Оценка по спутниковым данным площади и года появления лесов вне лесного фонда России в 2000–2024 годах

Кашницкий А.В., Стыценко Е.А.
kashnitskii@d902.iki.rssi.ru
Институт космических исследований РАН

Двадцать четвёртая международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва, ИКИ РАН, ноябрь 2026 года

Введение

Доклад посвящен оценке по спутниковым данным площади и года появления лесов (древесно-кустарниковой растительности, ДКР) вне лесного фонда России в 2000–2024 гг.

Что уже сделано:
1. Разработан подход к оценке периода появления ДКР, начиная с конца XX века, и на его основе созданы продукты на всю территорию России.
2. Построена маска исключения: земли лесного фонда, арктическая зона, леса 1980–1990-х гг. и буферная зона 30 м вокруг них.
3. Созданы карты лесов вне лесного фонда, оценены динамика их площади и её распределение по субъектам РФ.
4. Продукты размещены в системе Вега-Science.

Работа ещё не завершена. В частности, не проводилась надежная количественная верификация созданных продуктов, не выполнена локальная адаптация метода детектирования ДКР, не завершено сопоставление результатов с другими продуктами.

Актуальность

По разным оценкам площадь заброшенных сельскохозяйственных угодий в мире варьирует от 150 до 472 млн га, в России — от 33 до 100 млн га (Гичан, 2023).

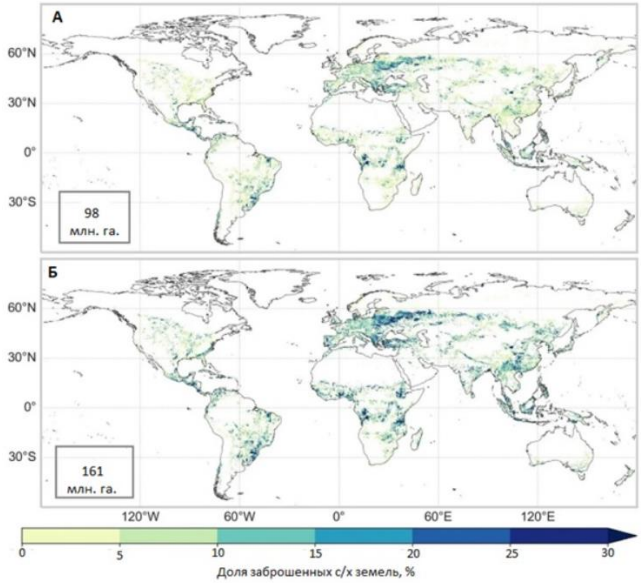
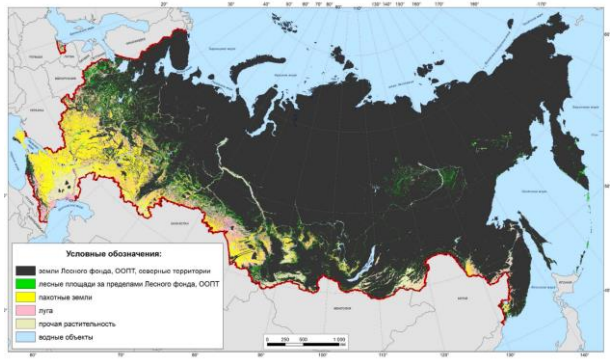
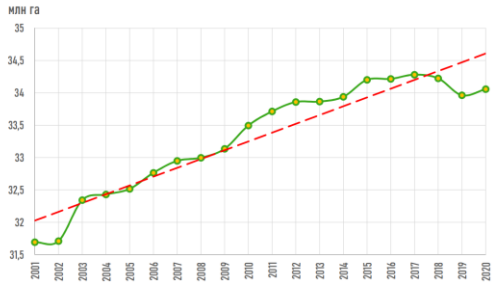


Рисунок из работы (Гичан, 2023)
по данным (*Gvein, 2023)*

Лесной покров на заброшенных с/х землях



Динамика площади леса на заброшенных с/х землях



Среднемноголетние темпы увеличения площади лесов на заброшенных с/х землях в 2001-2020 годах: ~125 тыс. га в год

Слайды из презентации (Барталев, 2021)

По данным МСХ (Доклад о состоянии и использовании земель, 2023) зарастание ДКР подвержено на площади 8.2 млн.га неиспользуемой пашни

Цифры от министра сельского хозяйства (2024):

В России количество вовлеченных в оборот неиспользованных сельхозземель с 2022 года к концу 2025 года может достигнуть 3,2 млн га.

К 2030 году необходимо вовлечь в оборот 13,2 млн га. Объем финансирования этих мероприятий год от года немного меняется, но в целом мы остаемся вокруг 40 млрд рублей

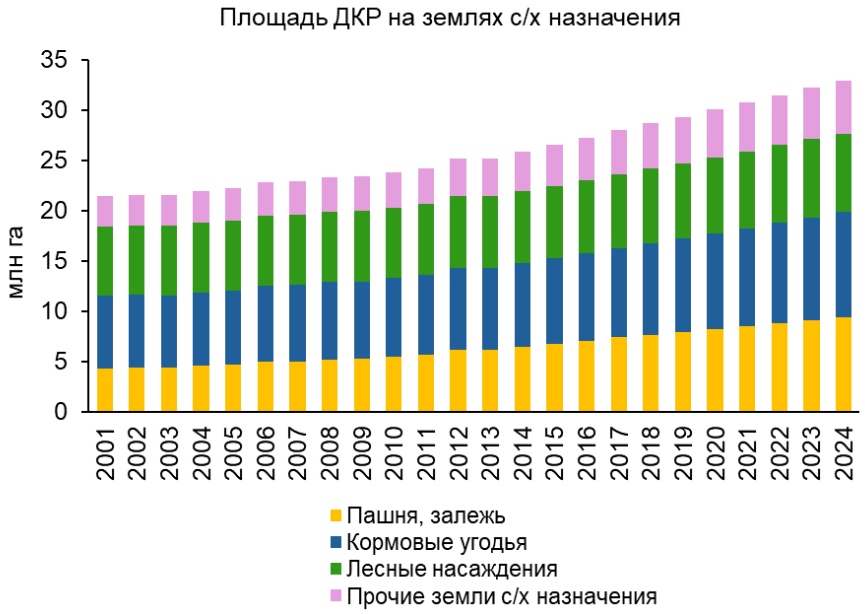
Актуальность. Слайд из последней (2026) презентации С.А. Барталева

