



Золотое двадцатилетие космических исследований лесов России

Барталев Сергей Александрович

Институт космических исследований РАН



Научная сессия по заслушиванию докладов кандидатов
в члены-корреспонденты РАН, 12 апреля 2022 года

Основные тенденции развития методов дистанционного мониторинга лесов

1980-е годы

Переходный период
2000 +/- 2

Настоящее время

Доступность данных

- Ограниченная доступность данных
 - Значительное время на получение данных
 - Ограниченный территориальный охват (тестовые участки, регионы)
- On-line доступ к данным:
- SPOT-Vegetation
 - Terra/Aqua-MODIS
 - Исторические данные Landsat
- Нарастание объема свободно доступных данных, включая:
 - Landsat-8
 - Sentinel-1, 2 & 3
 - Proba-V

Методы обработки данных

- Разработаны методы визуальной и автоматизированной обработки данных
- Развитие методов обработки данных для мониторинга лесов на больших территориях
- Автоматические методы обработки данных для мониторинга лесов на больших территориях

Вычислительные средства

- Относительно низкая производительность
- ПК позволяют обрабатывать данные для больших территорий
- Необходимость хранения и обработки сверхбольших объемов данных

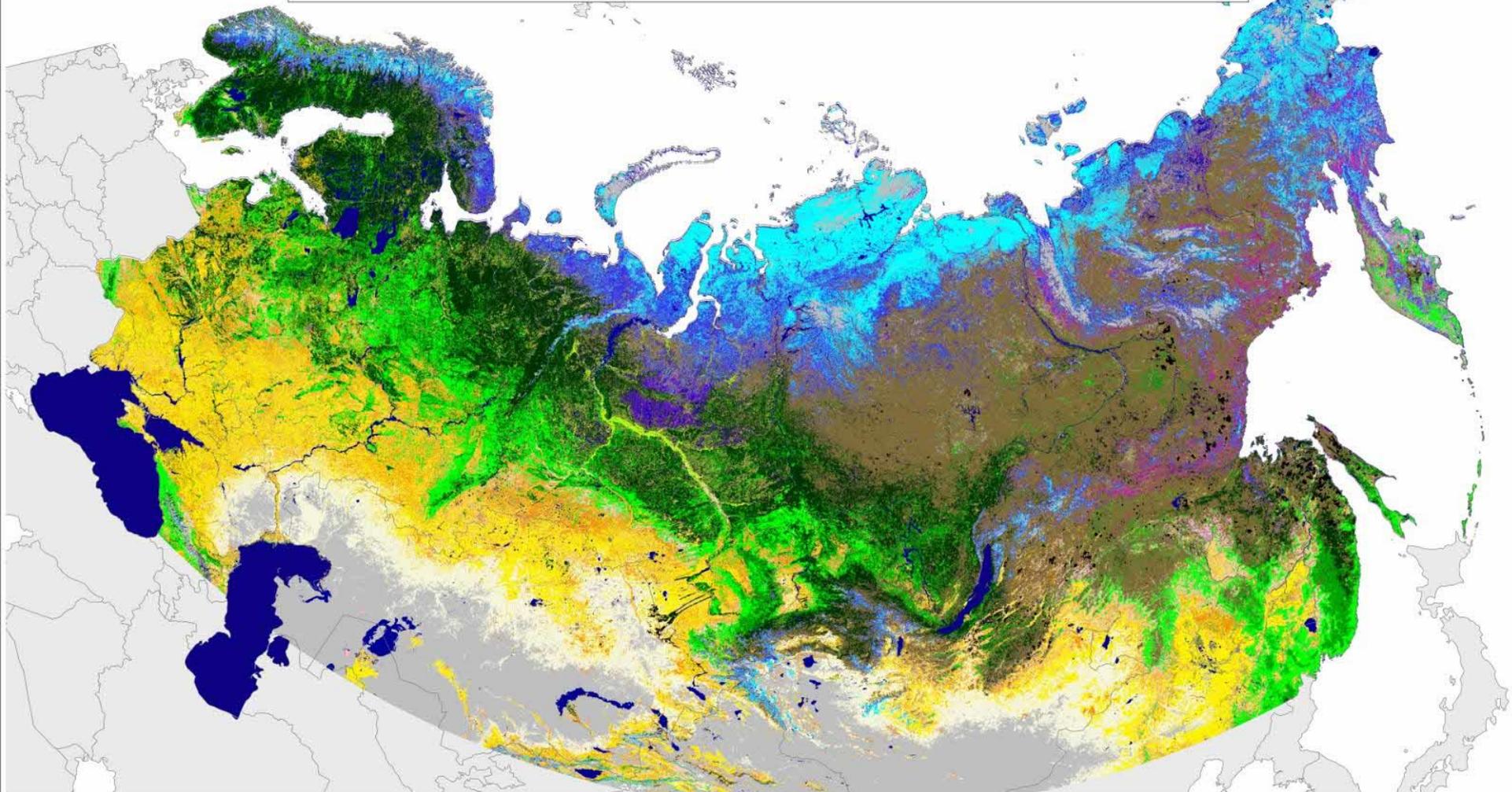
Технологии

- Региональные применения на основе визуальной интерпретации изображений
- Развитие Интернет технологий
- Поточная обработка данных
- Web-сервисы представления, обработки и анализа данных
 - "Реинкарнация" интерактивной обработки данных

Пользователи

- Ограниченное использование результатов, как правило, в демонстрационных целях
- Крупные государственные организации
- Международные организации
 - Государственные организации
 - Частные компании

THE LAND COVER OF NORTHERN EURASIA FOR THE YEAR 2000



FORESTS / ЛЕСА	SHRUBLANDS / КУСТАРНИКИ	GRASSLANDS / ТРАВЯНИСТАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	OTHER VEGETATION TYPES AND COMPLEXES / ДРУГИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И РАСТИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ	NON-VEGETATED LAND COVER TYPES / НЕРАСТИТЕЛЬНОСТЯНЫЕ ЗЕМЛИ
Evergreen Needleleaf Forest Вечнозеленый хвойный лес	Needleleaf European Shrubs Игольчатые европейские кустарники	Humid Grasslands Пастбища	Forest: Natural Vegetation Complex Лес в комплексе с другими естественными растительностями	Bare soil and rock Пустыни и скалы
Deciduous Broadleaf Forest Лиственный лес	Broadleaf Deciduous Shrubs Лиственный европейский кустарник	Wetland Степь	Forest: Coniferous Complex Лес в комплексе с хвойно-лиственными растительностями	Perennial snow / ice Вечная зима и лед
Needleleaf / Broadleaf Forest Смешанный с преобладанием хвойных лесов	WETLANDS / ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ	TUNDRA / ТУНДРА	Forest: Mixed Complex Лес в комплексе с смешанными лиственными растительностями	Inland water bodies Озера и внутренние водоемы
Mixed Forest Смешанный лес	Swamp and Marsh Болота	Wetland with Freshwater Широколиственный болотный комплекс	Forest: Deciduous Complex Лес в комплексе с широколиственными растительностями	Urban Застроенные территории
Broadleaf / Needleleaf Forest Смешанный с преобладанием лиственных лесов	Palme Bog Горно-чирокочные болотные комплексы	Wetland with Freshwater Широколиственный болотный комплекс	Forest: Grassland Complex Смешанно-лесная зона в комплексе с пастбищами	Barren Скалы
Deciduous Needleleaf Forest Лиственный смешанный лес	Wetland with Freshwater Широколиственный болотный комплекс	Wetland with Freshwater Широколиственный болотный комплекс		Country borders Границы государств

