарами (проекты GLC2000 и GBA2000, Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии);

2) Накопленный в России (ИКИ РАН и ЦЭПЛ РАН) опыт картографирования растительности больших территорий по данным SPOT-Vegetation (карты наземных экосистем Северной Евразии, Исландии и Гренландии; циркумполярное детектирование повреждений лесов пожарами);

3) Наличие в России (ИКИ РАН) опыта работы с большими архивами данных ДЗЗ и организации их потоковой обработки (данные NOAA-AVHRR и SPOT-Vegetation).

Предшествующий появлению MODIS опыт ИКИ РАН по картографированию растительности больших территорий

Повреждения бореальных экосистем пожарами по спутниковым данным



2000

2001

2002

2003

2004

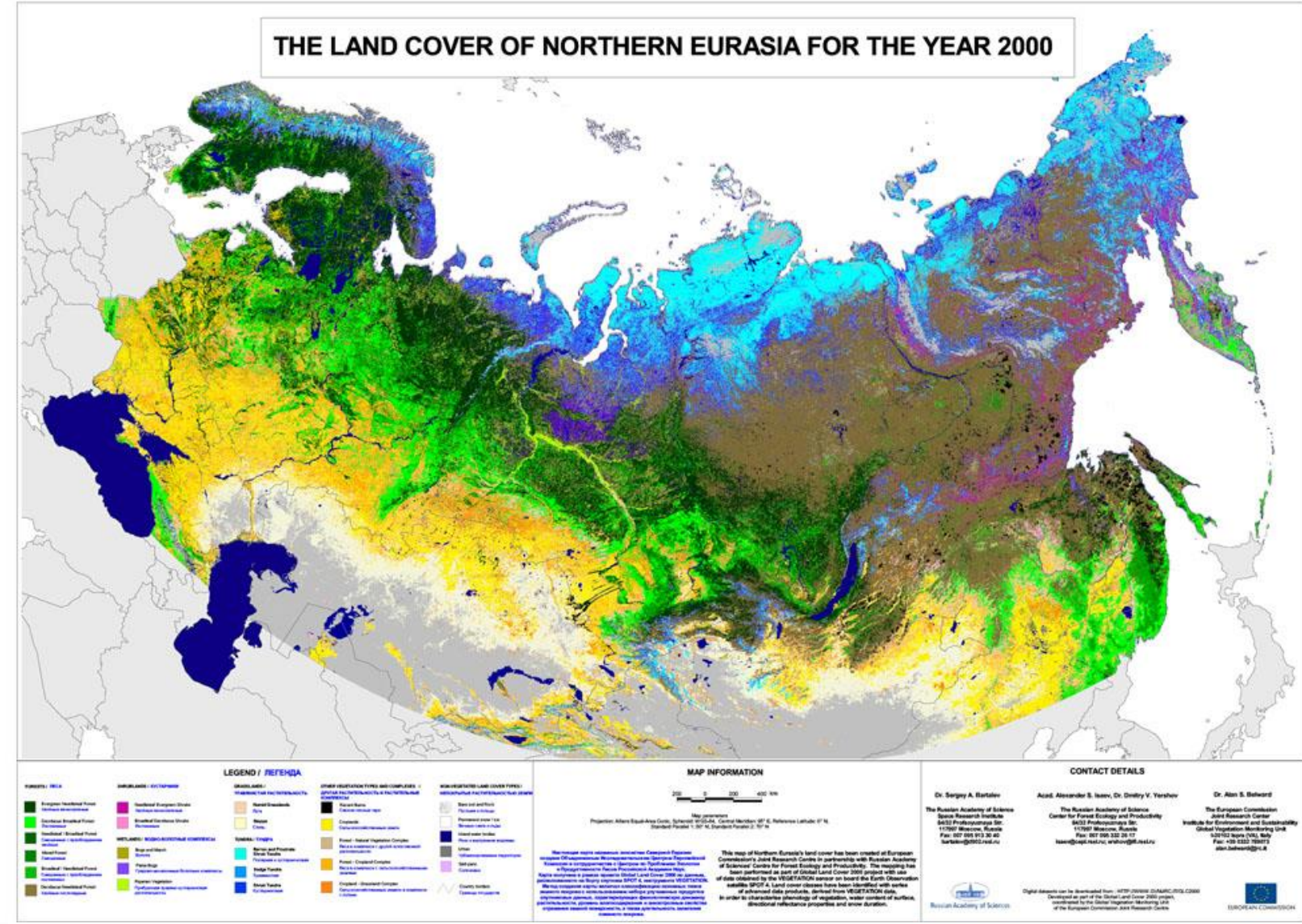
2005

Леса

Водные объекты



Институт космических исследований РАН



Преимущества данных MODIS для мониторинга растительного покрова

1) Усовершенствованные технические возможности съемочной системы MODIS:

- Съемка в информативных для мониторинга растительности спектральных диапазонах (голубой, красный, ближний и средний ИК диапазоны);
- Повышенное (в сравнении с предшествующими аналогами в 2-4 раза) пространственное разрешение съемки;
- Высокое временное разрешение (съемка не реже чем 1 раз в день);
- Беспрецедентно продолжительное функционирование системы (25 лет), позволившее сформировать длинные однородные временные ряды данных;

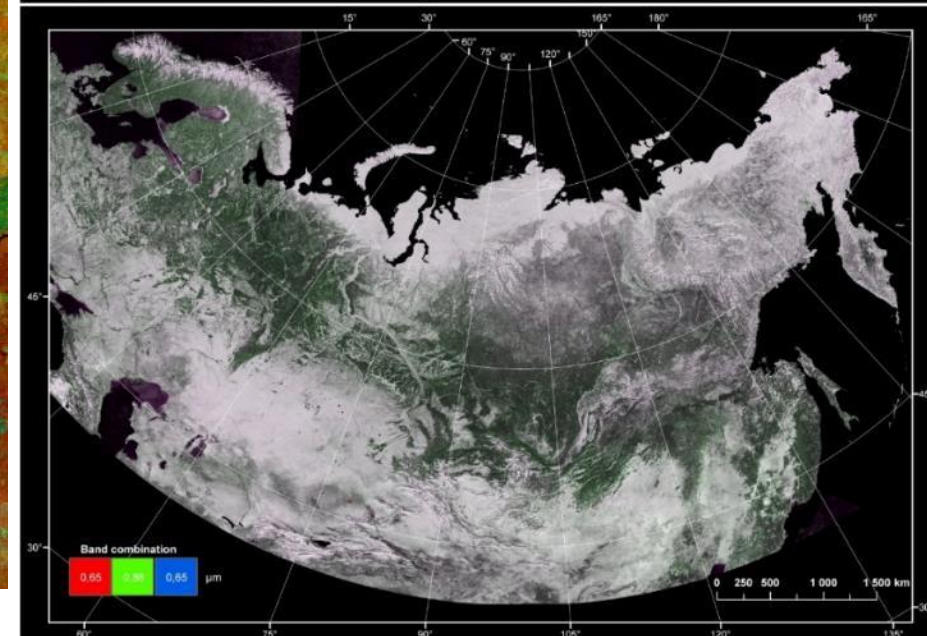
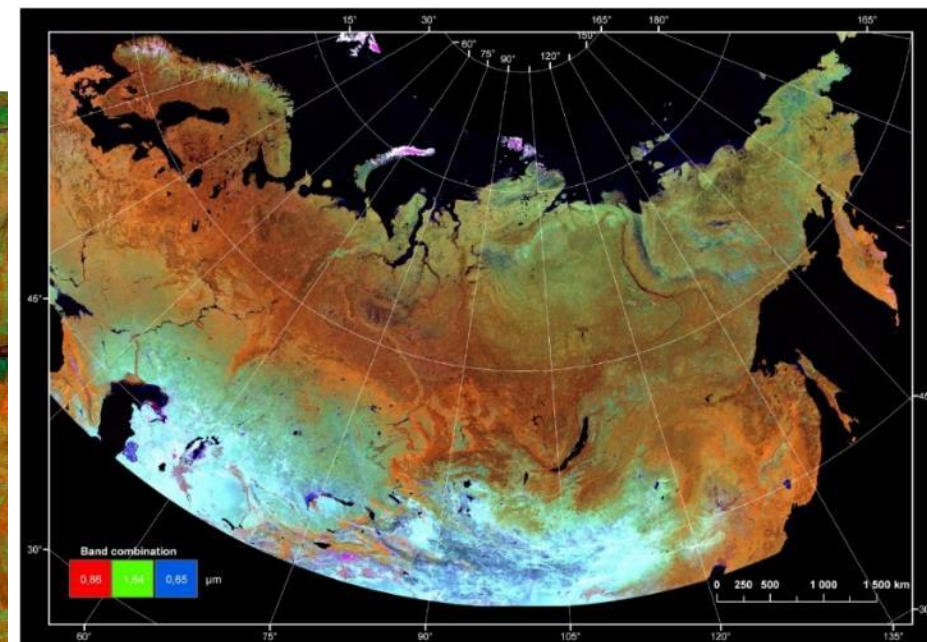
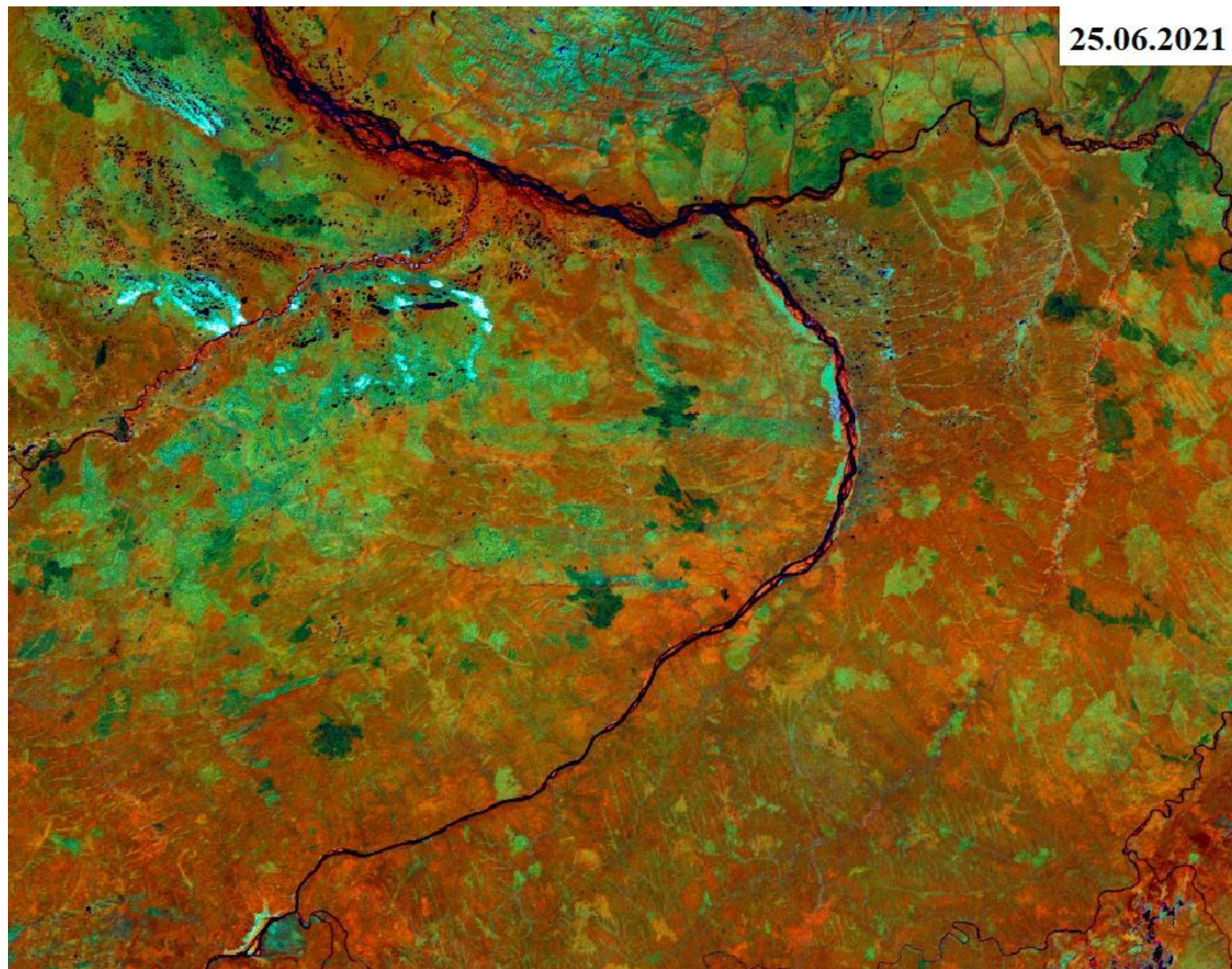
2) Высокий уровень предварительной обработки данных, включая:

- Радиометрическую калибровку;
- Атмосферную коррекцию;
- Фильтрацию эффектов влияния облаков и др.