Динамика площади древесно-кустарниковой растительности на землях с/х назначения



На землях с/х назначения (без учета лесных насаждений):

- Площадь ДКР за 2001-2024 гг. выросла на 10,6 млн га с 14,5 до 25,1 млн га
- Среднегодовая скорость прироста – 461 тыс. га/год



Актуальность

Актуальные карты ДКР на сельхозземлях и её возраста востребованы для:

1. Принятия решений об освоении лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения.
2. Реализации госпрограммы по вводу неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот: контроля процесса ввода в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения и формирования проектов культуртехнической мелиорации;
3. Проведения контрольно-надзорных мероприятий за соблюдением требований земельного законодательства.
4. Инвентаризации полезащитных лесных насаждений.



Фото: Пресс-служба Министерства сельского хозяйства Пензенской области

Цель и задачи работы

Цель: создание карт лесов, фактически произрастающих вне юридических границ лесного фонда, для всей территории России, оценка динамики их площади и анализ её распределения по субъектам РФ.

Задачи:

1. Карты ДКР, года её появления и исчезновения на всю Россию (10–30 м, 1980–2025 гг.).
2. Маска исключения: земли лесного фонда, арктическая зона, леса 1980–1990-х гг., буферная зона.
3. Карты леса вне лесного фонда, оценка его площади и периода появления.
4. Анализ распределения площади леса вне лесного фонда по субъектам РФ.

Особенности:

- Выявляется лес де-факто, вне юридических границ лесного фонда. Такой лес произрастает преимущественно на землях сельскохозяйственного назначения и в значительной мере отражает их зарастание.
- Исторические маски распашки пока не используются: оценивается весь лес вне лесного фонда, а не только на бывших сельскохозяйственных землях.

Определение леса

Определение леса FAO: Земельные участки площадью более 0,5 га с деревьями высотой более 5 м и с сомкнутостью полога более 10 %, или с деревьями, способными достичь этих пороговых значений in situ.

В том числе:

- Включает ветрозащитные полосы, лесозащитные полосы и полосы деревьев площадью более 0,5 га и шириной более 20 м.
- Включает заброшенные земли со сменной культивацией, где производится восстановление лесонасаждений, которые имеют или, как ожидается, будут иметь сомкнутость полога 10 %, а деревья – высоту 5 метров.
- Включает участки, не входящие в предусмотренные законом лесные земли и соответствующие определению «Леса».

В рекомендациях МГЭИК критерии похожие, но уже менее точные. Кроме того, конкретное значение порогов рекомендуется подбирать под конкретную задачу.

В прикладных работах часто иные критерии, например, недавно нами решалась задача, где требовалось по ТЗ определить ДКР с площадью более **0.1 Га** (против **0.5 Га** из определения FAO).

Детальнее об определении леса FAO можно узнать в [Глобальная оценка лесных ресурсов (2020): Термины и определения https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d585901e-0750-4ad4-ac39-32504ffabb4d/content]

Существующие продукты с высоким пространственным разрешением (>30 м/п)

Название	Годы	Разрешение	Ссылка
EC JRC global map of forest cover	2020	10	Bourgoin, C.; Ameztoy, I.; Verhegghe
ESA WorldCover 10m	2020-2021	10	Zanaga,D.,Van De Kerchove,R.,De Ke
ESRI 10m Annual Land Cover	2017-2023	10	Karra,Kontgis,et al. вЂњGlobal land
ETH Global Sentinel-2 10m Canopy Height	2020	10	Lang,N.,Jetz,W.,Schindler,K.,& Wegn
Global 4-class PALSAR-2/PALSAR Forest/Non-Fores	2017-2021	25	Masanobu Shimada,Takuya Itoh,Tak
Global Forest Canopy Height from GEDI & Landsat	2019	30	P. Potapov,X. Li,A. Hernandez-Serna,
Global Land Cover and Land Use Change	2000-2020	30	Potapov,P.,Hansen,M. C.,Pickens,A.,H
Hansen Global Forest Change	2000-2023	30	Hansen,M. C.,Potapov,P. V.,Moore,R
SBTN Natural Lands Map	2020	30	Mazur,E.,M. Sims,E. Goldman,M. Sch
Dynamic World (derivative product)	2017-2025	10	Brown C. F. et al. Dynamic World, Ne
FROM-GLC10	2017	10	Gong P. et al. Stable classification wi
GLC_FCS30D	1985-2023	30	Liu L., Zhang X., Zhao T. GLC_FCS30D
AGLC-2000-2015	2000-2015	30	Xu X., Li B., Liu X., Li X., Shi Q. Mappi
Карта неиспользуемых сельхоз земель	2018	30	

Новые продукты начинают появляться быстрее, чем успеваешь их отслеживать

Схема обработки данных и продукты

Базовые продукты

Расчет лесного индекса для периода

- Маскирование облачности и теней
- Лесной индекс для каждой сцены за период вегетации
- Агрегация медианой за период

[Значение FI за период]

Создание маски за период

- Классификация по порогу
- Преобразования 10<->30 для совместного использования
- Временная фильтрация
- Пространственная фильтрация (опционально)

[Маска леса за период]

Создание карт появления и исчезновения леса

- Преобразования 10<->30 для совместного использования
- Коррекция границ
- Определение первого периода появления
- Определение последнего года появления

[Карта появления] [Карта исчезновения]

маски леса 1980–1999 гг.