MAP INFORMATION

0 200 400 km

Map parameters
 Projection: Albers Equal-Area Conic, Spheroid: WGS-84, Central Meridian: 90° E, Reference Latitude: 0° N,
 Standard Parallel 1: 50° N, Standard Parallel 2: 30° N

Настоящая карта наземной экосистемы Северной Евразии создана Объединенным Исследовательским Центром Европейской комиссии и сотрудничества с Центром по Приближенным Зонам и Изменчивости Ресурсов Российской Академии Наук. Карта получена в рамках проекта Global Land Cover 2000 по данным, полученным на борту спутника SPOT 4, инструментом VEGETATION. Между созданием карты включены классификационные классы типов земного покрова с использованием метода улучшения продукции спутниковых данных, характеризующая фенологическую динамику растительности, уровень испаряемости и температурные свойства отражения земной поверхности, а также длительность залегания снежного покрова.

This map of Northern Eurasia's land cover has been created at European Commission's Joint Research Centre in partnership with Russian Academy of Sciences' Centre for Forest Ecology and Productivity. The mapping has been performed as part of Global Land Cover 2000 project with use of data obtained by the VEGETATION sensor on board the Earth Observation satellite SPOT 4. Land cover classes have been identified with series of advanced data products, derived from VEGETATION data, in order to characterize phenology of vegetation, water content of surface, directional reflectance properties and snow duration.

CONTACT DETAILS

Dr. Sergey A. Bartalev
 The Russian Academy of Science
 Space Research Institute
 8432 Profsoyuznaya Str.
 117997 Moscow, Russia
 Fax: 007 095 913 30 40
 bartalev@gsi.rssi.ru

Acad. Alexander S. Isaev, Dr. Dmitry V. Yershov
 The Russian Academy of Science
 Center for Forest Ecology and Productivity
 8432 Profsoyuznaya Str.
 117997 Moscow, Russia
 Fax: 007 095 913 30 17
 isaev@csfp.rssi.ru; yershov@gsi.rssi.ru

Dr. Alan S. Belward
 The European Commission
 Joint Research Center
 Institute for Environment and Sustainability
 Global Vegetation Monitoring Unit
 1-20152 Ispra (VA), Italy
 Fax: +39 0332 789873
 alan.belward@ec.it

Russian Academy of Sciences

Digital datasets can be downloaded from: [HTTP://WWW.GOMARC.IT/GLC2000](http://www.gomarc.it/GLC2000)
 Developed as part of the Global Land Cover 2000 project, coordinated by the Global Vegetation Monitoring Unit of the European Commission Joint Research Centre

EUROPEAN COMMISSION

Опыт разработки GLC2000

«Плюсы»

- Используются спектрально-временные и спектрально-угловые признаки классификации
- Относительно большое количество классов
- Относительно высокая точность

«Минусы»

- Необходимость экспертного участия
- Практическая невозможность повторения результата

«Уроки»

- Осознана важность максимально полного использования временных рядов данных
- Осознана необходимость обеспечения локальной адаптивности классификаторов
- Осознана необходимость разработки «механизмов» динамического картографирования (актуализация выборки, обеспечения однородности рядов карт и т.д.)

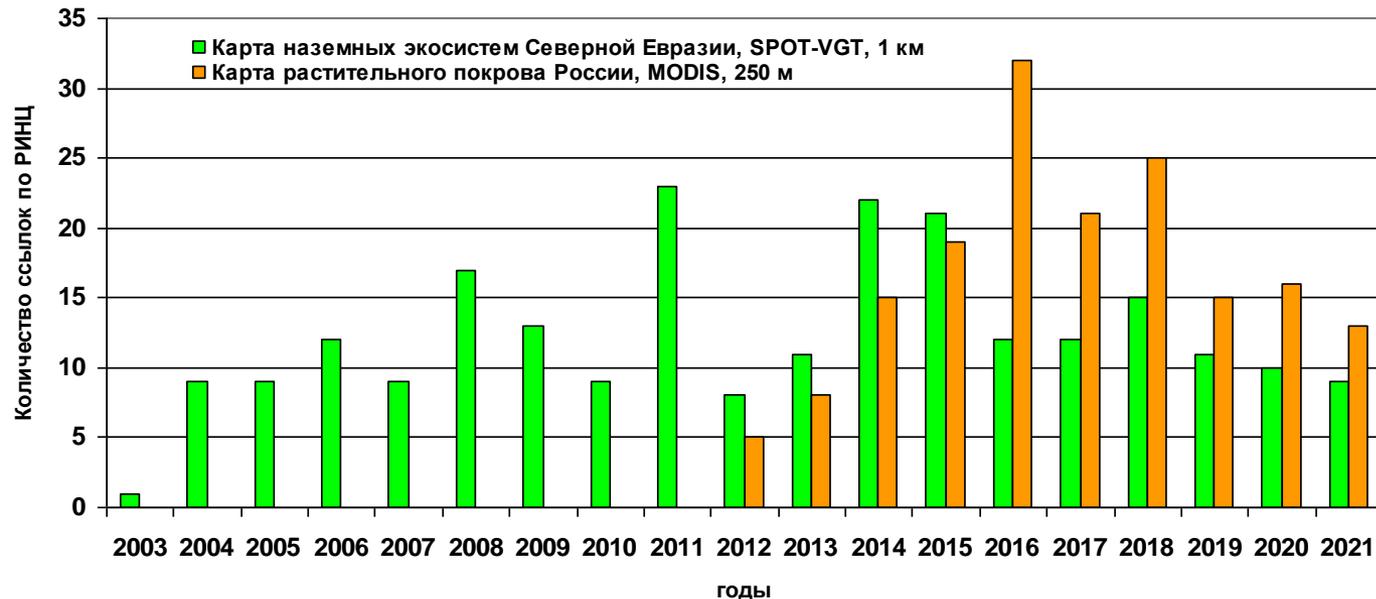
A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia