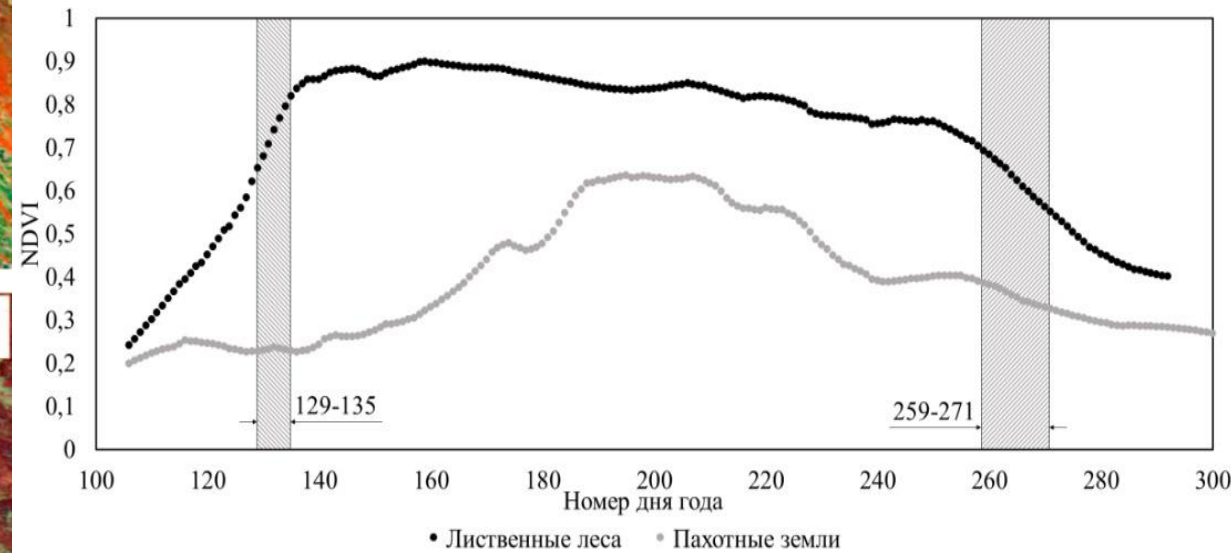
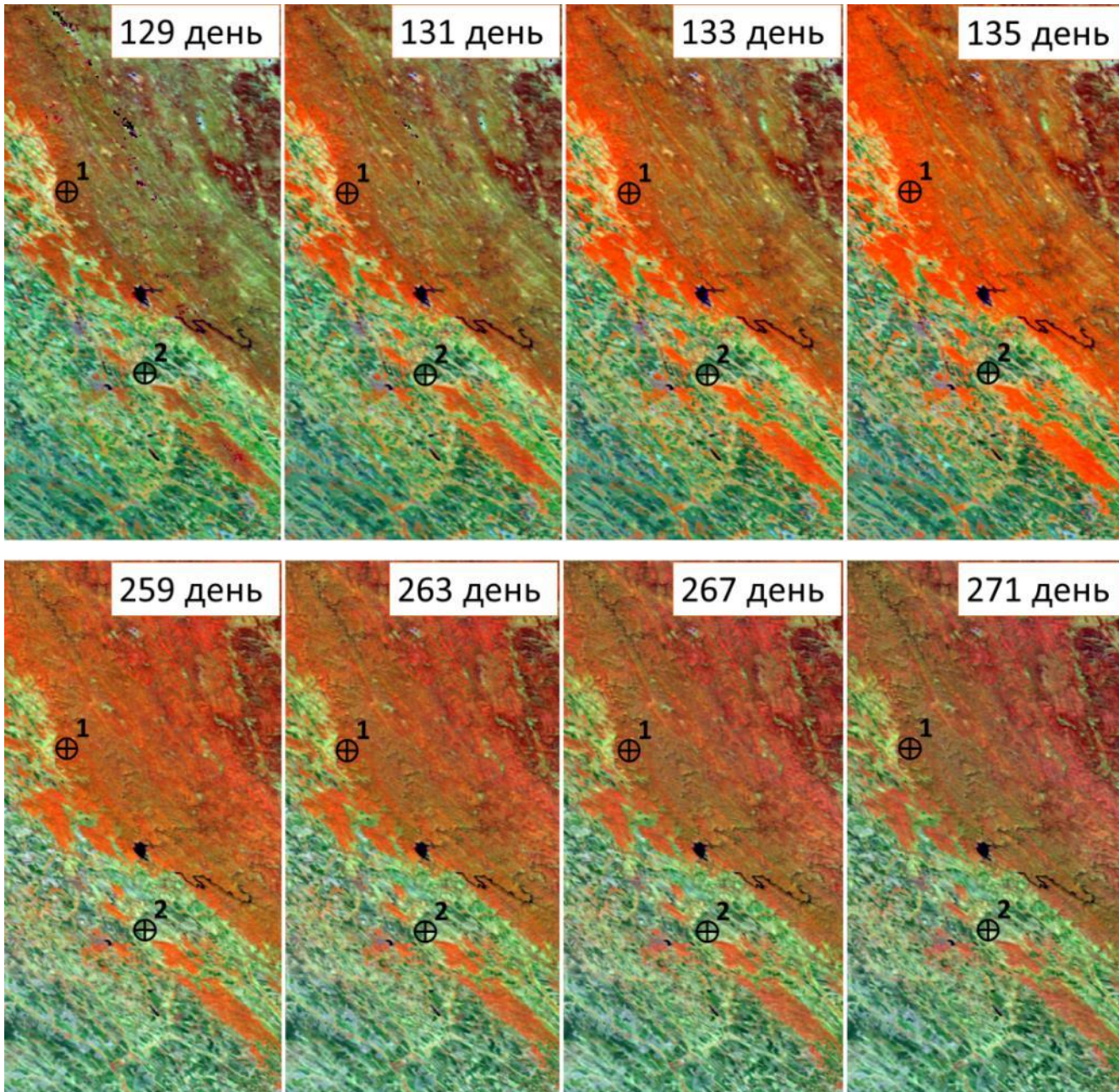
Информационные сервисы по предоставлению данных MODIS для мониторинга растительного покрова

- 1) Построение производных информационных продуктов данных, включая:
 - Вегетационные индексы (NDVI, EVI);
 - Биофизические продукты (LAI, FAPAR);
 - Очищенные от влияния облаков композитные изображения (8, 16 дней)
- 2) Построение стандартных тематических продуктов, включая:
 - Карты земного покрова;
 - Температурные аномалии (активные пожары);
 - Поврежденная огнем растительность и др.
- 3) Обеспечение непрерывного обновления архива данных, производных и тематических информационных продуктов с предоставлением к ним оперативного доступа пользователей.

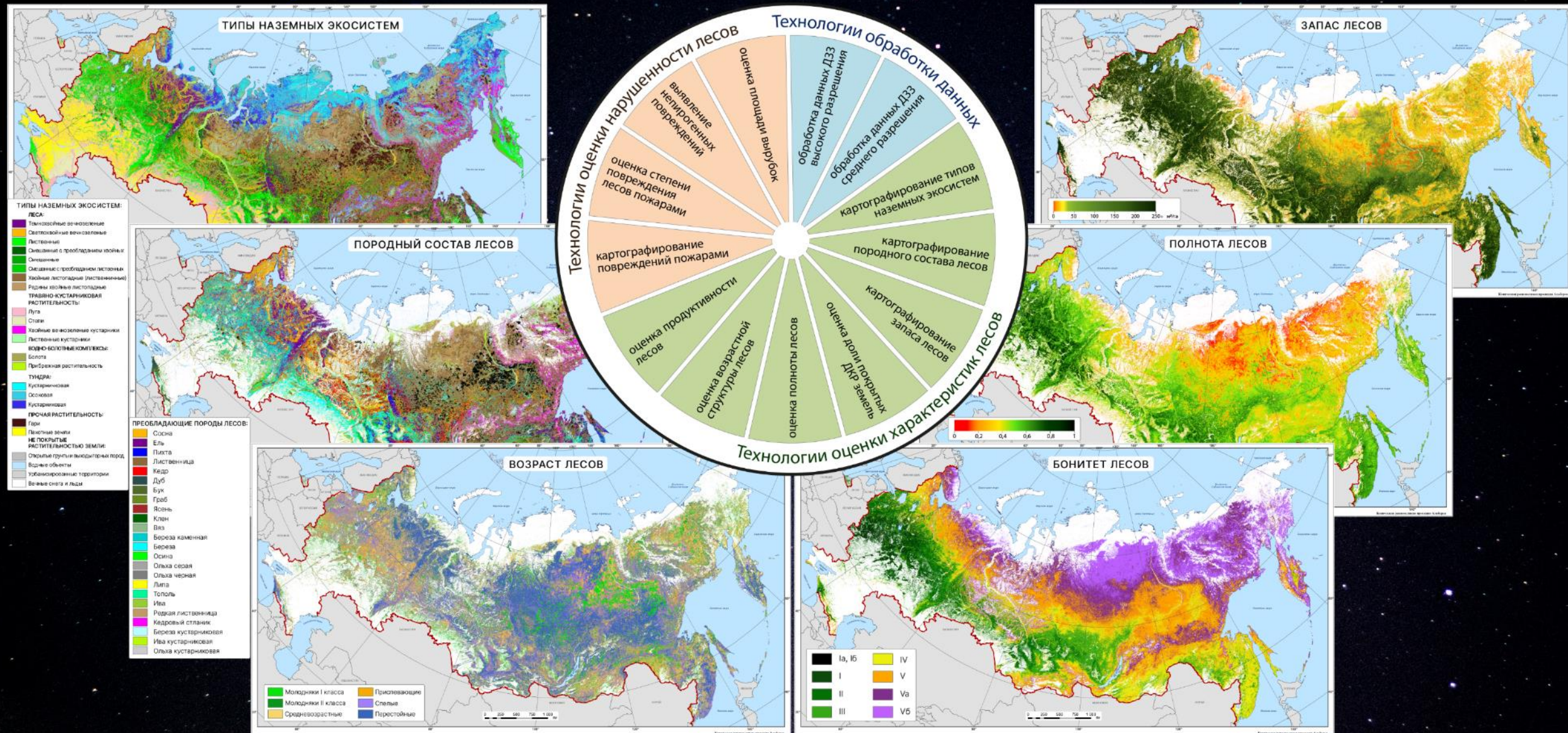
Временные ряды данных ДЗЗ для мониторинга лесов



Временные ряды данных ДЗЗ для мониторинга лесов



Комплекс технологий ежегодного спутникового картографирования РП России по данным MODIS





УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЛЕСА:

- Темнохвойные вечнозеленые
- Светлохвойные вечнозеленые
- Лиственные
- Смешанные с преобладанием хвойных
- Смешанные
- Смешанные с преобладанием лиственных
- Хвойные листопадные (лиственничные)
- Редины хвойные листопадные

ТРАВЯНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:

- Луга
- Степи
- Хвойные вечнозеленые кустарники
- Лиственные кустарники

ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ:

- Болота
- Прибрежная растительность

ТУНДРА:

- Кустарничковая
- Осоковая
- Кустарниковая

ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:

- Гари
- Пахотные земли

НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ:

- Открытые грунты и выходы горных пород
- Водные объекты
- Урбанизированные территории
- Вечные снега и льды

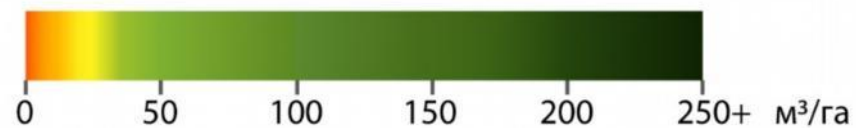


ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ:

 Сосна	 Ясень	 Липа
 Ель	 Клен	 Тополь
 Пихта	 Вяз	 Ива
 Лиственница	 Береза каменная	 Редкая лиственница
 Сибирский кедр	 Береза	 Кедровый стланик
 Дуб	 Осина	 Береза кустарниковая
 Бук	 Ольха серая	 Ива кустарниковая
 Граб	 Ольха черная	 Ольха кустарниковая