маски леса 2000–2025 гг., карты появления и исчезновения

Постобработка

Маска исключения

- Лесной фонд (ГИЛ) и арктическая зона
- Растеризация на сетки масок 30 и 10 м
- Постоянные леса: лес в 1980-х или 1990-х гг.
- Буферная зона 30 м вокруг лесного фонда и постоянных лесов

[Маска исключения]

Продукты: лес вне лесного фонда

- Маски леса 2000–2025 гг. на исследуемой территории
- Период появления и исчезновение леса на исследуемой территории

[Маски леса вне лесного фонда]

[Карты появления и исчезновения]

Статистика площадей

- Площади по субъектам РФ, периодам и годам
- Лес в буфере, появление и исчезновение леса
- Распределение площади по году появления
- В рейтинге 81 субъект (8 исключены)

[Динамика площади и рейтинг субъектов РФ]

Периоды: 1980–1999 — по 10 лет, **2000–2019** — по 5 лет (30 м/пикс); **2019–2025** — ежегодно (10 м/пикс).

Все продукты размещены в системе Bega-Science

Лесной индекс

Ye, W., Li, X., Chen, X., Zhang, G. A spectral index for highlighting forest cover from remotely sensed imagery //Land surface remote sensing II. – SPIE, 2014. – Т. 9260. – С. 287-295.

So that the final form of the FI is defined as follows:

$$FI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{red} - L}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}\right)\left(\frac{c_1 - \rho_{NIR}}{c_2 + \rho_{green}}\right) \quad (5)$$

where L, C_1 and C_2 are empirically set to 0.01, 1 and 0.1 in this study, respectively. Thus, the range of the FI is from minus infinity to 10.

Table 3. Overall, user's and producer's accuracies (%) and kappa coefficients of the two forest/non-forest classification maps

Path/row	Overall accuracy	Kappa coefficient	User's accuracy		Producer's accuracy	
			Forest	Non-forest	Forest	Non-forest
20/34	97.8	0.954	99.48	96.75	95.02	99.67
37/23	96.2	0.911	97.96	95.47	90.00	99.12

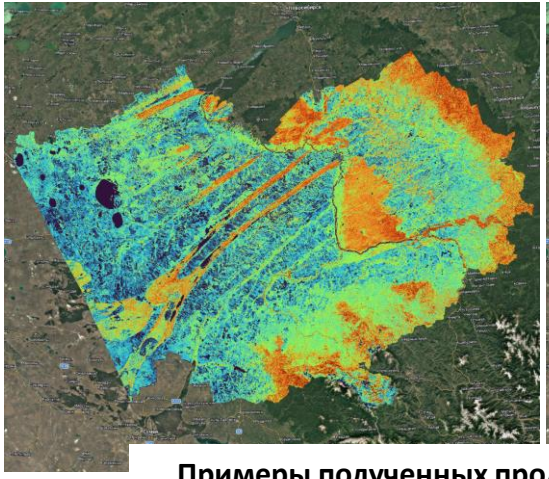


Набор продуктов для всех регионов России

1 3.5 5

Легенда

Лесной индекс,
13 периодов

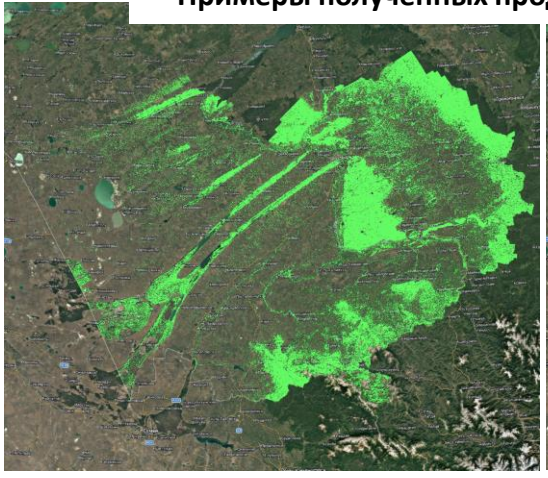


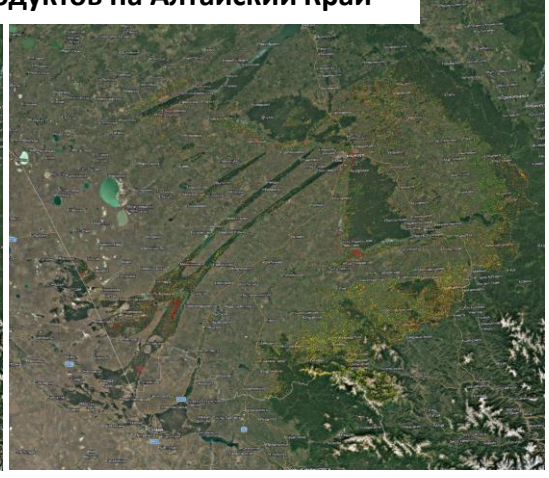


Период появления леса
к 2024-му и 2025*-му,
с и без пространственной
фильтрации

Примеры полученных продуктов на Алтайский Край

Маски леса,
13 периодов,
с и без
пространственной
фильтрации





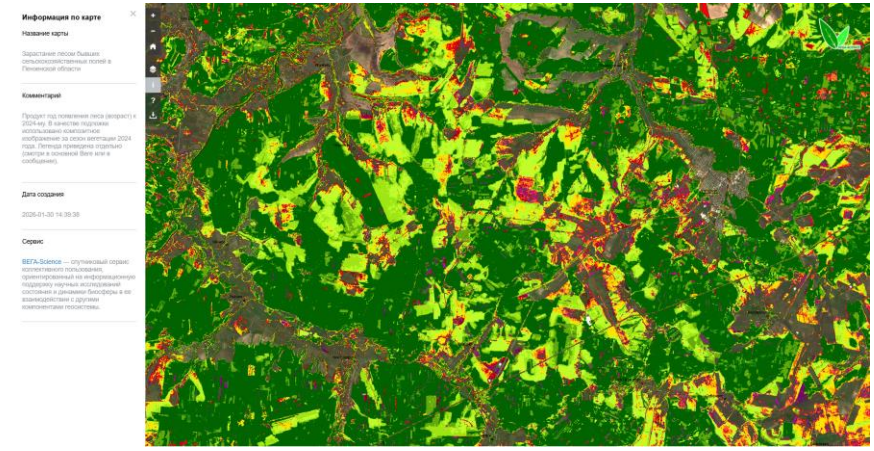
Год исчезновения леса
к 2024-му и 2025*-му,
с и без
пространственной
фильтрации