S. A. BARTALEV, A. S. BELWARD

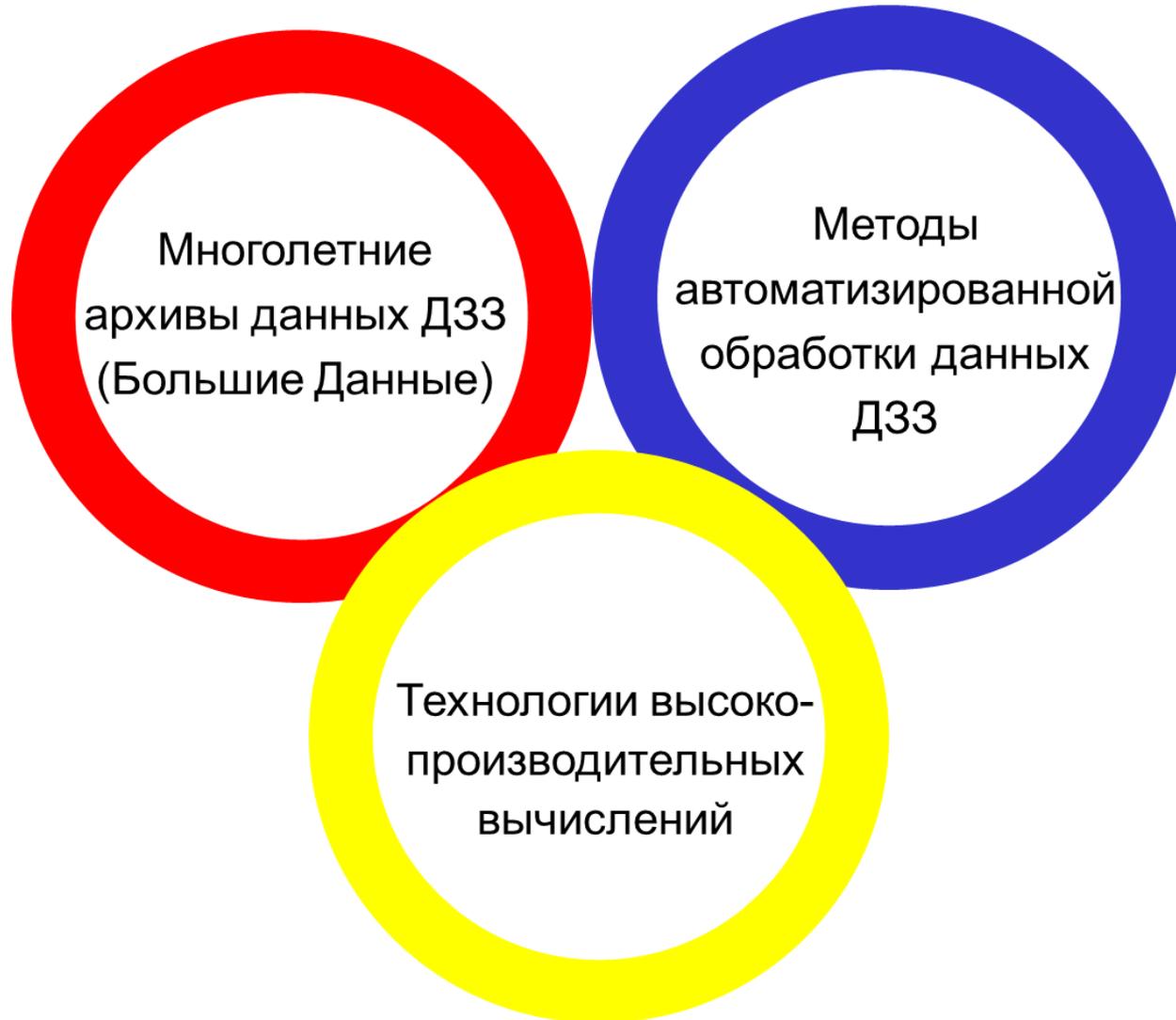
Institute for Environment and Sustainability, EC Joint Research Centre,
21020 Ispra (VA), Italy; e-mail: sergey.bartalev@jrc.it;
e-mail: alan.belward@jrc.it

D. V. ERCHOV and A. S. ISAEV

Center for Forest Ecology and Productivity of Russian Academy of Science,
84/32 Profsoyuznaya Str., 117810 Moscow, Russia; e-mail: ershov@ifi.rssi.ru;
e-mail: isaev@cepl.rssi.ru



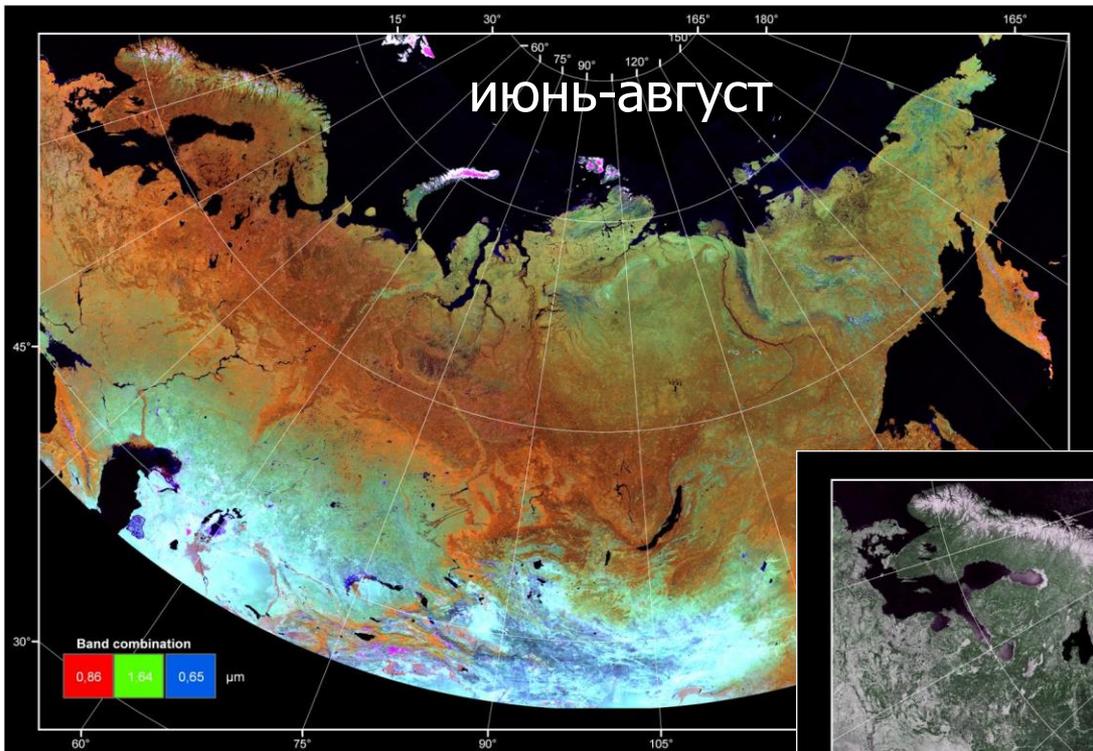
Компоненты современной методологии спутникового мониторинга лесов



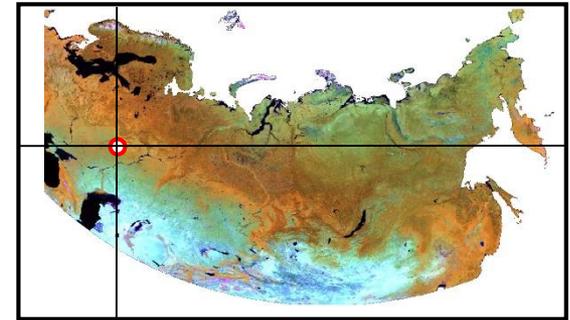
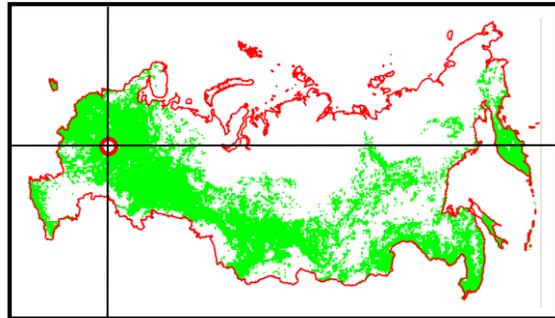
Особенности современной методологии спутникового мониторинга лесов

1. Направленность на разработку методов и технологий автоматической обработки данных ДЗЗ, обеспечивающих полную воспроизводимость результатов;
2. Ориентированность на разработку локально-адаптивных алгоритмов обработки данных ДЗЗ;
3. Применимость разрабатываемых технологий для картографирования растительного покрова на больших территориях вплоть до глобального охвата;
4. Возможность формирования однородных временных рядов карт, способных характеризовать динамику растительного покрова (динамическое картографирование).