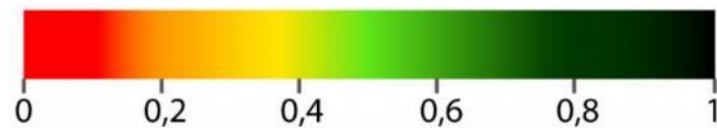


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ





УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ





УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

■ Ia, Ib

■ II

■ IV

■ Va

■ I

■ III

■ V

■ Vb



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Молодняки I класса

Молодняки II класса

Средневозрастные

Приспевающие

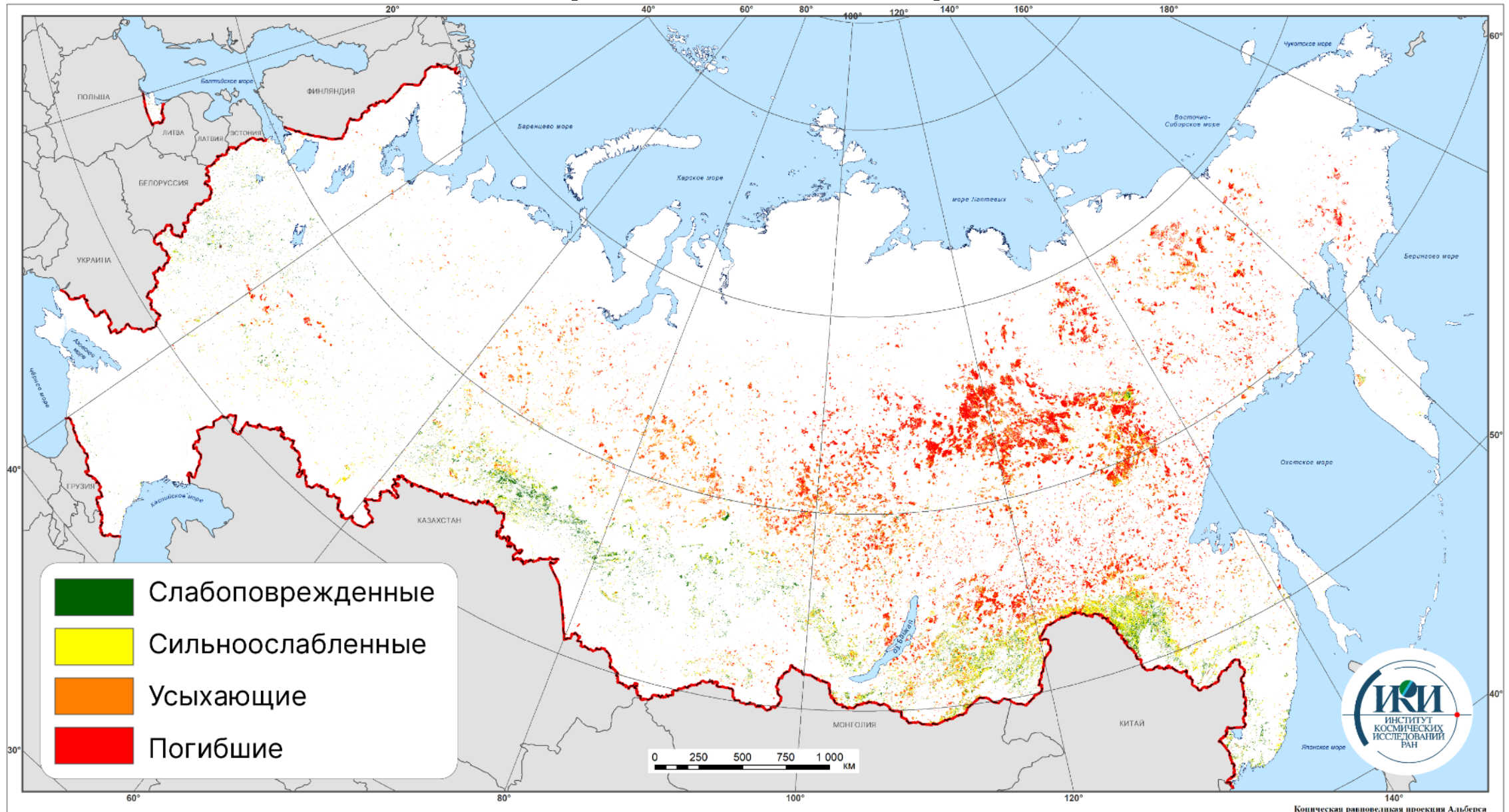
Спелые

Перестойные

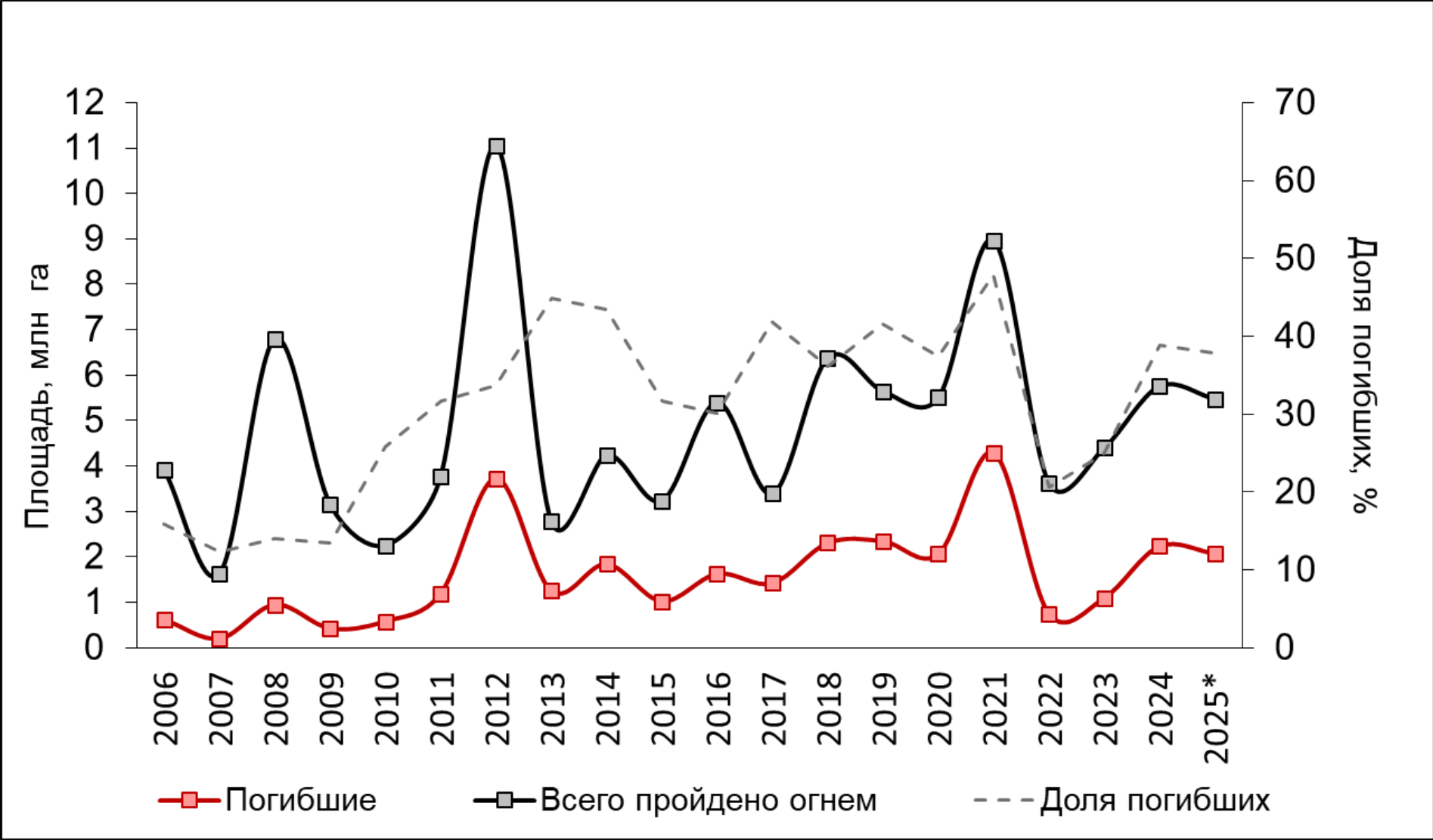


Показатель лесистости отражает занятую древесно-кустарниковой растительностью долю пиксела и используется для оценки площади лесов и редин

Степень повреждения лесов пожарами по данным MODIS (2006-2024 гг.)

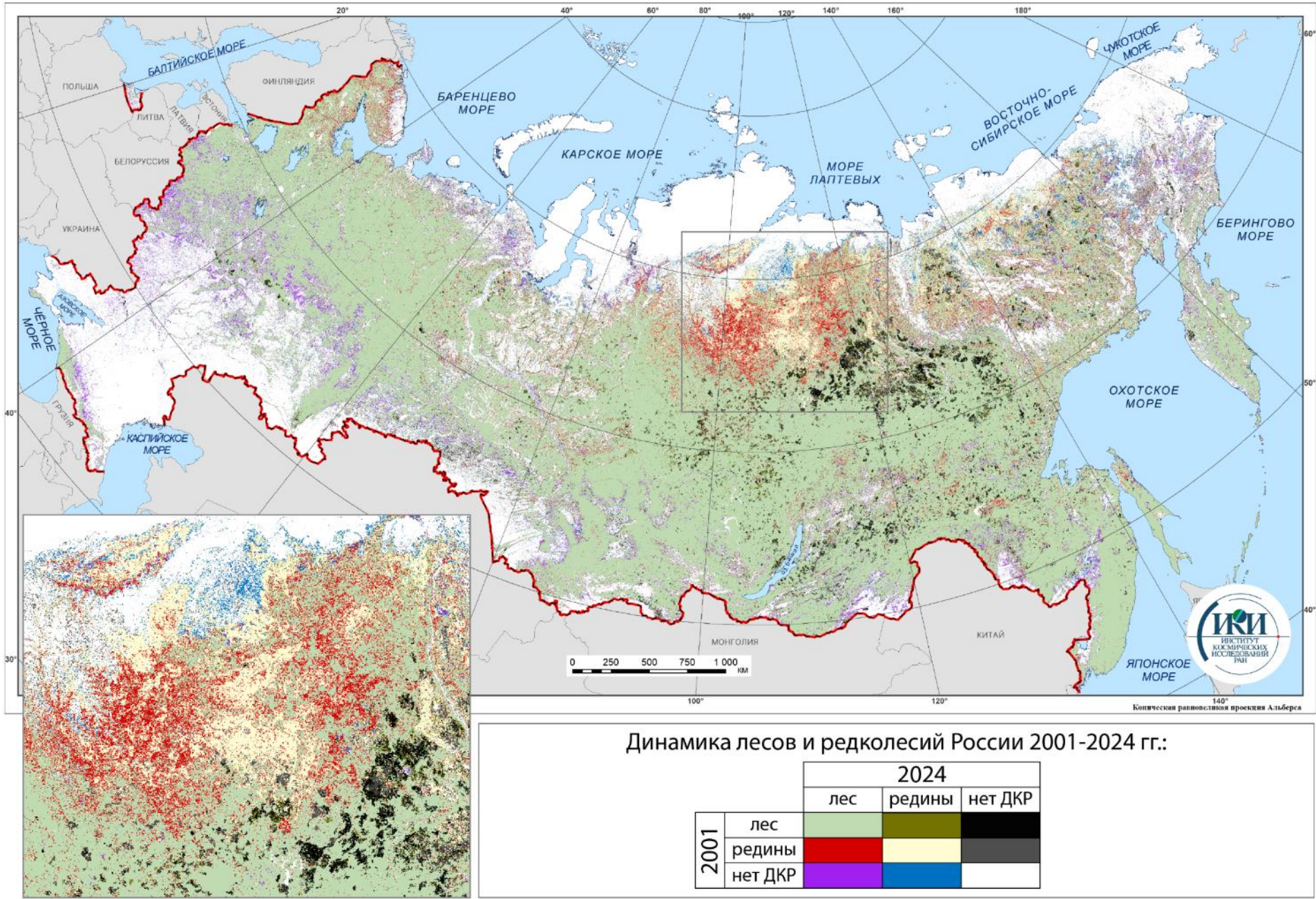


Мониторинг гибели лесов от пожаров по данным ДЗЗ

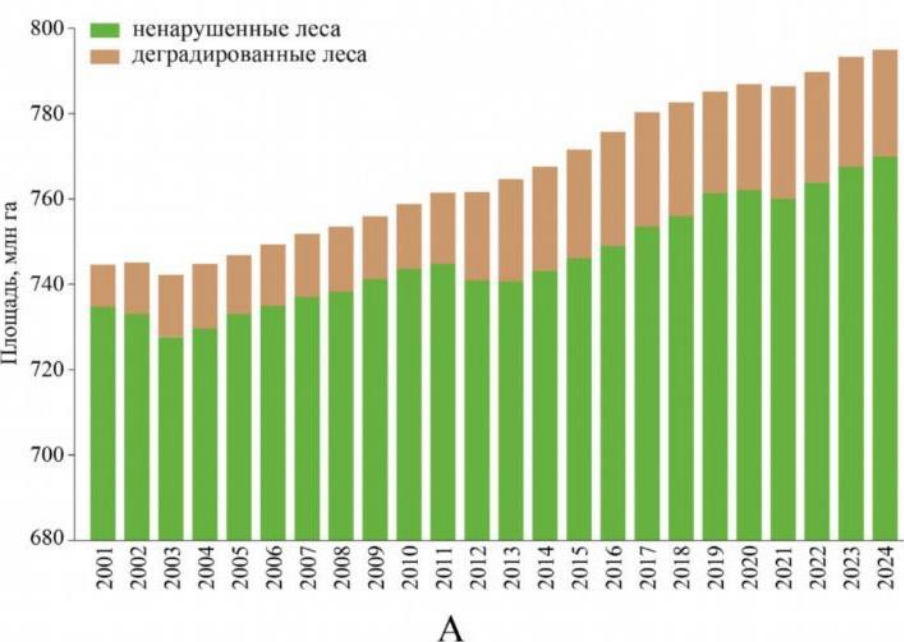


Средняя площадь погибших от пожаров лесов России в 2006-2025 годах составила 1.66 млн га в год. За 2025 год дана предварительная оценка на 15.09.2025.

Трансформация лесов и редколесий в период 2001-2024



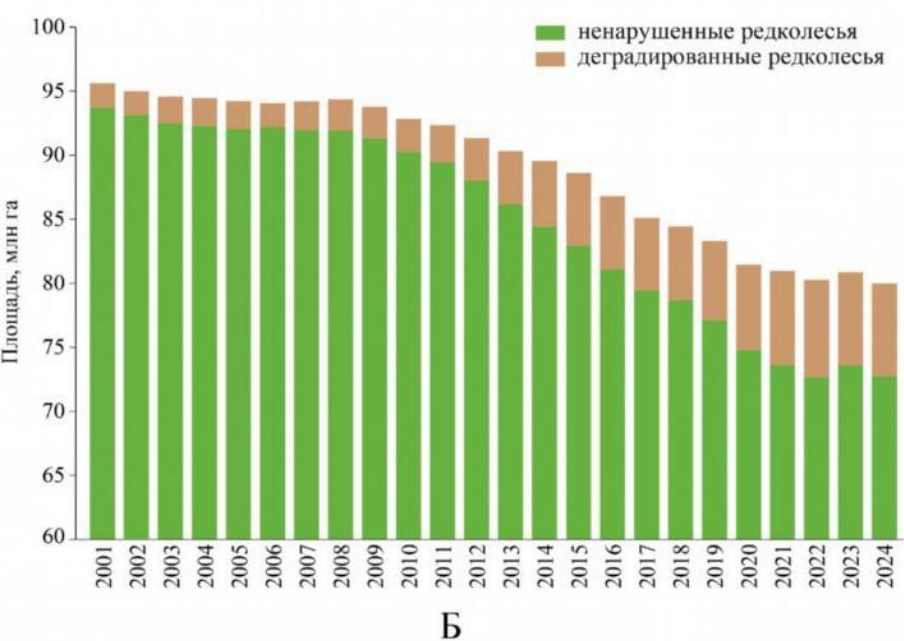
Многолетняя динамика площади лесов и редколесий РФ