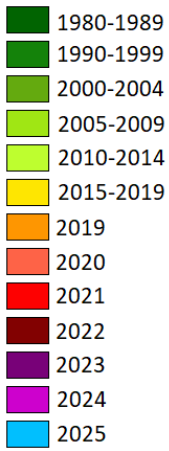
1980-1989
1990-1999
2000-2004
2005-2009
2010-2014
2015-2019
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025

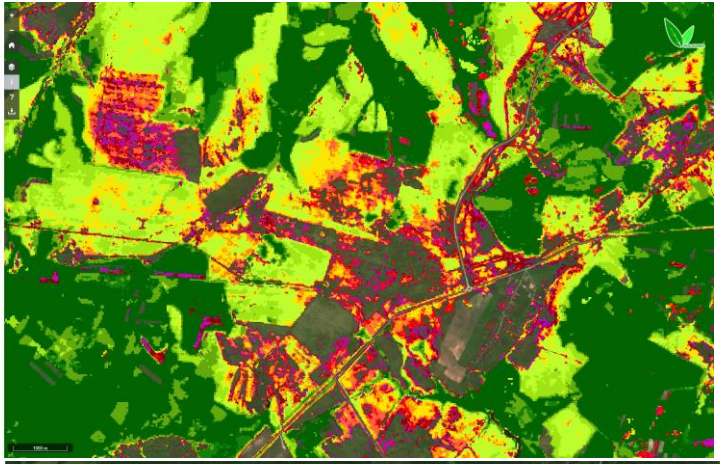
Легенда
продуктов год
появления и
исчезновения

* - без временной
фильтрации
последнего
периода

Примеры результатов









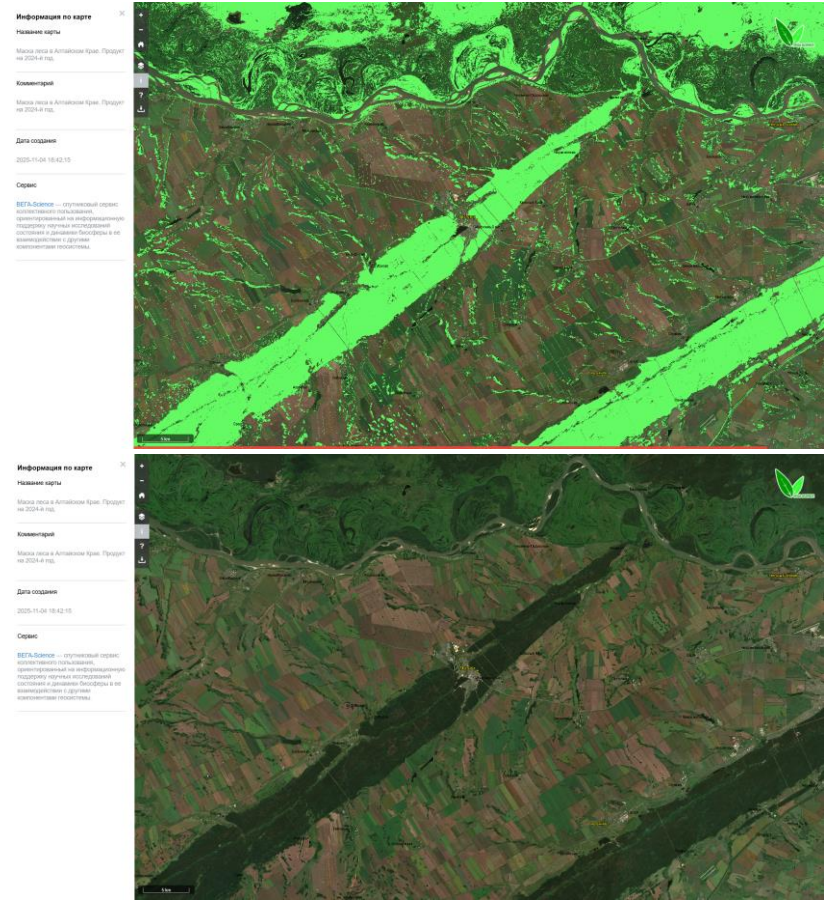
Период появления леса к 2024-му, заросшие поля в Пензенской области



Примеры результатов

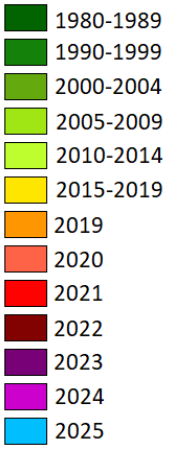


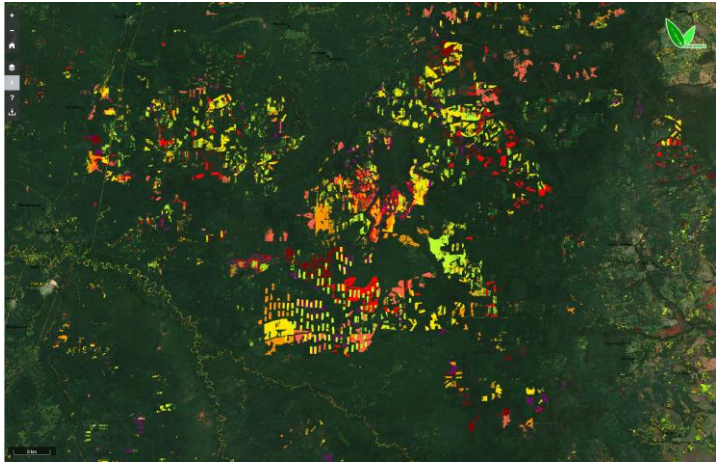
Лесной индекс и маска леса, 2024, Алтайский край