Примеры безоблачных композитных изображений по данным MODIS



LAGMA : метод локально-адаптивной классификации земного покрова



Локальные спектрально-временные сигнатуры

$$\Sigma_i$$

Ковариация признаков

$$\bar{a}_i$$

Средние значения признаков

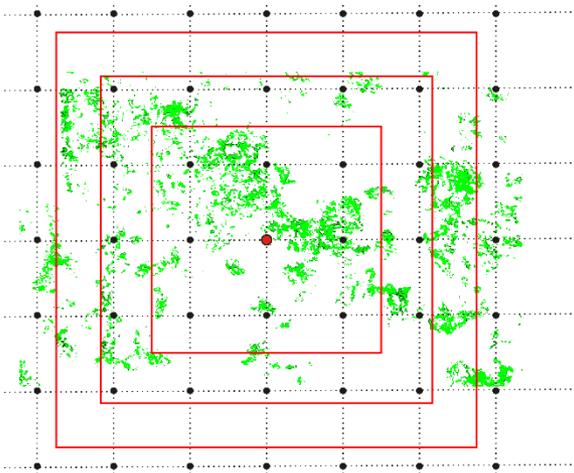
$$n_i$$

Количество пикселей

Спектрально-временные признаки классификации

$$\bar{x}$$

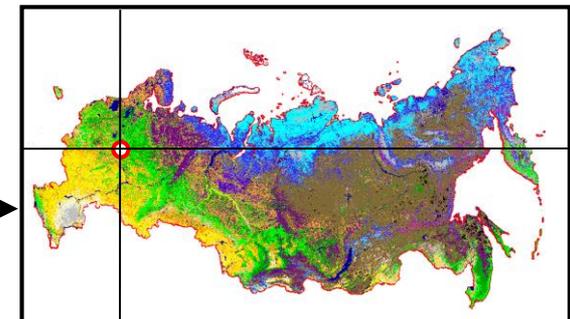
Значения признаков в пикселе



Классификатор

$$f_i(\bar{x})$$

Вероятности для классов





A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data

S.A. Bartalev*, V.A. Egorov, E.A. Loupian, and S.A. Khvostikov

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences Moscow, Moscow, Russia

(Received 26 August 2013; accepted 21 November 2013)

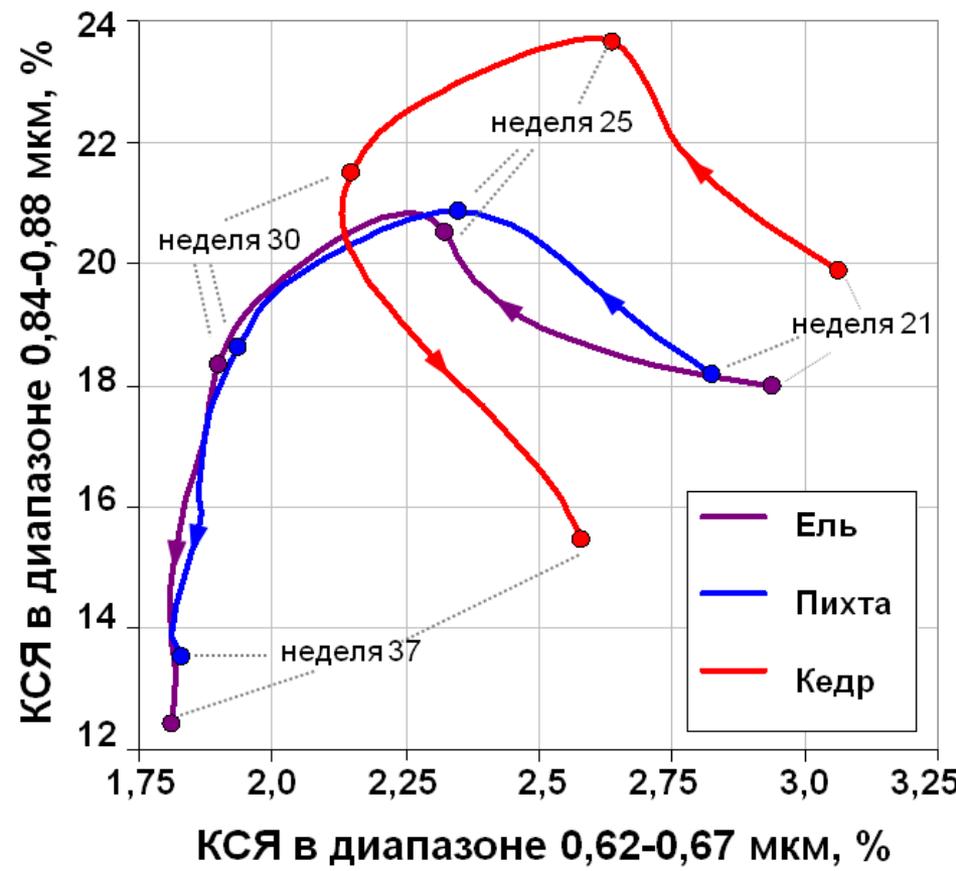
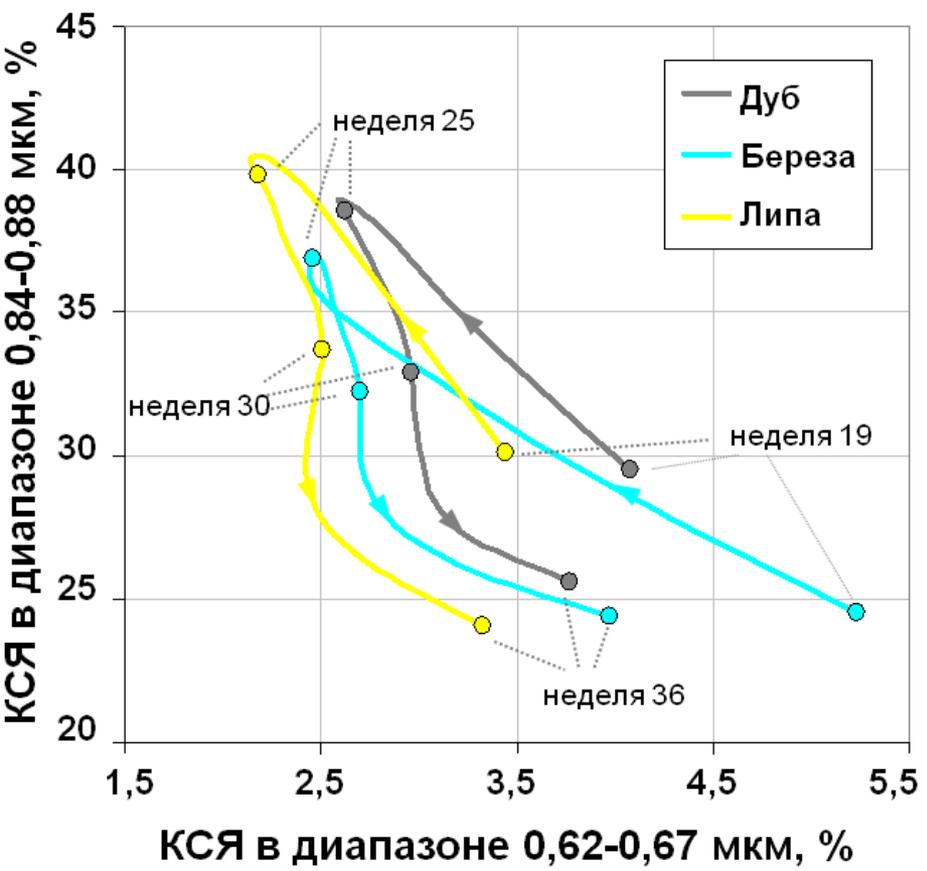
A new locally-adaptive image classification method LAGMA (Locally-Adaptive Global Mapping Algorithm) has been developed to meet requirements of land cover mapping over large areas using remote-sensing data. The LAGMA involves the grid-based supervised image classification using classes' features estimated locally in classified pixels' surrounding from spatially distributed reference data. The LAGMA considers inherently spatial variations of classes' features and is capable of exploiting discriminative properties of local classes' signatures without any preliminary stratification of mapping area. The LAGMA has been applied for country-wide land cover classification over Russian Federation using the Vegetation instrument data on board of the SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) satellite and has demonstrated advantages in terms of recognition accuracy.