А – динамика площади лесов

Б – динамика площади редколесий

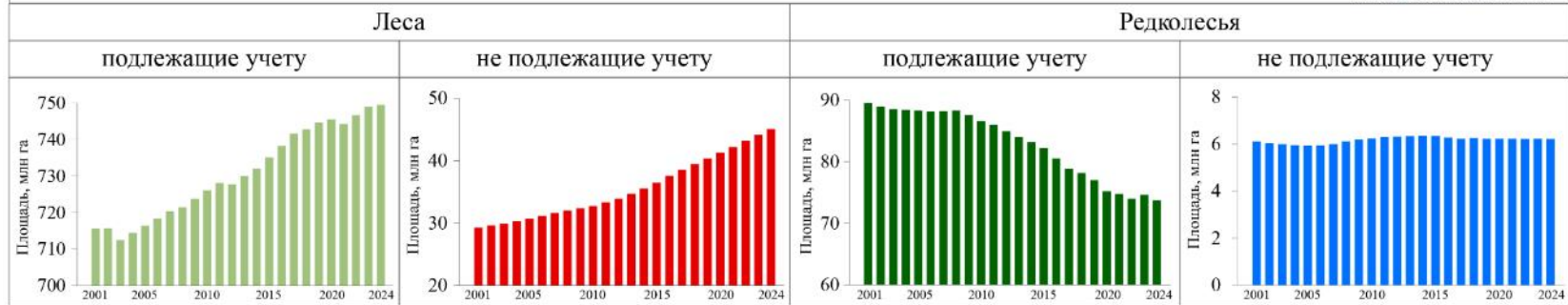
В – факторы межгодового прироста и снижения площади лесов



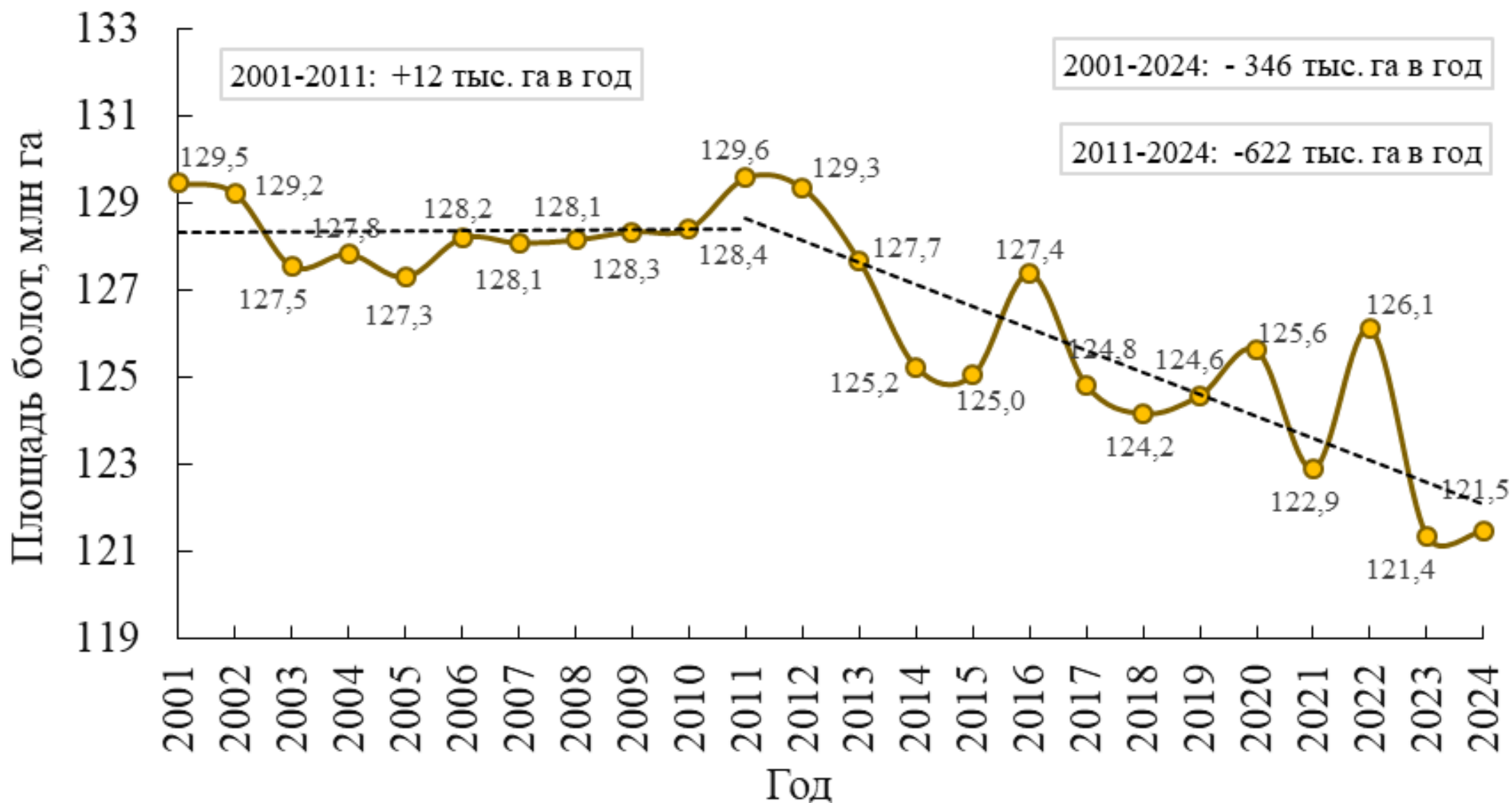
Г – факторы межгодового прироста и снижения площади редколесий

Занимаемые лесами и редколесьями земли на подлежащих и не подлежащих учету лесов территориях

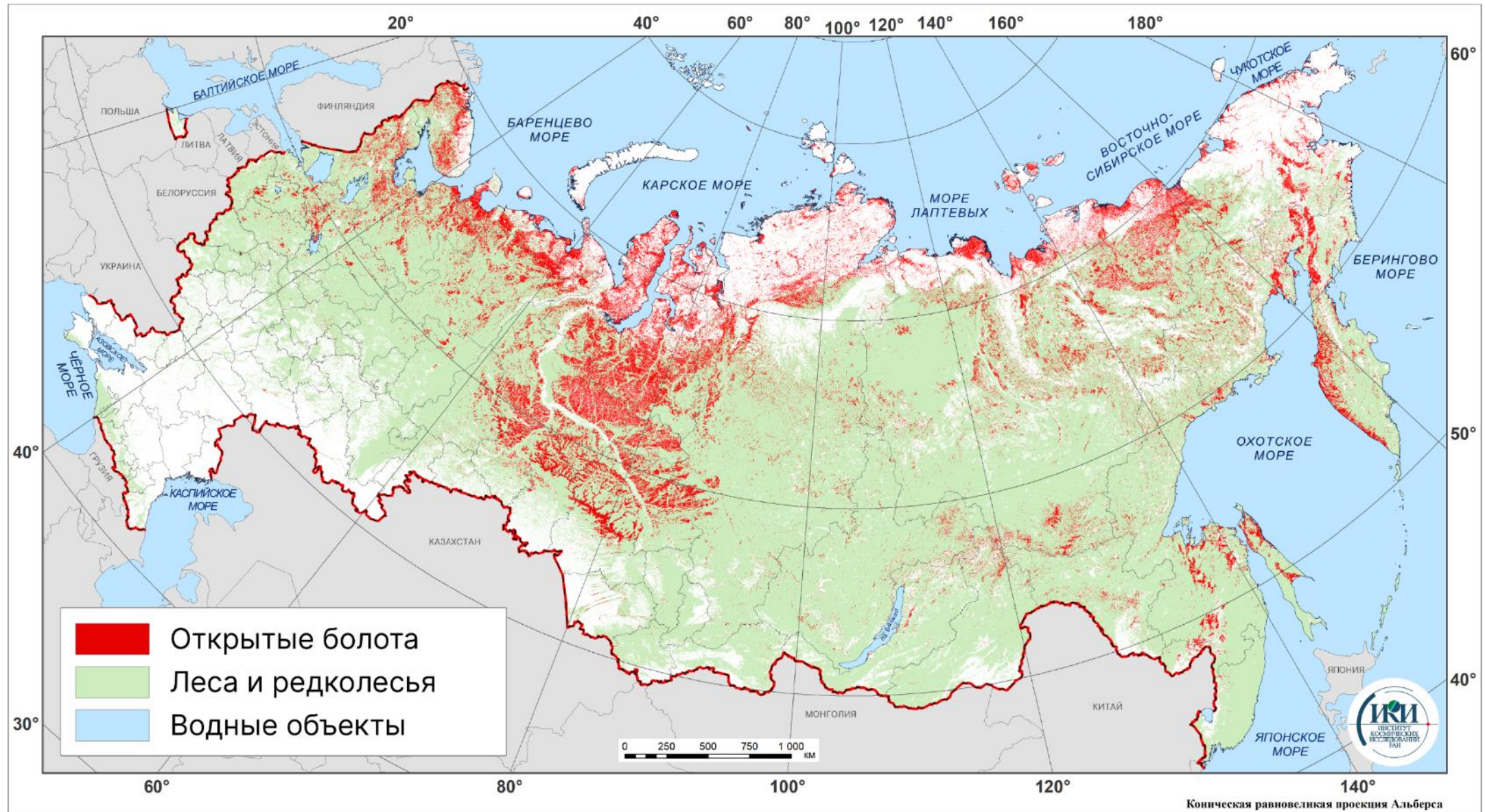
Карта отражает пространственное распределение занимаемых лесами и редколесьями земель в 2024 году на подлежащих и не подлежащих учету лесов территориях.



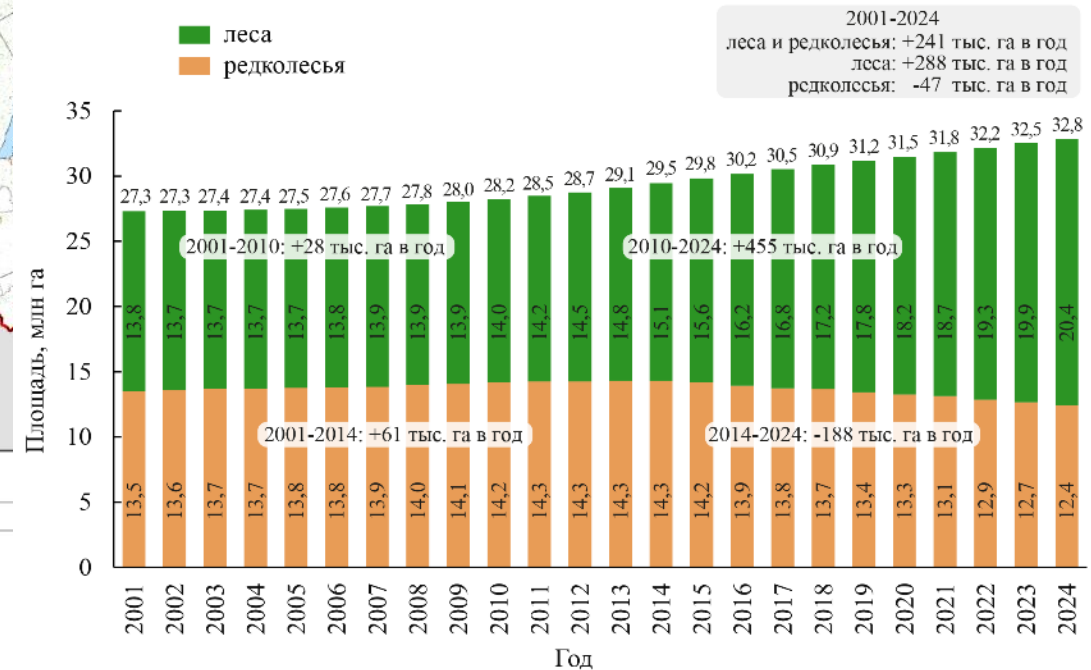
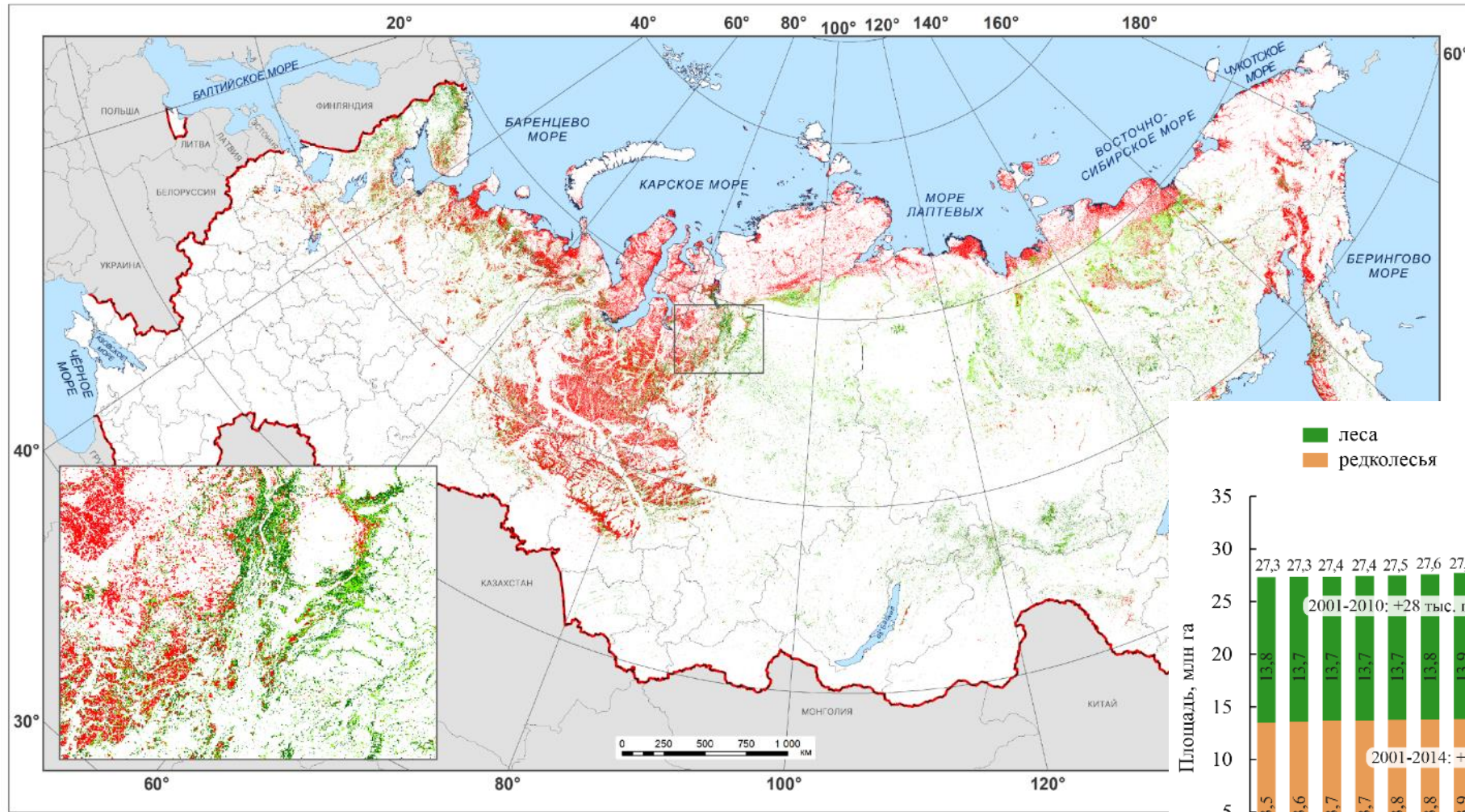
Площадь открытых торфяных болот по результатам ежегодного картографирования наземных экосистем