Примеры результатов

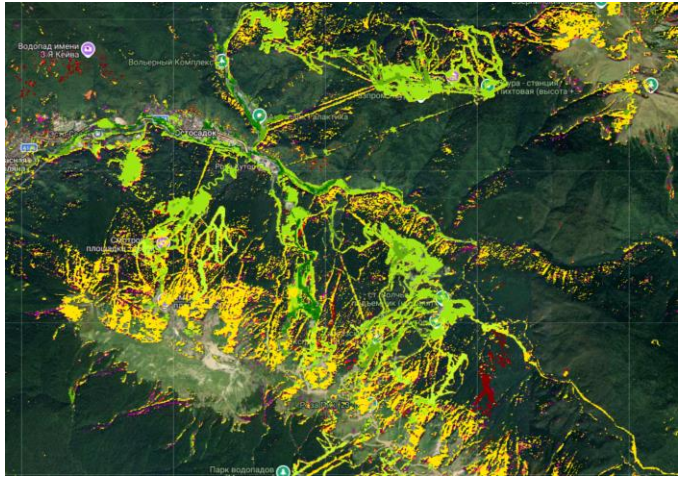






Исчезновения леса после пожаров разных лет в Иркутской области

Сплошные вырубки леса в Красноярском Крае

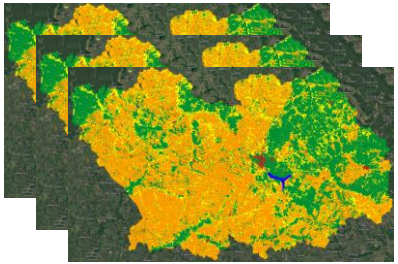


Продукт исчезновение леса. Места где лес был детектирован хотя бы раз, но к 2024-му его уже не было

Исчезновение леса в Красной поляне

Оценка качества

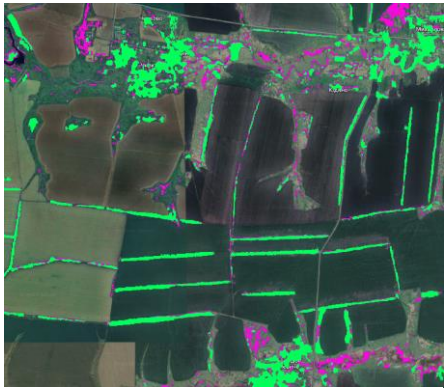
ESA WorldCover, IO LULC, Dynamic World



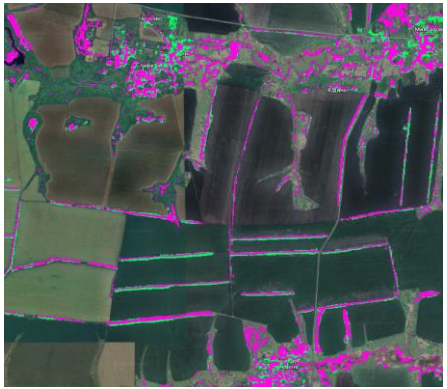
VS

Маска леса





ESA WorldCover (зеленым) сверху над Маска леса (фиолетовым)



Маска леса (фиолетовым) сверху над ESA WorldCover (зеленым)

Результаты сравнения для 2020-2021 для тестовых регионов

Сводная таблица по источникам (среднее по регионам)

Источник	F1-Score	Precision	Recall	IoU	Kappa
WC	**0.93** ± 0.03	0.93 ± 0.04	**0.93** ± 0.03	0.88 ± 0.05	**0.85** ± 0.03
LULC	0.92 ± 0.03	0.92 ± 0.05	0.93 ± 0.03	0.86 ± 0.06	0.84 ± 0.03
DW	0.87 ± 0.08	**0.98** ± 0.01	0.79 ± 0.11	0.78 ± 0.12	0.70 ± 0.10

Качество классификации по сравнению с WC (WorldCover)

Регион	F1-Score	Precision	Recall	IoU	Kappa
Вологодская обл.	**0.96**	0.94	**0.95**	**0.92**	**0.81**
Хакасия	0.95	0.94	0.92	0.90	0.89
Калужская обл.	0.95	0.93	0.96	0.90	0.85
Пензенская обл.	0.92	0.95	0.95	0.86	0.88
Калининградская обл.	0.89	0.94	0.91	0.82	0.78

Выявленные проблемы

1. Единый порог для всех регионов и лет приводит к недобору леса в одних условиях и перебору в других. Наиболее значительные ошибки характерны для северных территорий.

2. Ошибки из-за единого порога и подхода для разных сенсоров, в том числе проблема на границах лес/не лес из-за разного пространственного разрешения.

3. Ложное детектирование в пикселях, содержащих густую (не лесную) растительность.

4. Недобор леса на теневых участках склонов.

5. Ложное определение леса на смешанных пикселях, содержащих водные объекты, и особенно на заболоченной растительности.

Маска исключения: земли лесного фонда и арктическая зона

Земли лесного фонда и других категорий, для которых осуществляется государственный учёт лесов

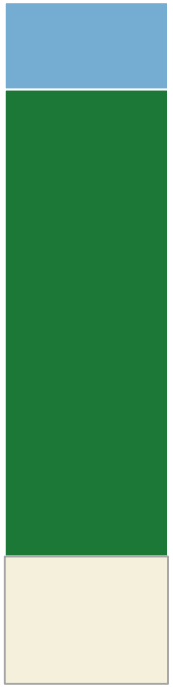
- актуализированная цифровая основа с границами лесотаксационных выделов по результатам I цикла ГИЛ;
- 92 векторных файла по 84* субъектам РФ; границы едины для всех лет.