КАРТА РАСТИТЕЛЬНОСТИ РОССИИ



Ежегодно обновляемые по данным MODIS карты растительного покрова России, 250 м

Картографирование породной структуры лесов

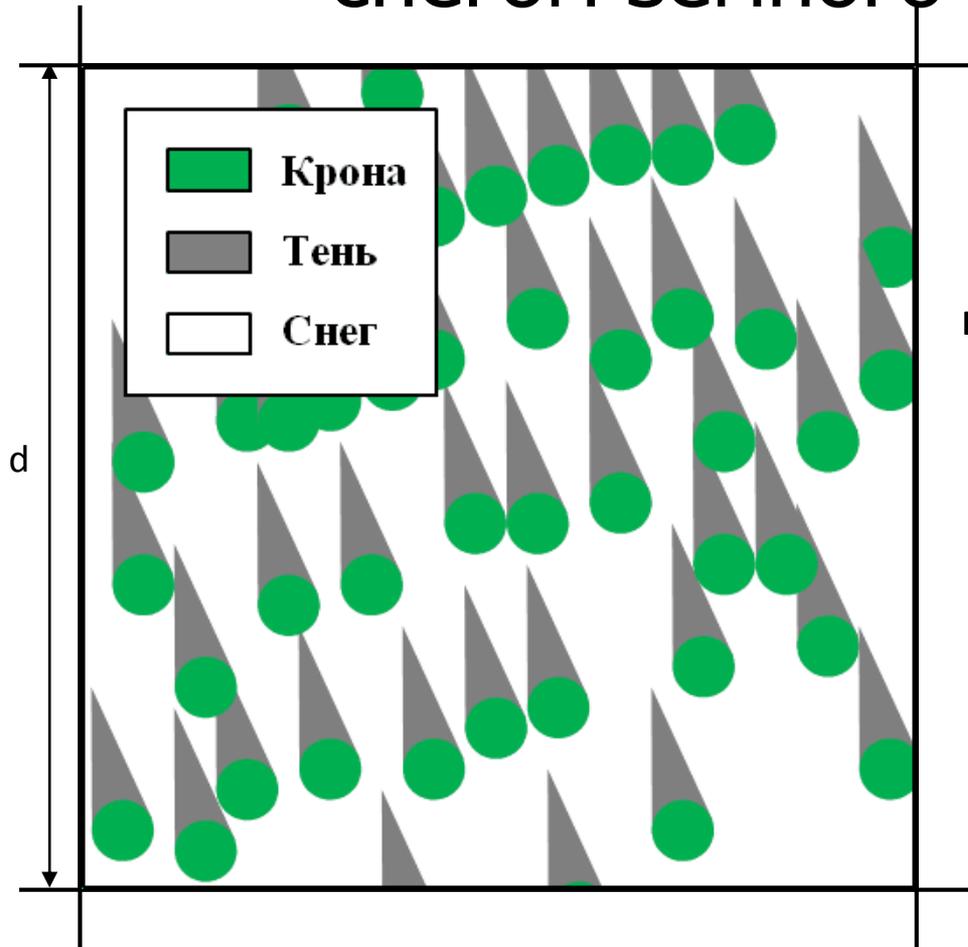


Распознавание древесных пород основано на различиях сезонной динамики спектрально-отражательных характеристик лесов. На рисунке представлены примеры фазовых портретов пород в пространстве спектральных яркостей в красном (620-670 нм) и ближнем ИК (841-876 нм) диапазонах длин волн.



Регулярно обновляемые по данным ДЗЗ карты лесов России несут информацию о пространственном распределении лесов по основным преобладающим древесным породам