Устойчиво классифицируемые по данным MODIS открытые торфяные болота России

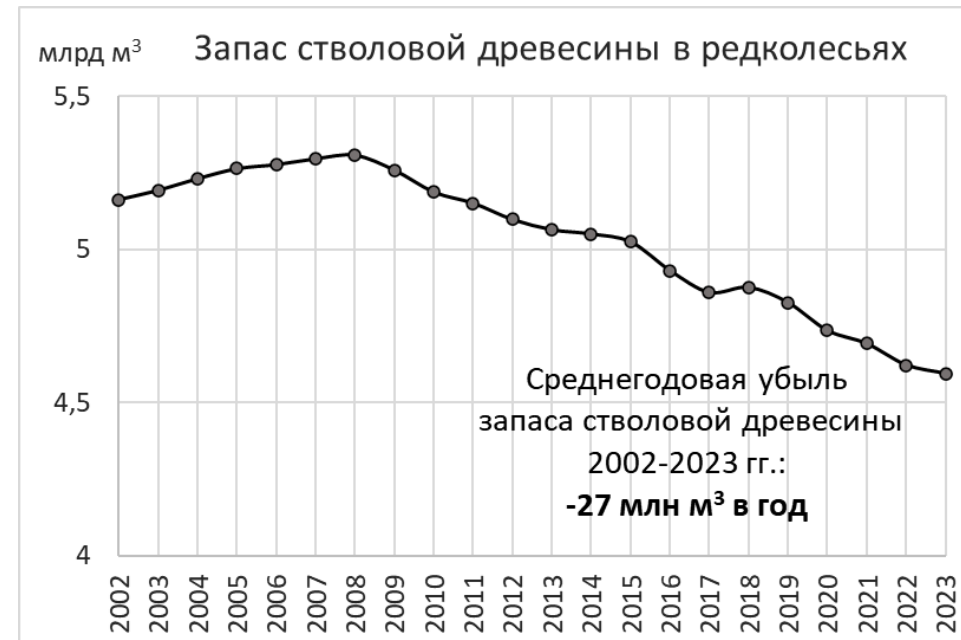
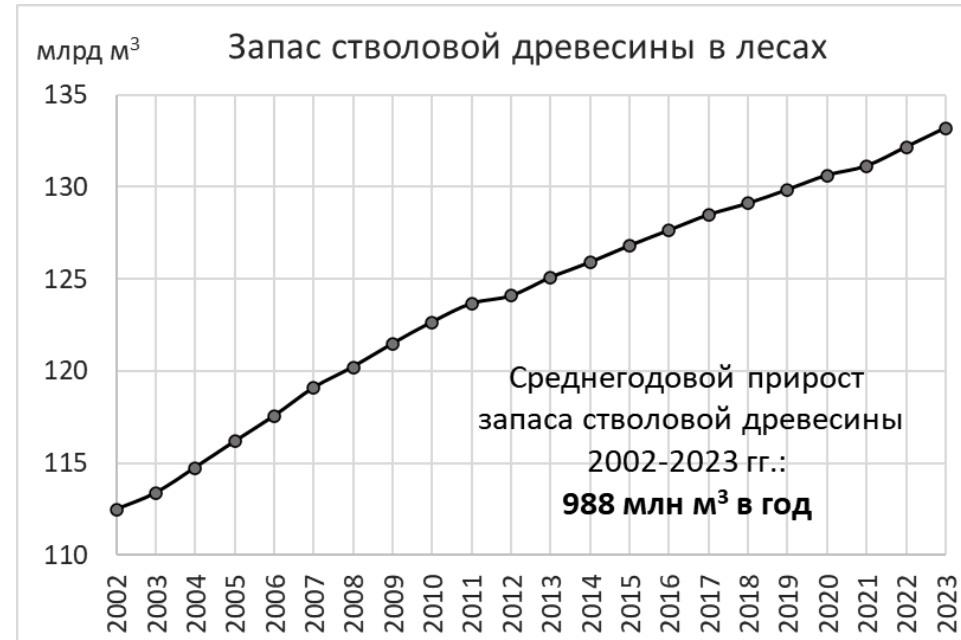


Болота, заросшие лесной древесной растительностью в период 2001–2024 гг.



- Сформированные на открытых болотах леса
- Открытые болота с наличием леса или редколесий
- Безлесные болота

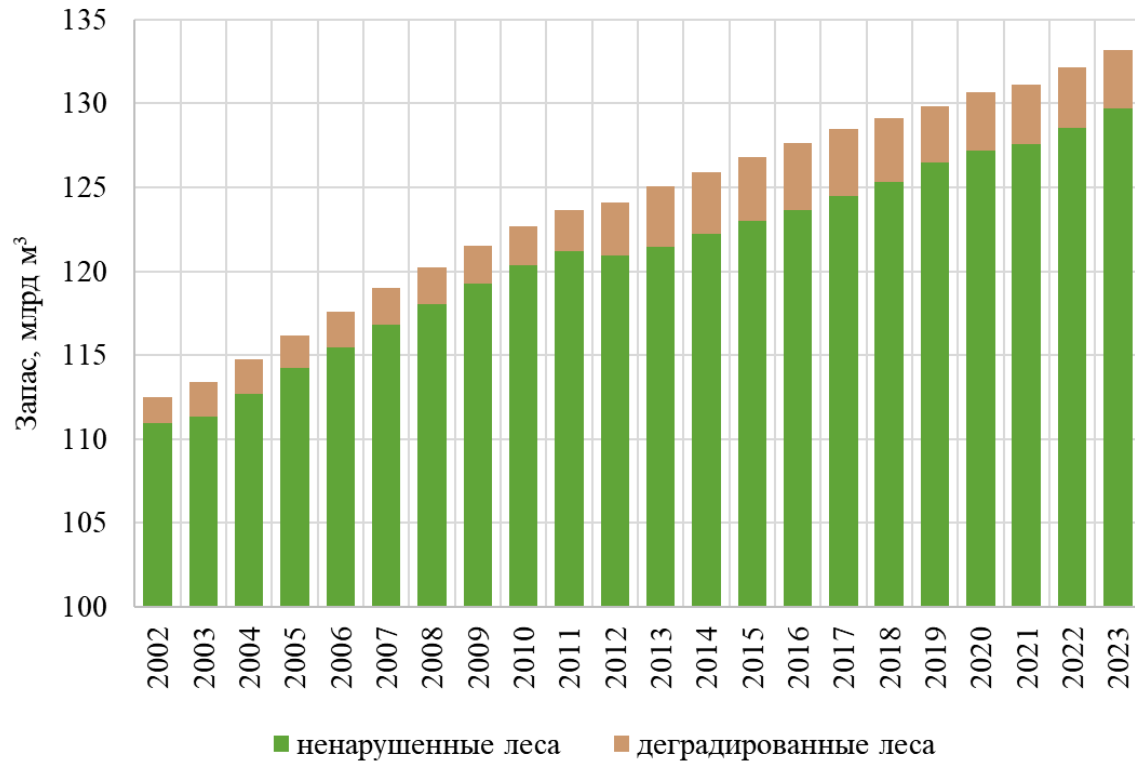
Динамика запаса лесов России



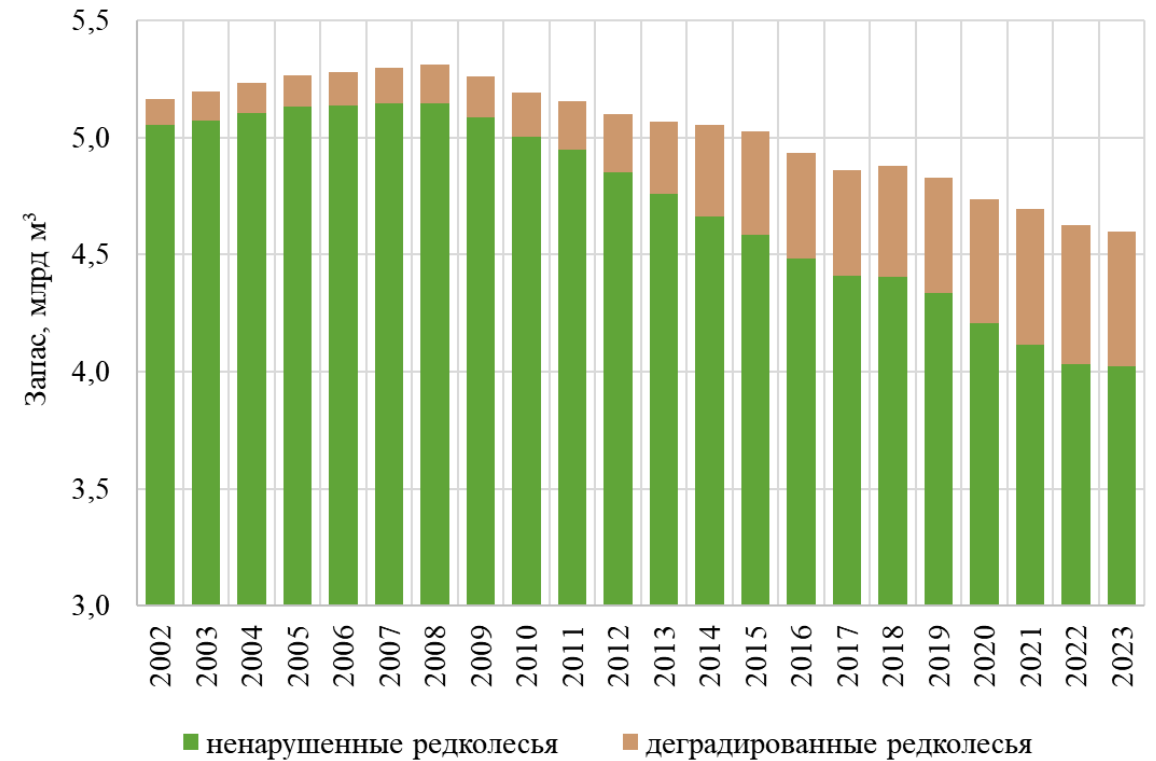
В период 2002-2023 гг. запас лесов России растет в среднем на 988 млн м³/год (прирост) при снижении запаса редколесий на 27 млн м³/год

Динамика запаса ненарушенных и деградированных от воздействия пожаров лесов и редколесий