Арктическая зона — по Указу Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 “О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации”.

Растеризация — на сетки масок ДКР 30 и 10 м в границах субъектов РФ, по центру пикселя.

*Данных о лесном фонде нет для Москвы, ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областей; данные неполны для Воронежской области, Краснодарского края, Нижегородской области и ряда других территорий. Пробелы решено закрыть маской постоянных лесов.

Площадь 89 субъектов РФ — 1701 млн га



Арктическая зона вне лесного фонда
218 млн га (12,8 %)

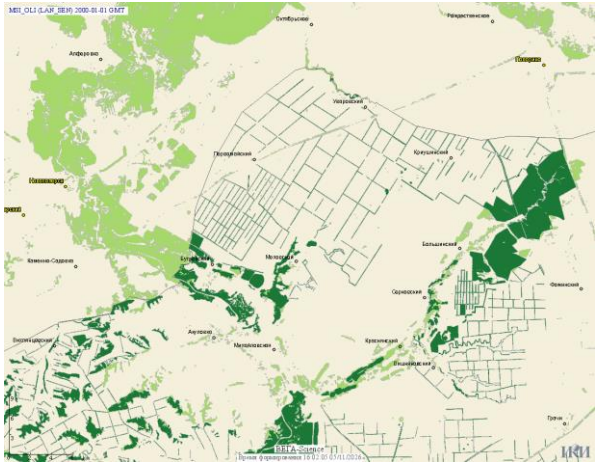
Лесной фонд
1166 млн га (68,5 %)

Остальная территория
317 млн га (18,6 %)

Маска исключения



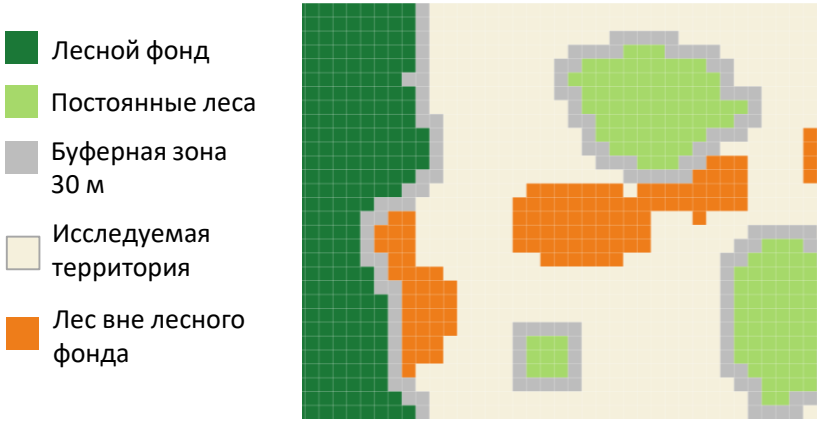
Анимация, в pdf недоступно



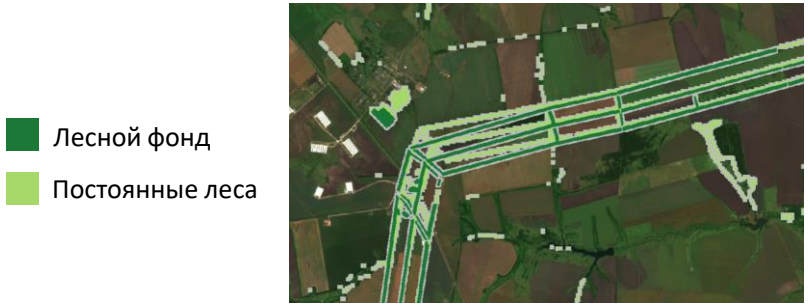


Маска исключения: постоянные леса и буферная зона

Схема на условном примере, пиксель 30 м



Пример ошибок в векторных данных выделов



Постоянные леса — лес хотя бы в одном из периодов 1980–1989 и 1990–1999 гг. (Landsat, 30 м).

→ Оценивается лес, появившийся после 1999 г. на землях, безлесных в 1980–1990-е гг.

Буферная зона 30 м вокруг лесного фонда и постоянных лесов:

- убирает ложный «лес вне лесного фонда» вдоль границ выделов и ступенчатую кромку лесов 30 м на сетке 10 м;
- устраняет некоторые ошибки привязки в векторных данных выделов
- исключает и часть реального зарастания у опушек — оценка консервативна.

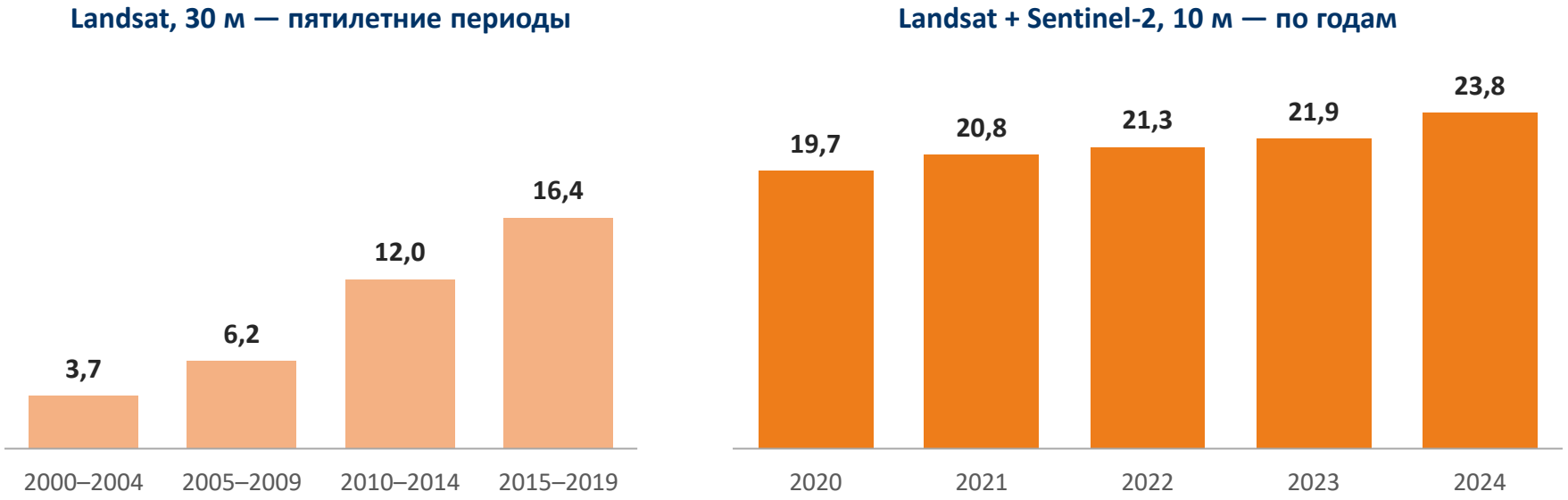
Остальная территория 89 субъектов — 317 млн га:



постоянные леса — 22,7 млн га (7,2 %)

буферная зона — 29,2 млн га (9,2 %)

Площадь леса вне лесного фонда в 2000–2024 гг.



Площадь леса, появившегося после 1999 г. вне лесного фонда, млн га; 81 субъект РФ

×4,4

рост с 2000–2004 до 2015–2019 гг.
(с 3,7 до 16,4 млн га)

+21 %

рост с 2020 до 2024 г.
(с 19,7 до 23,8 млн га)

9 %

доля от исследуемой территории в 2024 г.
(23,8 из 252,8 млн га)

Не включены 8 из 89 субъектов РФ: Камчатский край, Республика Саха (Якутия), Магаданская и Сахалинская области — нет данных до 2000 г.; Мурманская область, Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Чукотский АО — почти целиком в арктической зоне.

Лес вне лесного фонда по субъектам РФ, 2024 г.



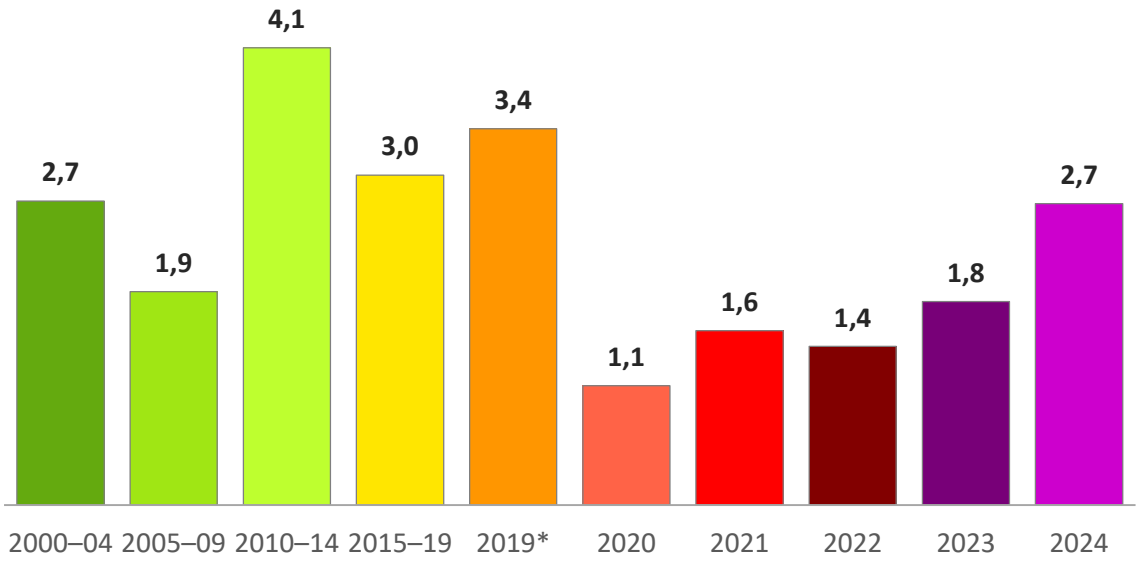


Наибольшая доля — нечерноземные регионы, наименьшая — южные степные регионы (около 2 % и менее): Калмыкия, Крым, Ставропольский край, Волгоградская и Оренбургская области.

Рейтинг устойчив к выбору года, он почти не меняется, если взять среднее за 2020–2024 годы. * Регион с большим числом заболоченных территорий вне лесного фонда: ежегодные оценки менее надёжны.

Период появления леса вне лесного фонда (на 2024 г.)

Площадь по году появления леса, млн га



4,7 млн га 20 %

появился в 2000–2009 гг.
возраст более 15–24 лет

10,5 млн га 44 %

появился в 2010–2019 гг.
возраст более 5–14 лет

8,6 млн га 36 %

появился в 2020–2024 гг.
появился менее чем 5 лет назад

Год появления — начало последнего непрерывного периода присутствия леса (продукт «год появления леса» к 2024 г., 10 м); 81 субъект РФ. До 2019 г. — пятилетние периоды, далее — годы.

* Класс 2019 г. завышен из-за перехода от 30 к 10 м. Позднее годы включают и повторное выявление леса после межгодовых колебаний маски 10 м.