Формирование КСЯ пикселя для покрытого снегом земного покрова в лесу



S_c – площадь
снега в
пикселе

S_k – площадь
крон в
пикселе

S_t – площадь
теней в
пикселе

h – высота деревьев; n – число деревьев

Объем стволовой
древесины

$$GSV [m^3 / ha] = f_4(n, h)$$

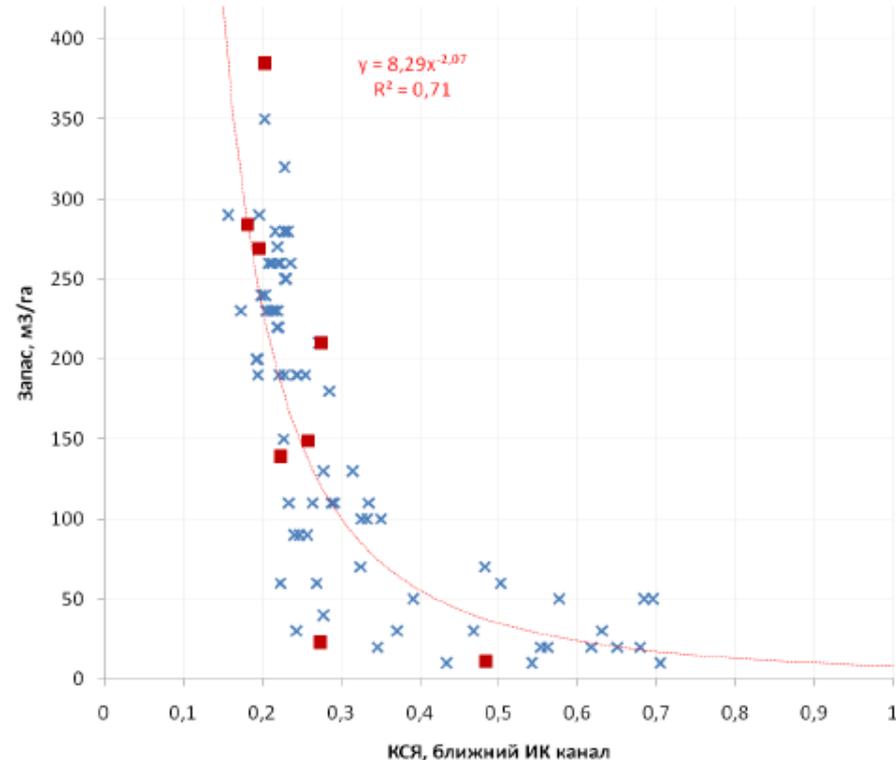
$$R^{0,65} = f(S_c, S_k, S_t);$$

$$S_c = d^2 - S_k - S_t,$$

$$S_k = f_1(n), S_t = f_2(n, h),$$

$$R^{0,65} = f_3(n, h);$$

КСЯ пикселя в канале
0,62-0,67 мкм



Карта запасов стволной древесины лесов

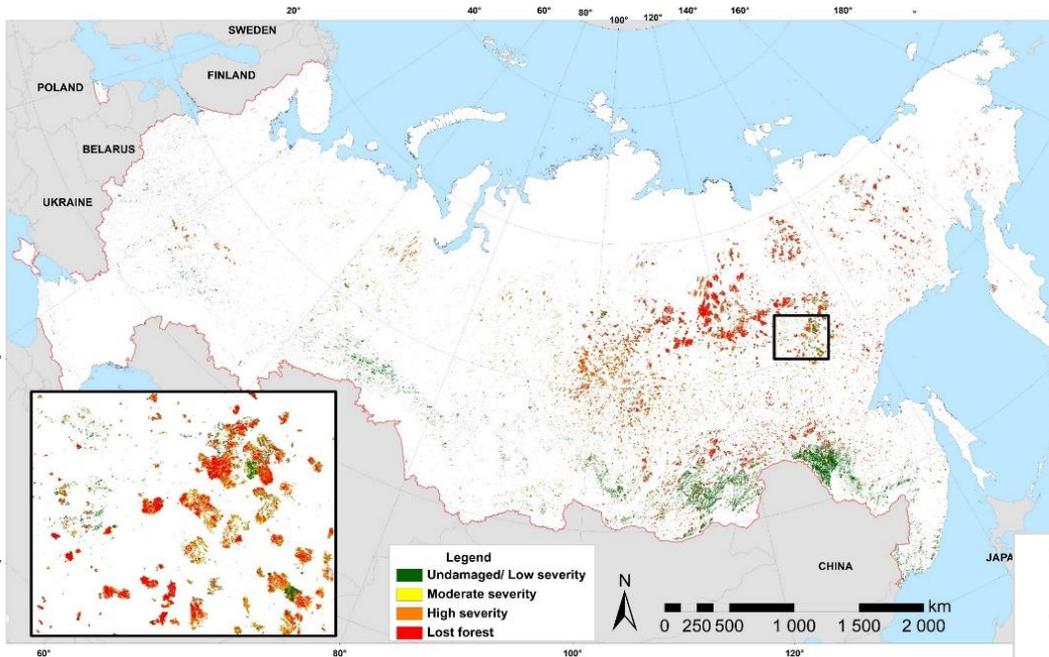




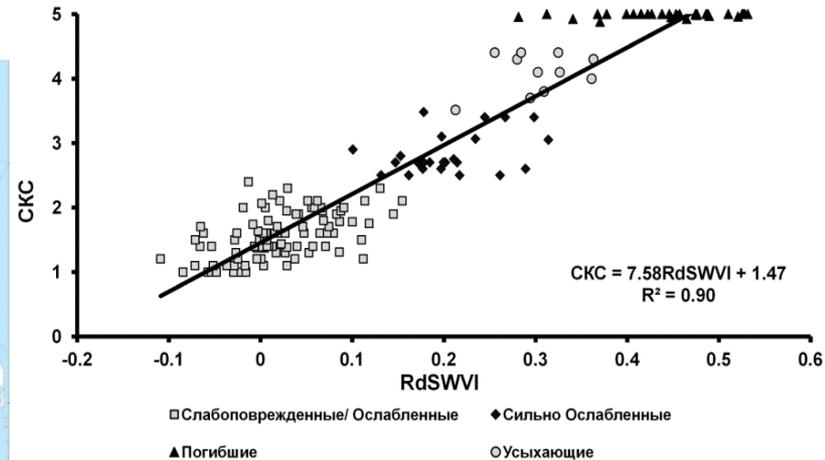
Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России // М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.

При поддержке Российского научного фонда (грант № 14-17-00389).

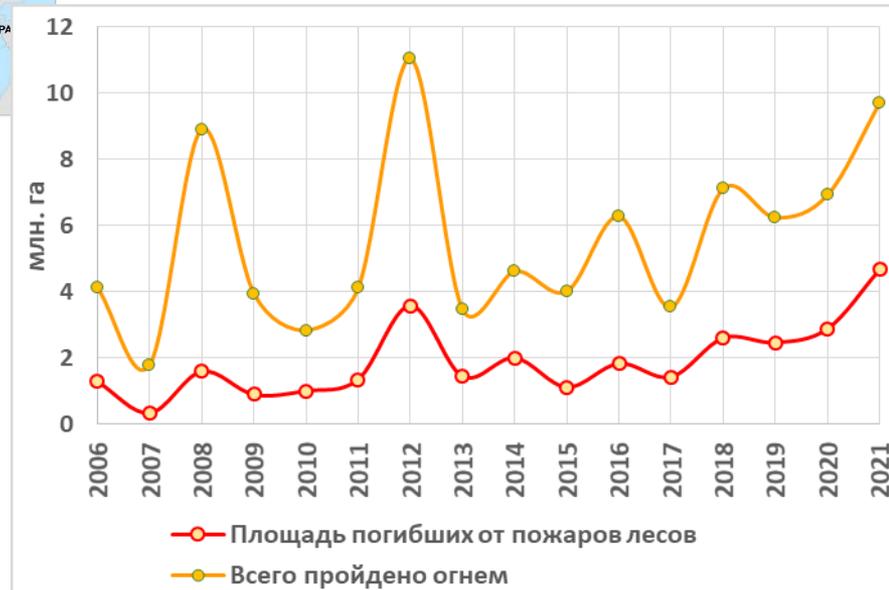
Картографирование состояния поврежденных пожарами лесов на основе данных ДЗЗ