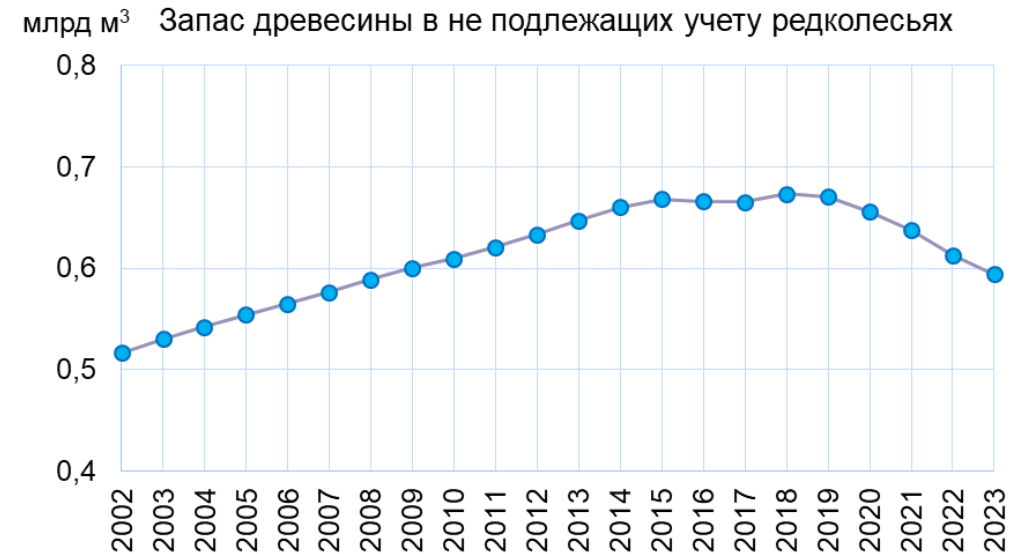
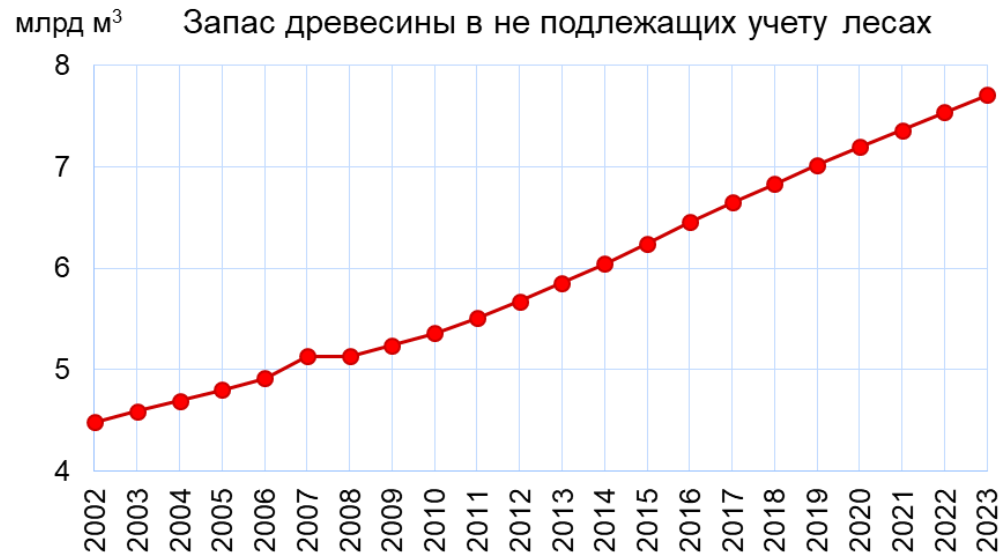
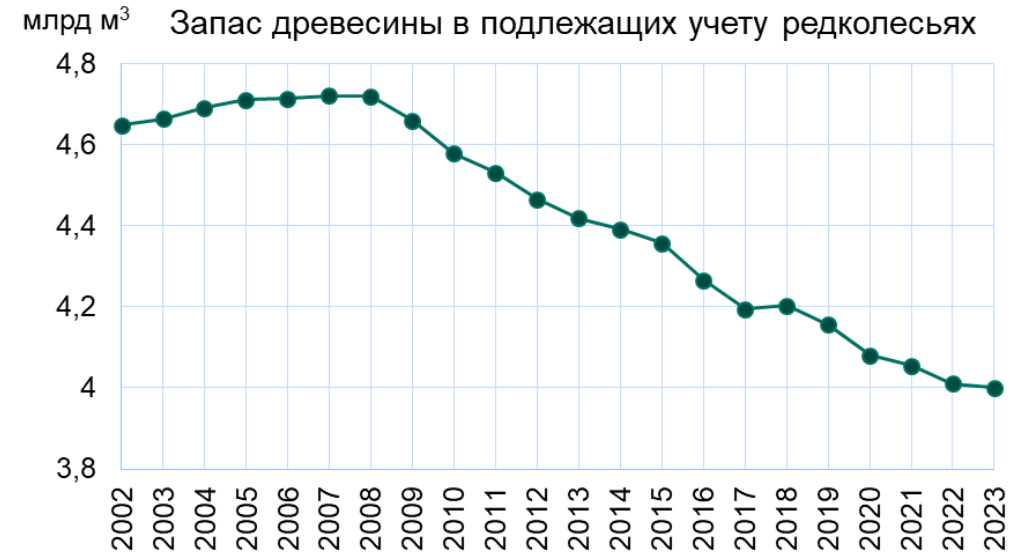
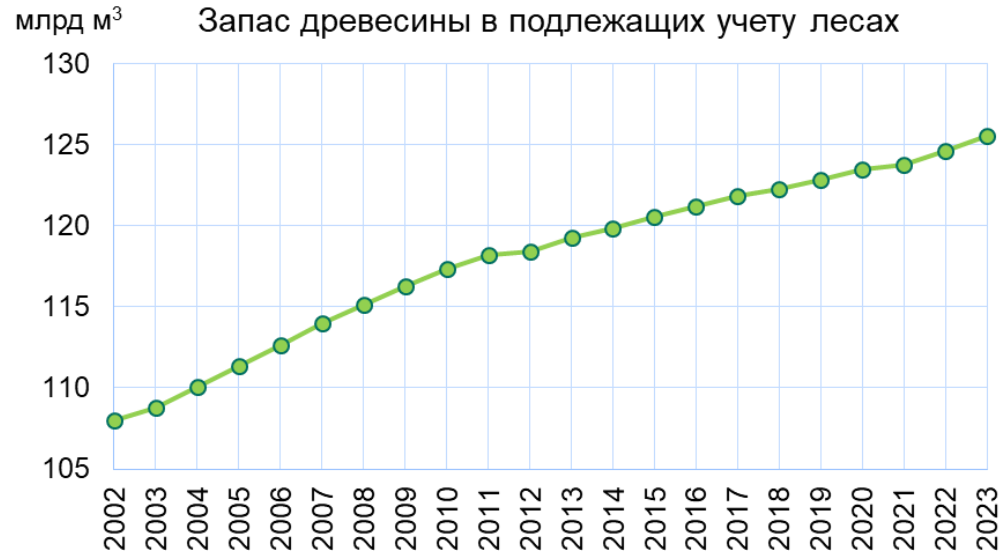
Запас ствольной древесины в лесах



Запас ствольной древесины в редколесьях

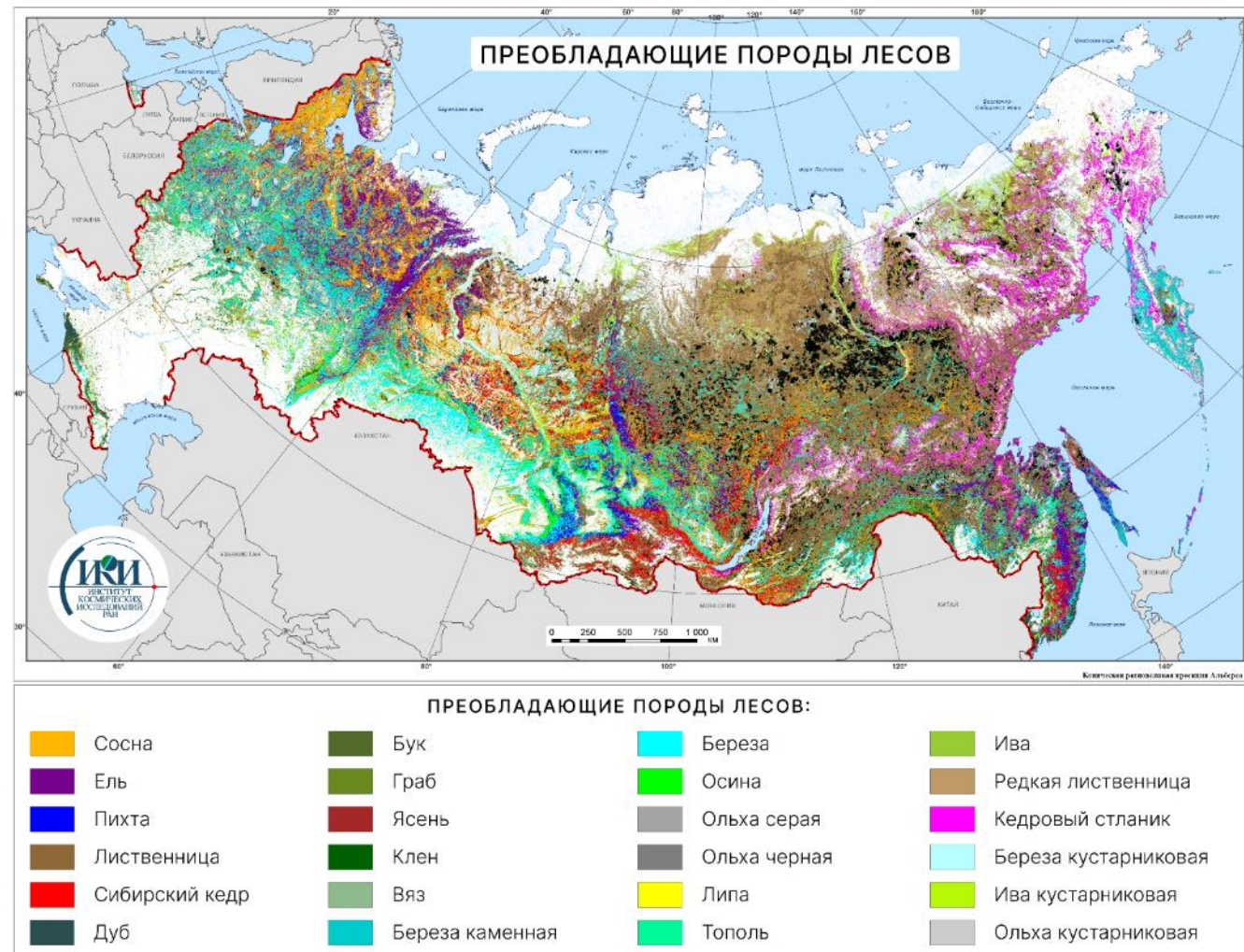
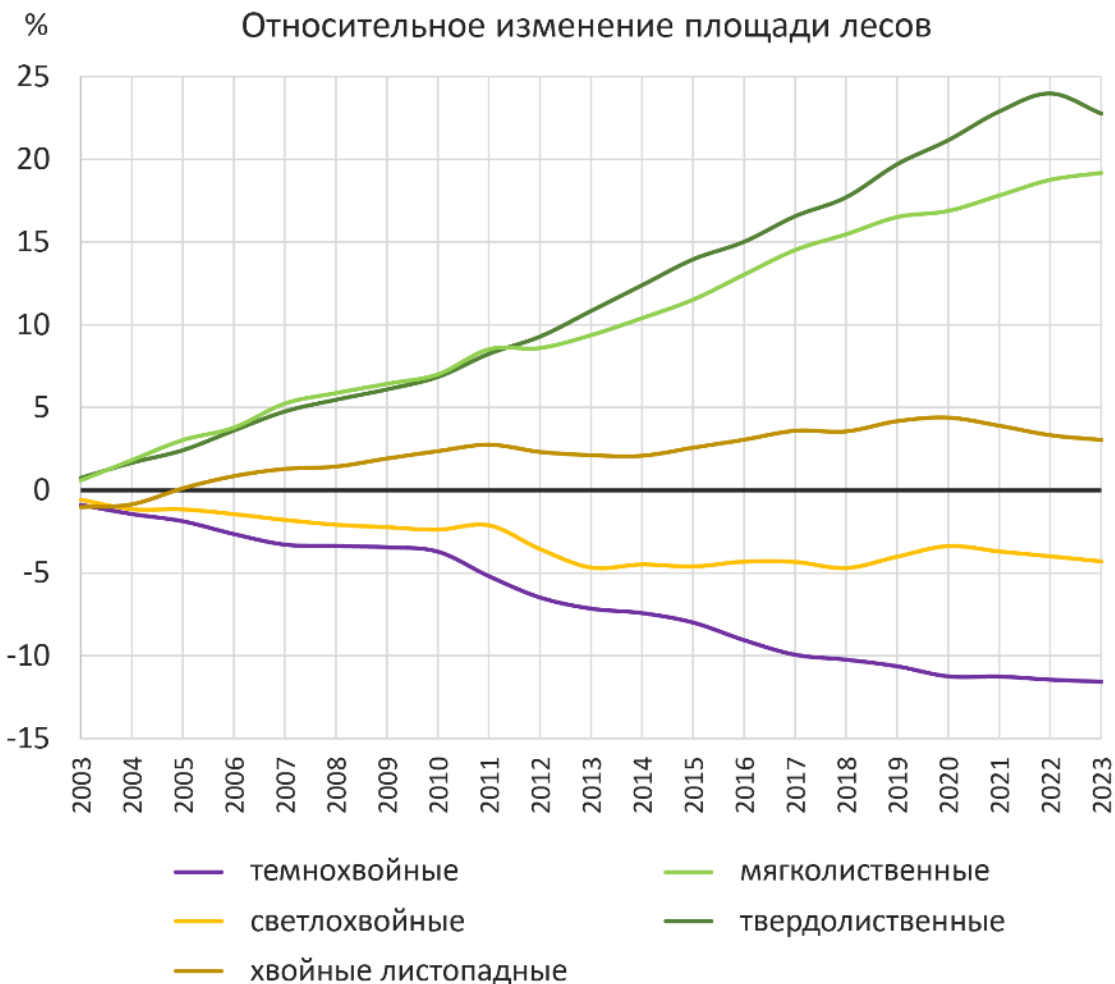


Динамика запаса древесины лесов и редколесий



При среднем объеме рубок в России около 200 млн м³ в год текущий запас древесины только на не подлежащих учету лесов землях позволяет обеспечить лесопользование в течение около 40 лет.

Динамика породного состава лесов России



Наблюдается увеличение площади лесов лиственных пород при сокращении площади вечнозеленых хвойных насаждений под влиянием деструктивных факторов (пожары, вырубки, болезни и др.), изменений климата и режима землепользования.