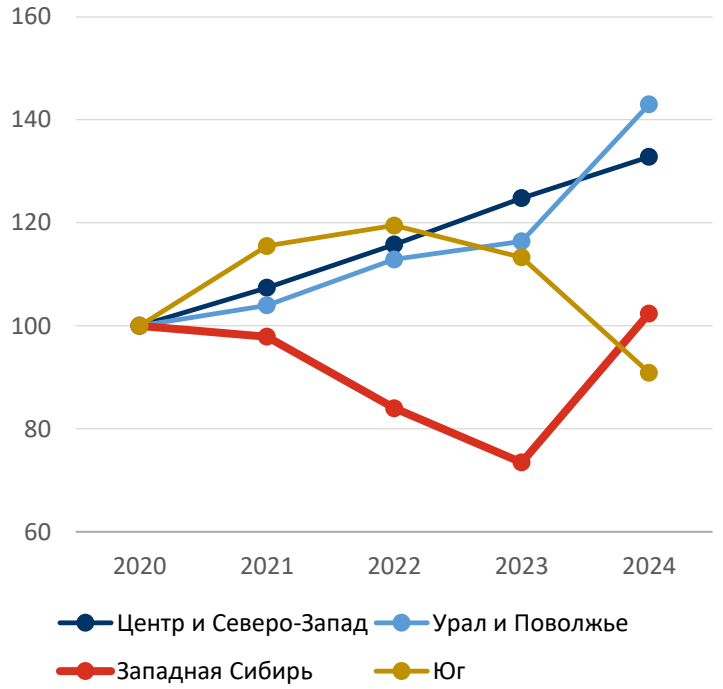
Ограничения текущей оценки

Оценка консервативна: буферная зона 30 м исключает и реальное зарастание у опушек. **В 2024 г. в буферной зоне ещё 12,1 млн га леса (51 % от оценки).**

Потенциальные проблемы алгоритма:

- площадь зависит от ширины буфера;
- ряды карт 30 и 10 м ограниченно сопоставимы: площадь 2019 г. (10 м) в 1,16 раза больше, чем за 2015–2019 гг. (30 м), по субъектам — от 0,83 до 2,16;
- единый порог лесного индекса для всей страны вносит ошибку;
- ежегодные оценки 10 м подвержены синхронным межгодовым колебаниям, особенно в заболоченных регионах Западной Сибири: региональные тренды по годам менее надёжны, чем оценки за пятилетние периоды.

Площадь леса вне лесного фонда, % к 2020 г.



Группы регионов; Западная Сибирь — Омская, Новосибирская, Томская, Тюменская, Курганская обл., ХМАО, Алтайский край, Респ. Алтай

Заключение

1. Созданы карты лесов, появившихся после 1999 г. вне земель лесного фонда, для всей территории России: по данным Landsat (30 м) — за пятилетние периоды 2000–2019 гг., по данным Landsat и Sentinel-2 (10 м) — ежегодно за 2019–2025 гг.

2. В 81 субъекте РФ площадь таких лесов выросла с 3,7 млн га в 2000–2004 гг. до 16,4 млн га в 2015–2019 гг. (30 м) и с 19,7 до **23,8 млн га** за 2020–2024 гг. (10 м). В 2024 г. это **9 % исследуемой территории**.

3. Наибольшая доля заросших земель — в **нечерноземных регионах** (Костромская, Тверская, Смоленская области — 45–47 %), наименьшая — в южных степных (около 2 % и менее). Наибольшая площадь — в Кировской, Тверской, Нижегородской и Смоленской областях (0,9–1,1 млн га).

4. Около 20 % таких лесов **(4,7 млн га)** появились в 2000–2009 гг. и непрерывно существуют до 2024 г.

5. Оценка консервативна и зависит от ширины буфера; региональные тренды по ежегодным данным 10 м менее надёжны, чем оценки за пятилетние периоды.

6. Все продукты доступны в системе Bega-Science.

Дальнейшие планы

1. Оптимизация вычислительного процесса: переход с порегионной схемы обработки на потайловую.

2. Корректировка текущих подходов для повышения точности:
- Локальная адаптация порога классификации в зависимости от региона и характеристик сенсора;
- Улучшение учета сезонной динамики;
- Возможен переход на бисезонный (с учетом снега) лесной индекс для северных территорий.

3. Внедрение продвинутых методов детектирования
- Создание надежных и репрезентативных обучающих выборок, в том числе для «сложных» пикселей;
- Тестирование моделей машинного и глубокого обучения для повышения точности классификации.

4. Расширенная валидация и сравнение продуктов
- Количественная валидация на основе созданных эталонных выборок;
- Сравнительный анализ с другими существующими продуктами (Хансен и др.).

5. Использование масок исторической распашки: переход к оценке площади появившегося леса именно на бывших сельскохозяйственных землях.

Продукты в системе Вега-Science

Базовые продукты — вся территория России

- Лесной индекс и маски леса: 1980–1989 и 1990–1999 гг., пятилетние периоды 2000–2019 гг. (30 м), ежегодно 2019–2025 гг. (10 м)
- Год появления и год исчезновения леса к 2024 и 2025 гг. (10 м)

Лес вне лесного фонда

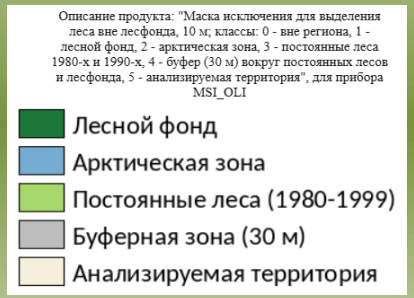
- Маски леса вне лесного фонда: 2000–2004 … 2015–2019 гг. (30 м), 2019–2025 гг. (10 м)
- Год появления и год исчезновения леса вне лесного фонда к 2024 и 2025 гг. (10 м)
- Маски исключения 30 и 10 м: лесной фонд, арктическая зона, постоянные леса, буферная зона

Продукты доступны всем пользователям системы Вега-Science, имеющим учётную запись: ssl.sci-vega.ru

Данные 2025 г. — предварительные. Они будут уточнены вместе с появлением предварительных за 2026 г. в начале 2027-го.

https://ssl.sci-vega.ru/mapviewer/?id=1793886500484





По QR доступна упрощенная версия для быстрого просмотра. Для доступа ко всем продуктам и возможностям их обработки используйте основной интерфейс системы Вега-Science

Спасибо за внимание!

Работа выполнена с помощью инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (http://ckp.geosmis.ru/) в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 126031818938-6).