Динамика возрастной структуры лесов России



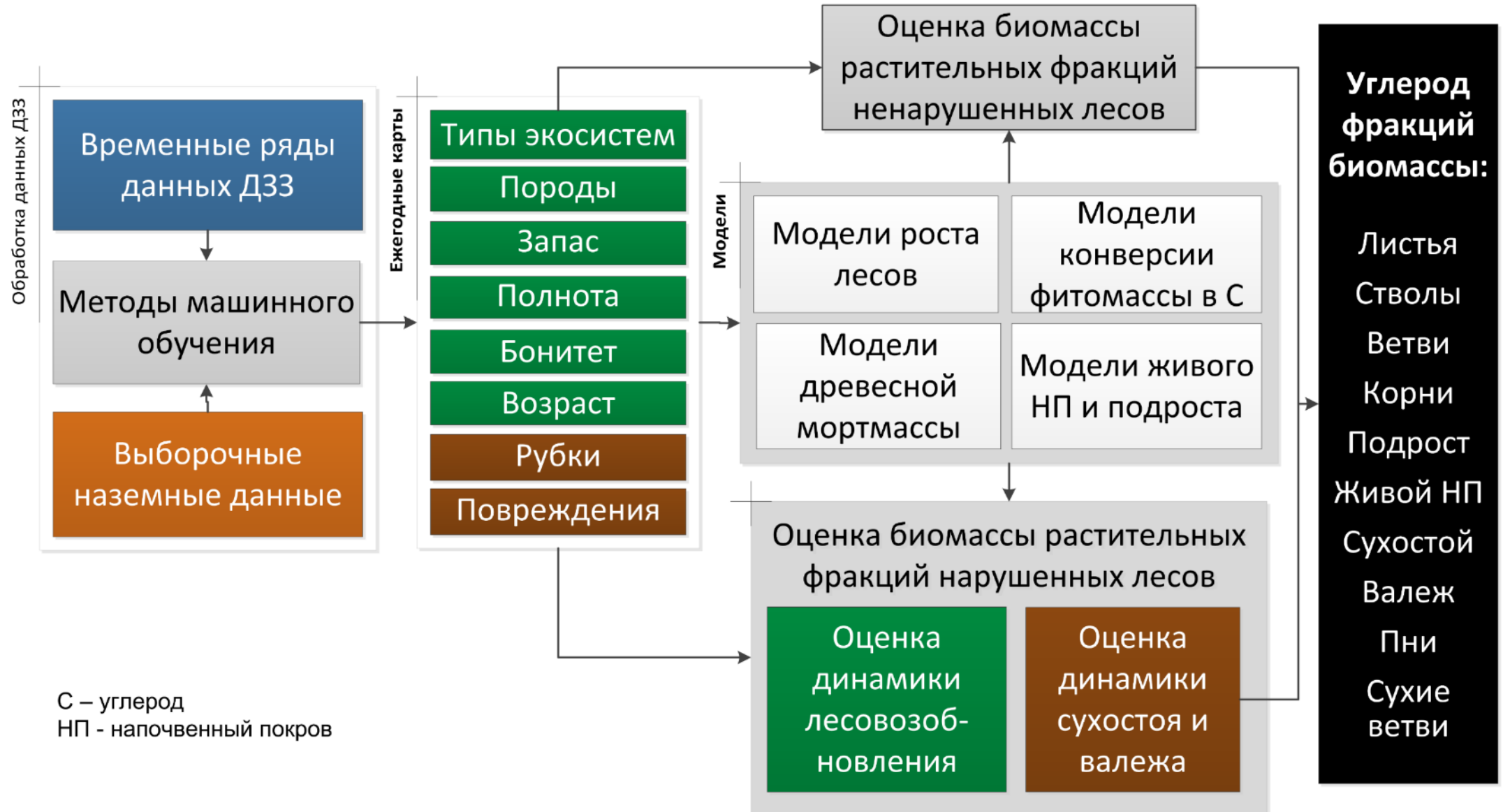
Зависимость прироста запаса лесов от возраста и бонитета



	I	II	III	IV	V	Va	Vb
МОЛОДНЯКИ	6,0	4,8	4,2	3,5	1,9	0,9	0,6
СРЕДНЕВОЗРАСТНЫЕ	3,9	3,6	3,0	2,6	1,6	0,7	0,5
ПРИСПЕВАЮЩИЕ	3,0	2,6	2,3	1,8	1,2	0,6	0,5
СПЕЛЫЕ	2,4	2,0	2,0	1,6	1,0	0,7	0,4
ПЕРЕСТОЙНЫЕ	1,7	1,4	1,7	1,5	1,0	0,6	0,5

Наблюдаются изменения возрастной структуры лесов с ростом площади перестойных насаждений. При этом перестойные леса продолжают наращивать свой запас со средней скоростью прироста более 1 м³/га в год.

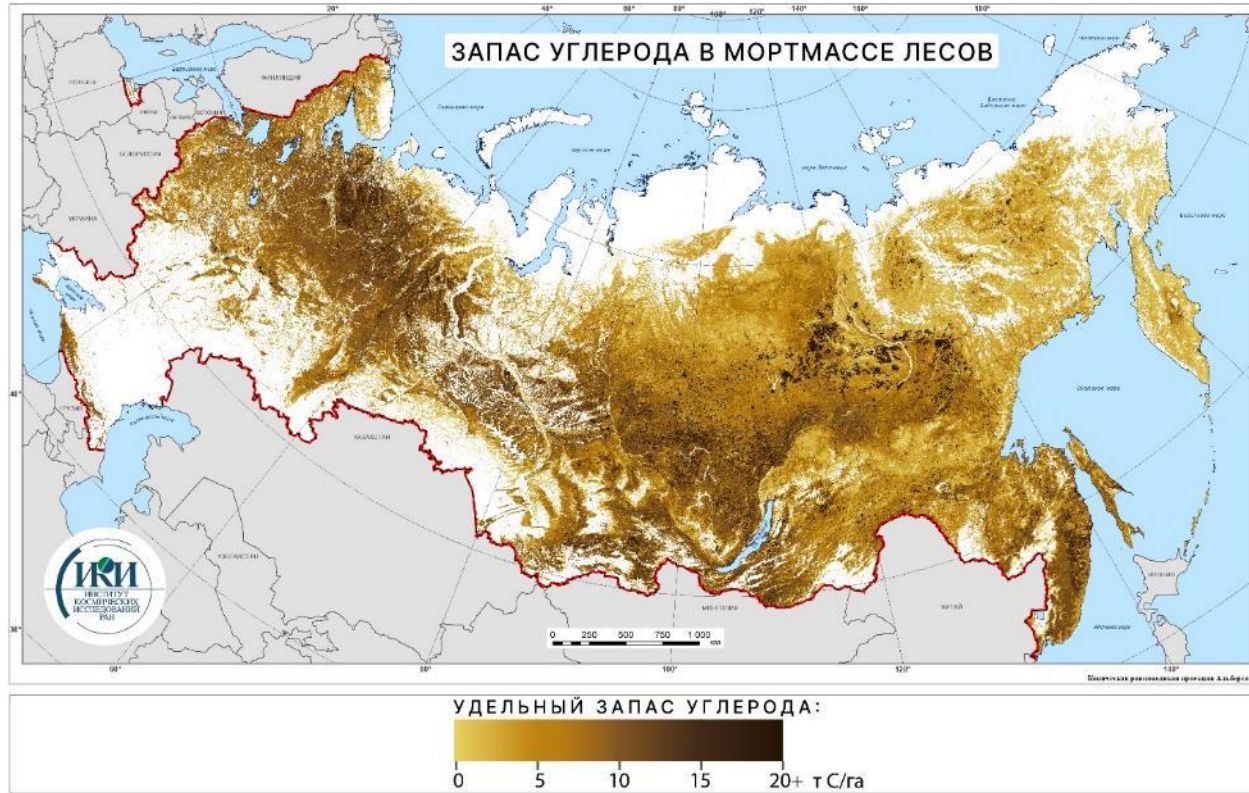
Концептуальная схема системы дистанционной оценки бюджета углерода лесов России



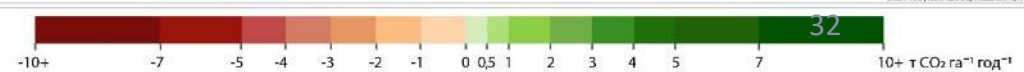
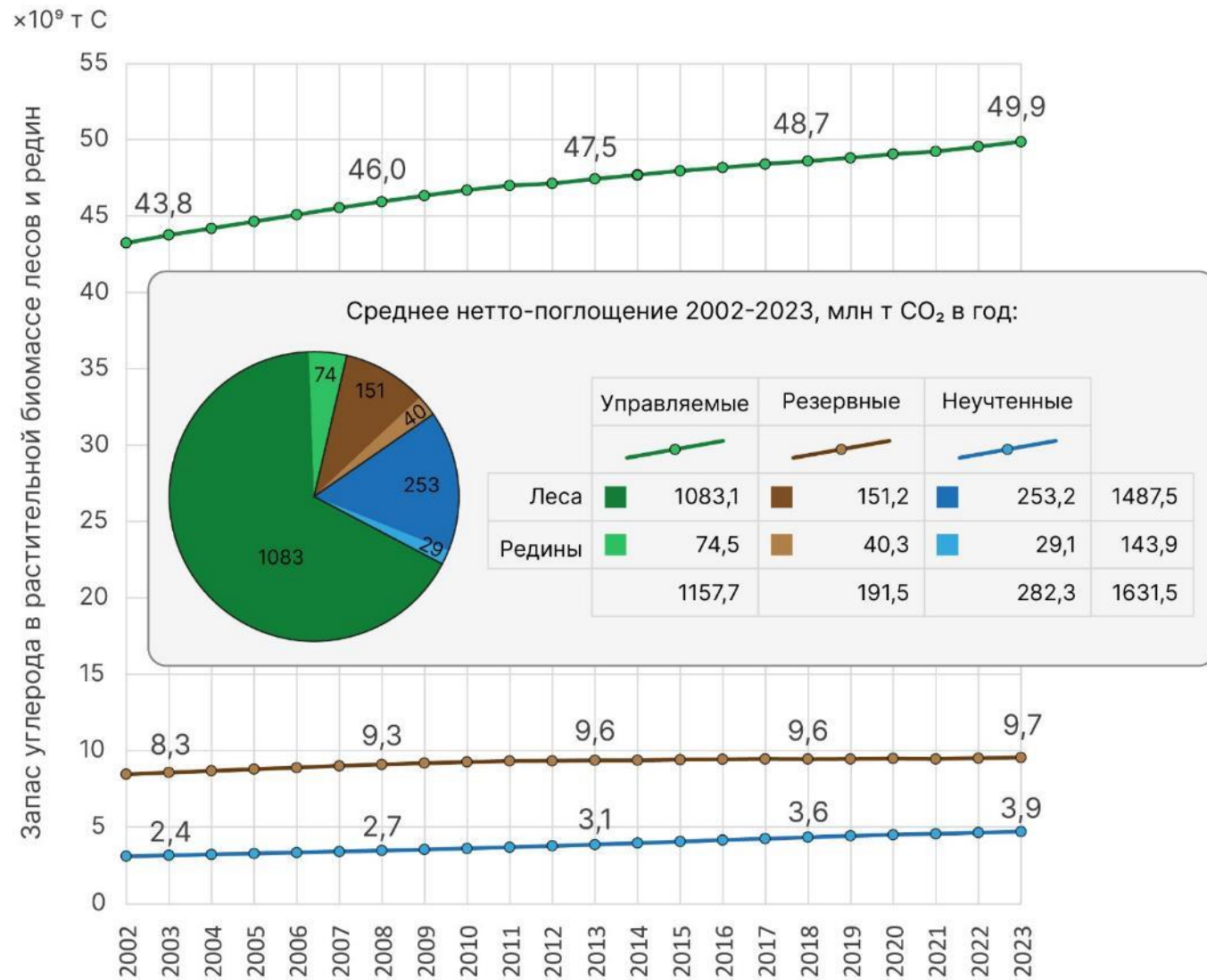
Запасы углерода в фитомассе лесов России



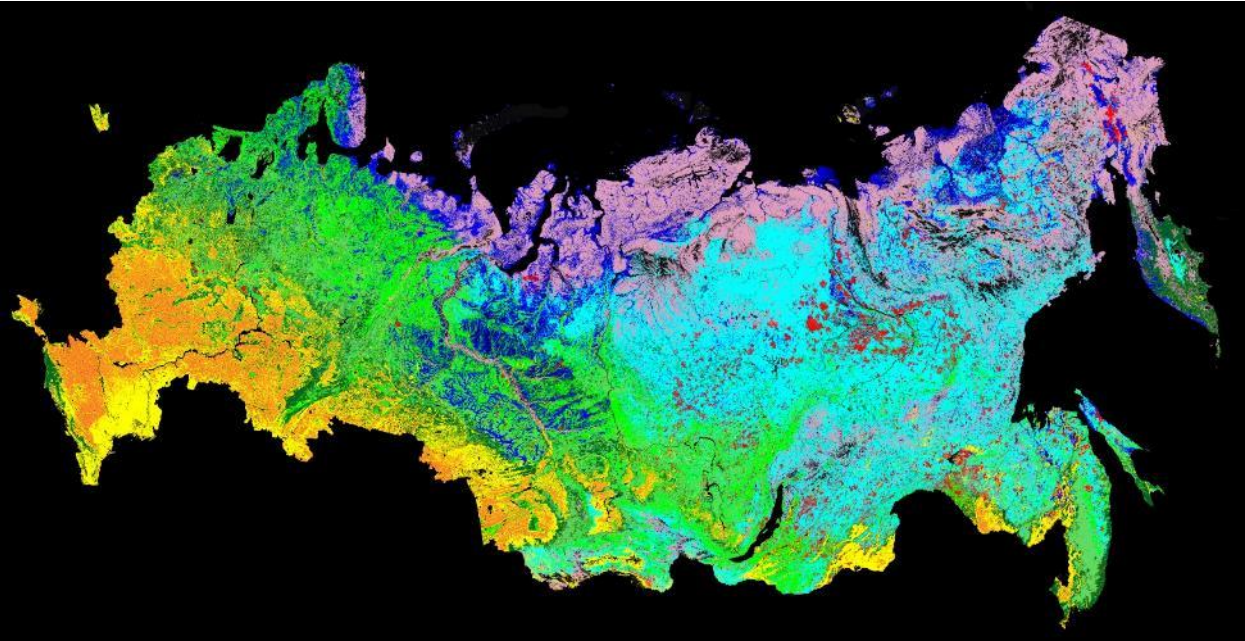
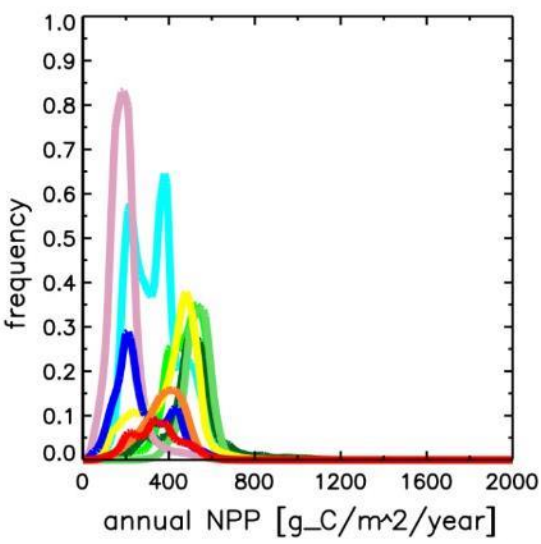
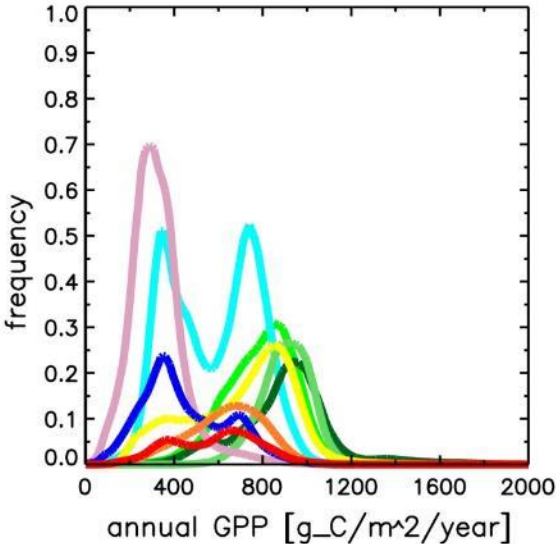
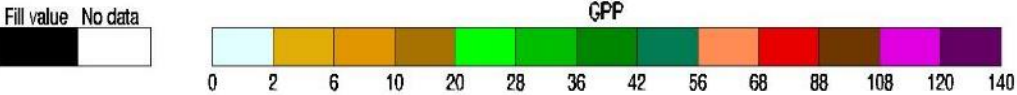
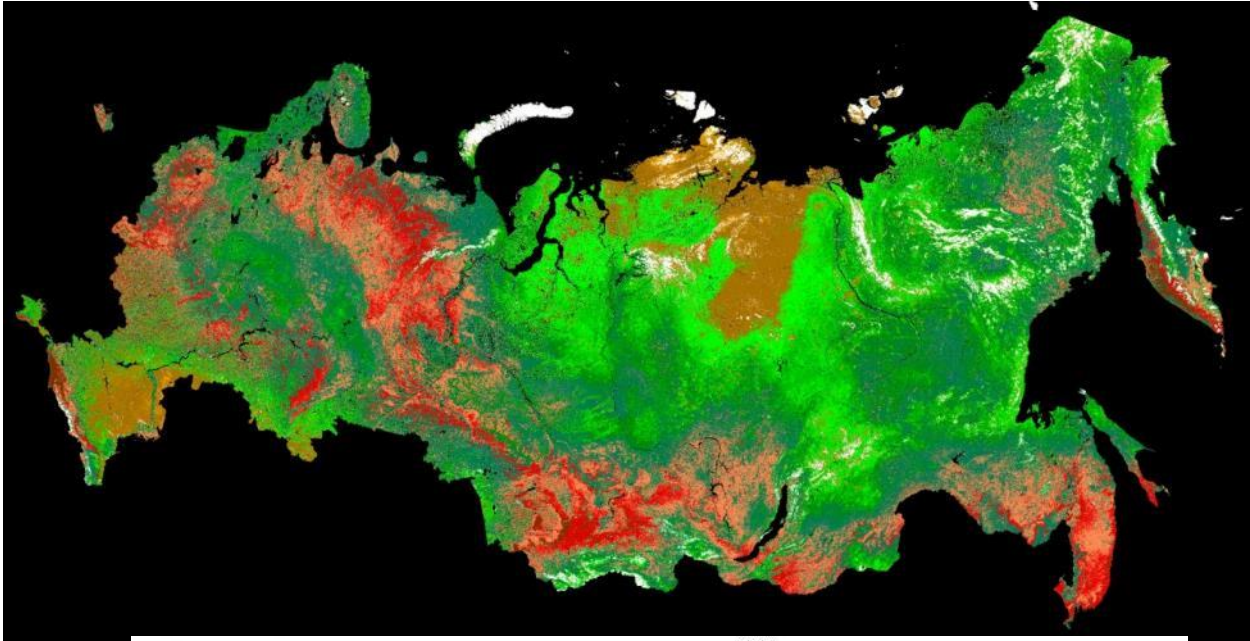
Запасы углерода в мортмассе лесов России



Оценка нетто-поглощения углерода лесами России



Оценка GPP/NPP наземных экосистем по данным MODIS



Fill value No data

ENF	DNF	DBF	MF	shrubs	grasses	wetlands	crops	burns
795	581	904	909	328	706	454	640	591
488	338	511	536	197	414	278	381	349

Перспективы переноса технологии мониторинга лесов на данные ДЗЗ высокого пространственного разрешения



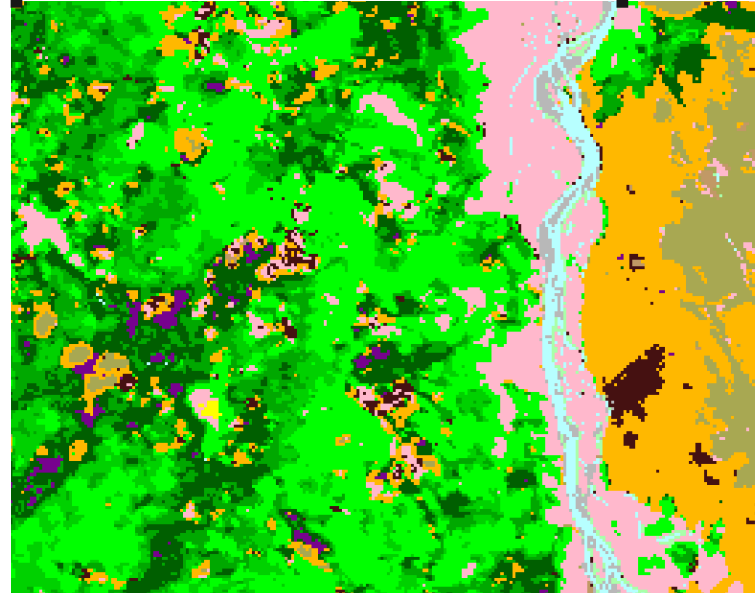
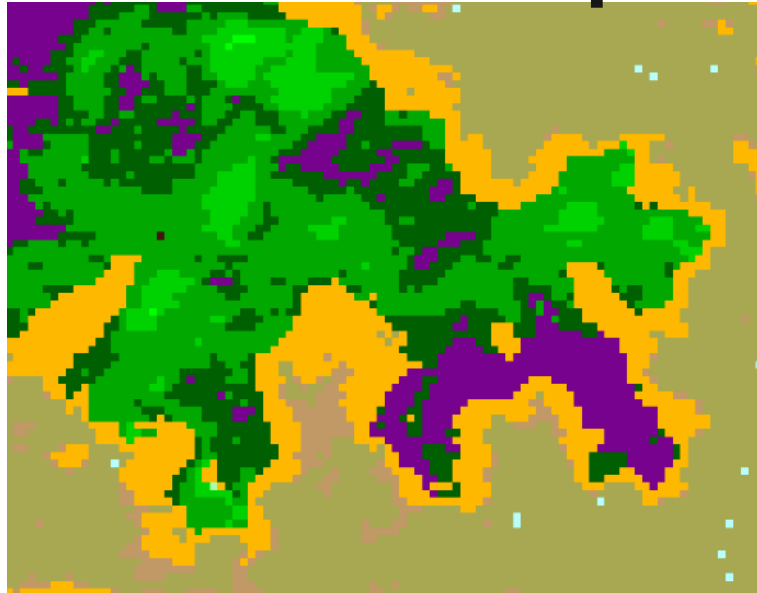
Прототип карты растительного покрова
по данным Sentinel-2 (30 м), 2023 г.



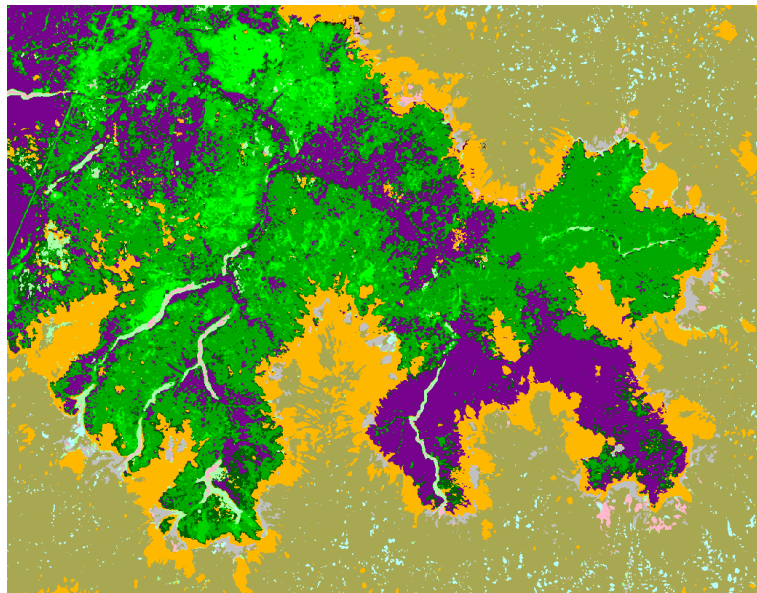
Прототип карты запаса лесов
по данным Sentinel-2 (20 м), 2023 г.

Перспективы переноса технологии мониторинга лесов на данные ДЗЗ высокого пространственного разрешения

230 м

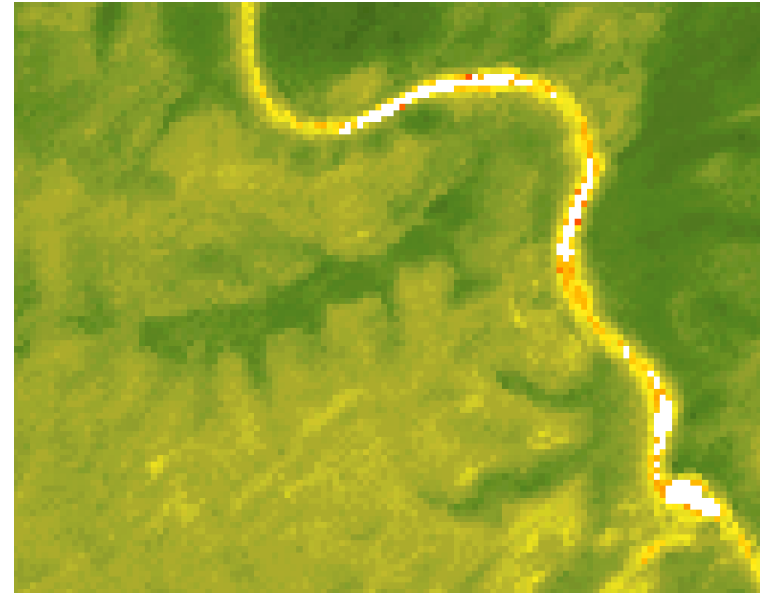
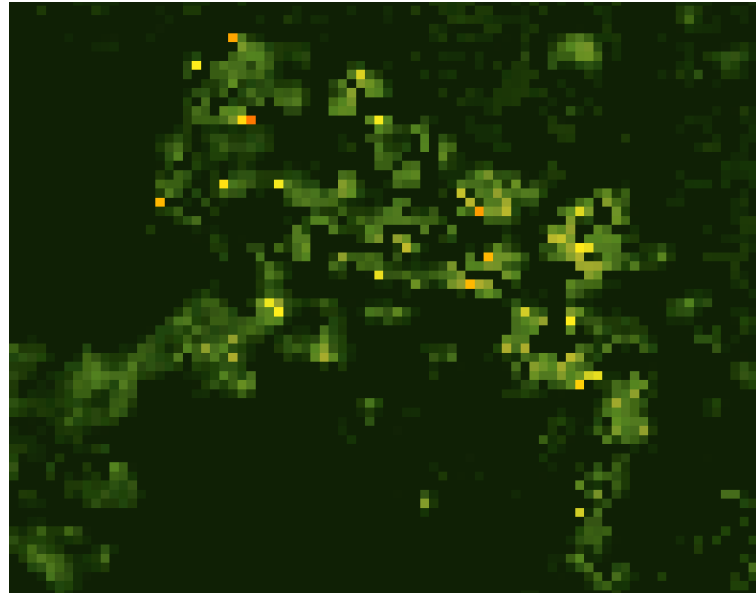


30 м

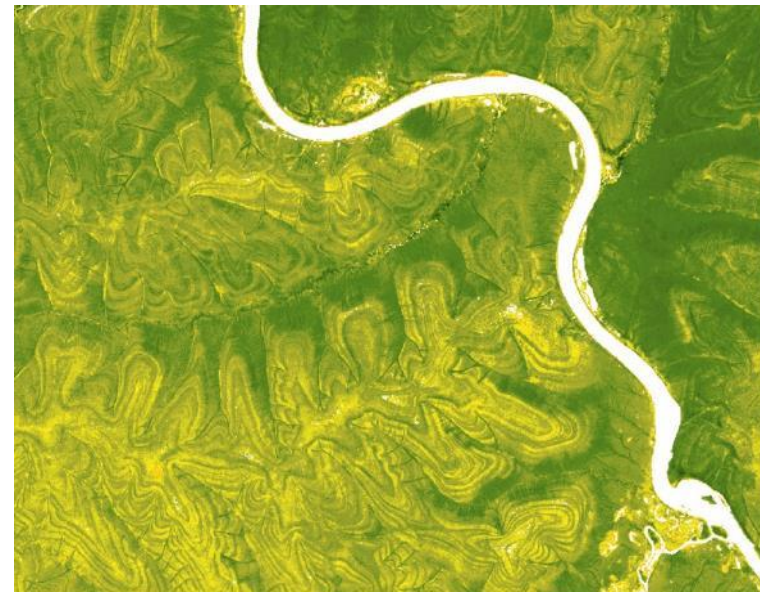


Перспективы переноса технологии мониторинга лесов на данные ДЗЗ высокого пространственного разрешения

230 м



20 м





Спасибо за внимание !