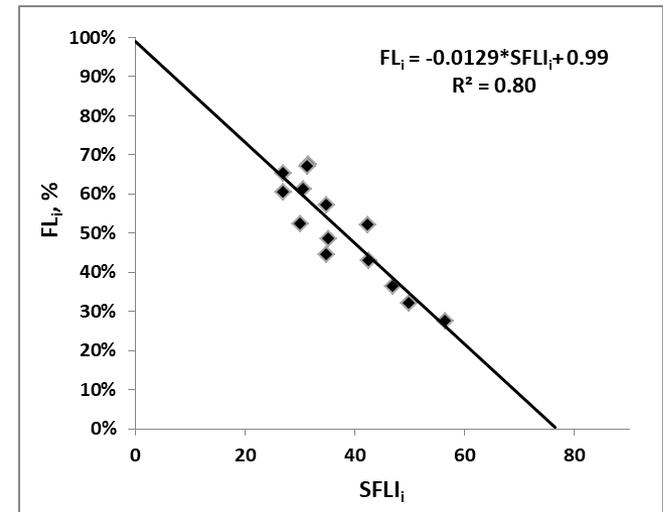
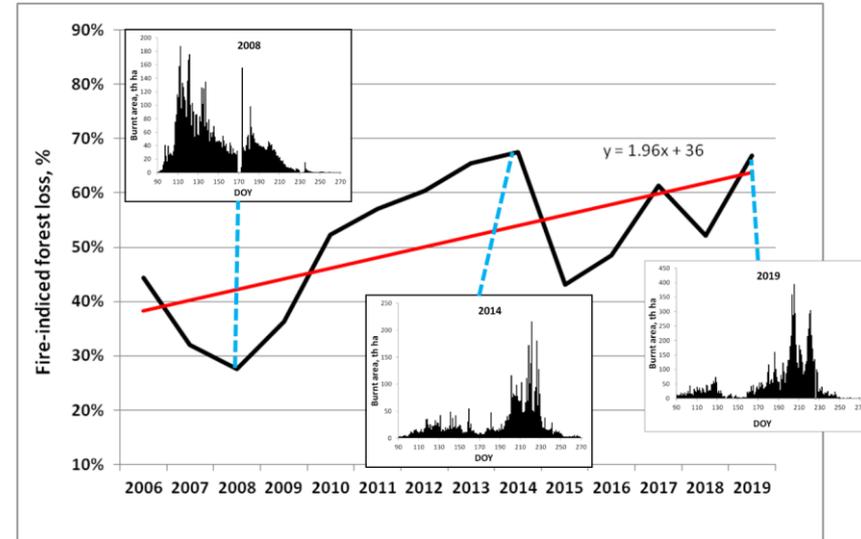
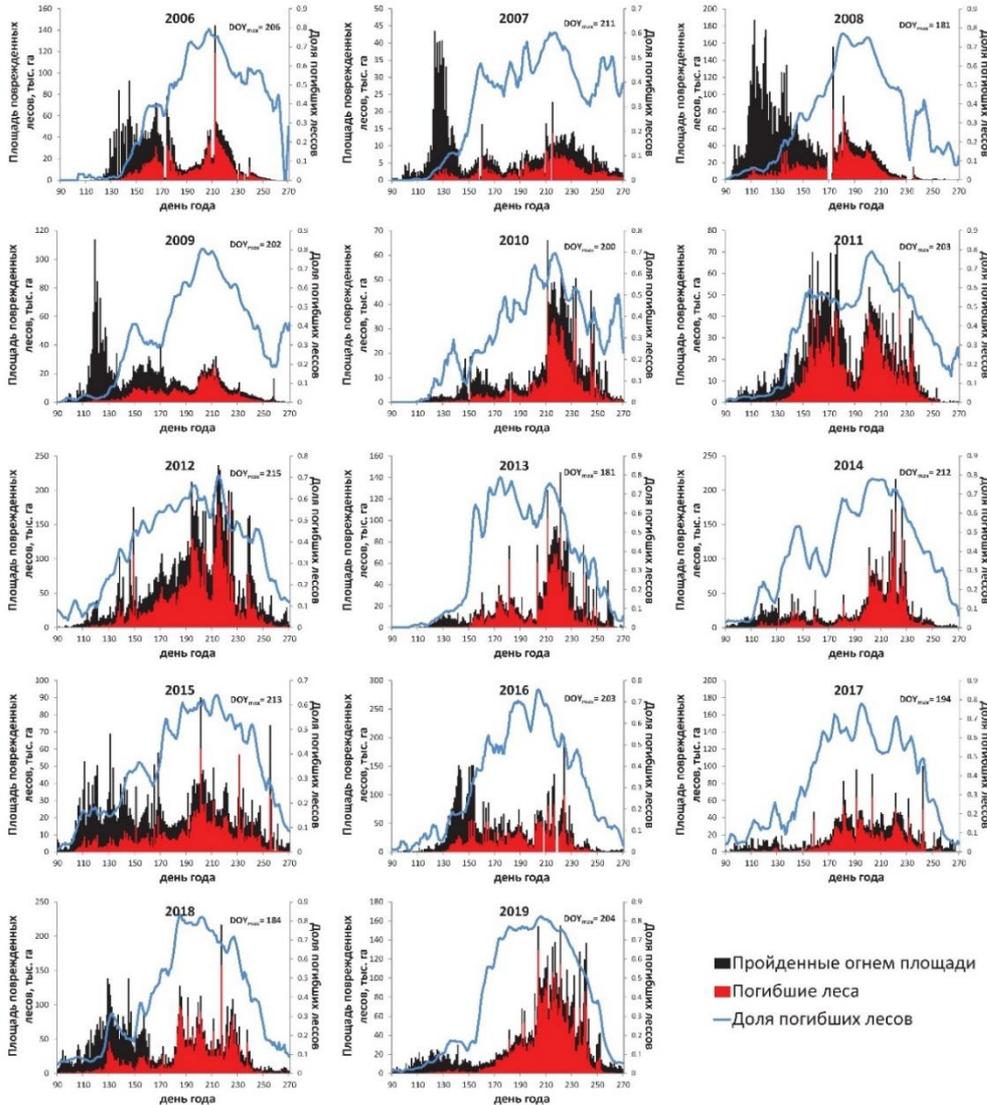
Карта повреждений лесов пожарами 2006-2021 гг, полученная по данным ДЗЗ



Динамика площади повреждений и гибели лесов России от пожаров по данным ДЗЗ



Изменения сезонного распределения и летальности лесных пожаров



Проведение исследований на базе
Лабораторий мирового уровня при поддержке
Российского Научного Фонда



КОСМИЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСОВ РОССИИ

Проект: «Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата» (2019–2022 годы)

Руководитель : Барталев С.А. (ИКИ РАН)

Система спутникового мониторинга углерода лесов

Данные ДЗЗ

Лесистость
Полнота

Объем
стволовой
биомассы

Породный
состав

Степень
повреждения
лесов

Сравнение наблю-
даемой и модельной
динамики лесов

Возраст

Бонитет

Оценка объема и углерода
фракций фитомассы и
древесной мортмассы

Гари и погибшие леса

Оценка
лесовозоб-
новления

Оценка
динамики
сухостоя и
валежа

Учет динамики углерода

Модели

Модели роста
лесов

Модель конверсии
объема стволовой
фитомассы в углерод

Модели объема
древесной
мортмассы

Модель живого
напочвенного
покрова и подроста

Пулы
углерода
в лесах

Углерод
фитомассы

Листья
Стволы
Ветви
Кора
Корни
Подрост
Напочв.
покров

Углерод
древесной
мортмассы

Сухостой
Валож
Пни
Ветви

Концепция дистанционного мониторинга бюджета углерода лесов

Ежегодные карты:

- Категории земель
- Породы
- Запас
- Сомкнутость

- Полнота

- Средняя высота

- Бонитет

- Возраст

- Повреждения лесов



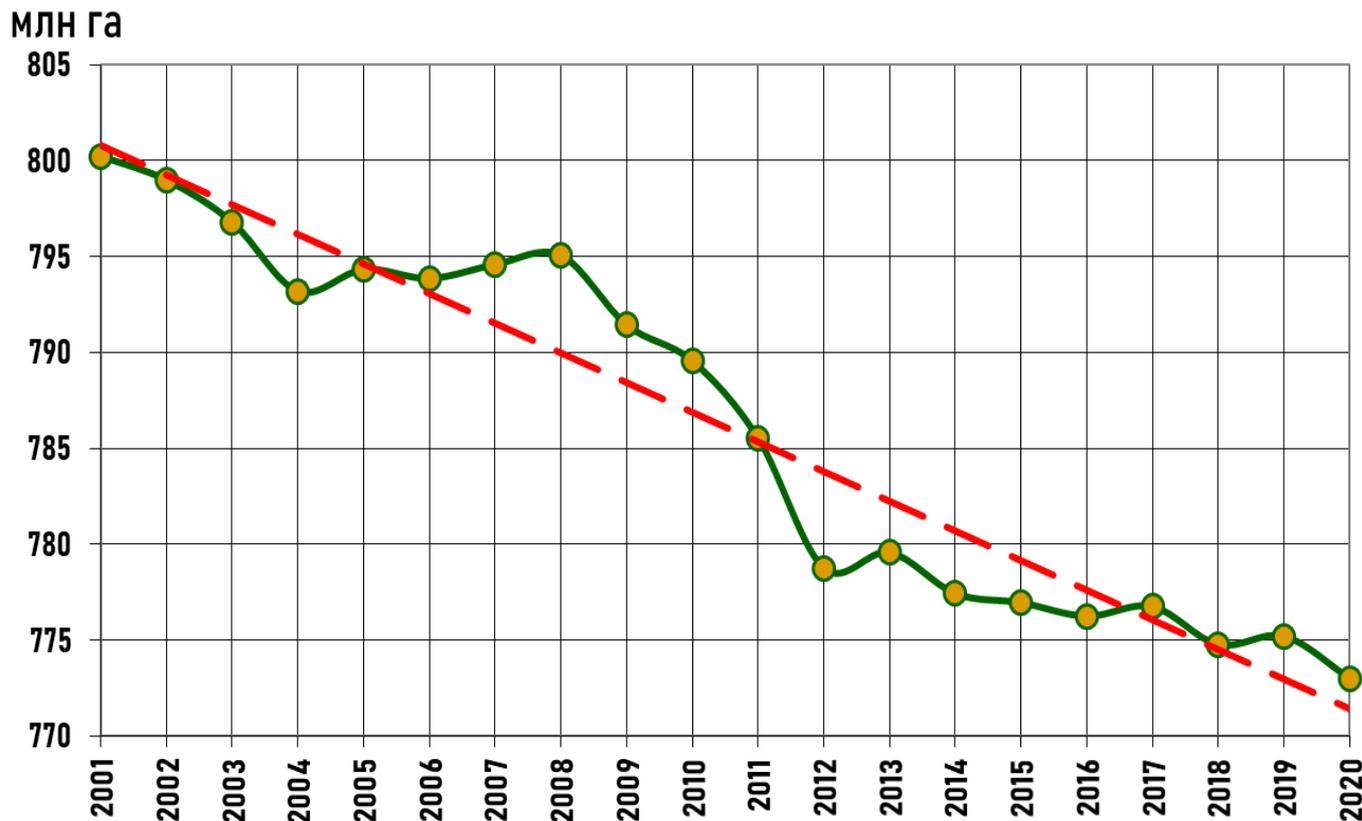
- Таксация лесов на ПП
- Лесопатологические ПП
- Научные сети ПП

- Динамика роста
- Аллометрия

ЕЖЕГОДНО ОБНОВЛЯЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЛЕСОВ



Динамика площади лесов России в XXI веке



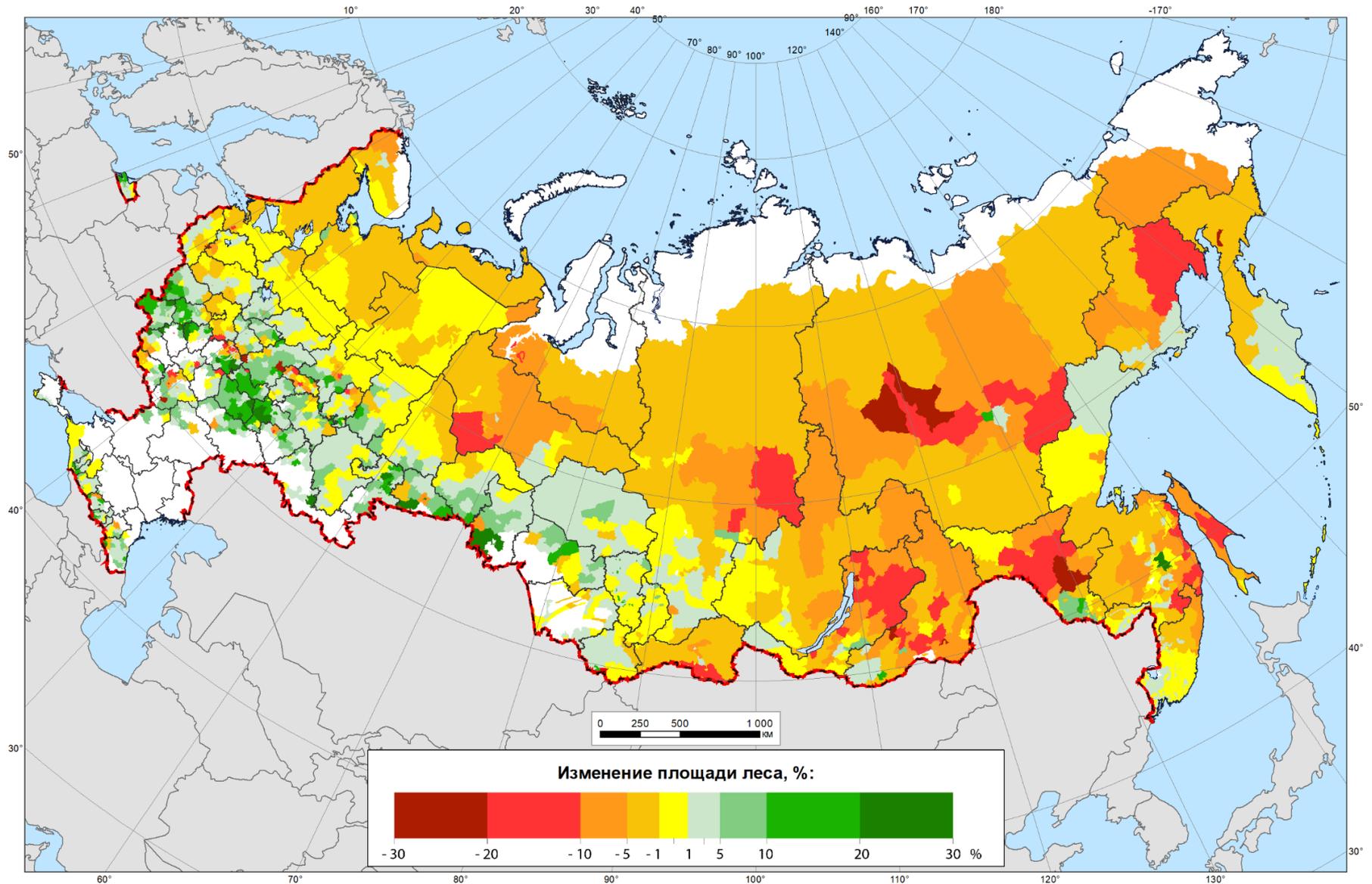
Среднемноголетние темпы сокращения площади лесов РФ:

2001-2020: $\sim 1,4$ млн. га \times год $^{-1}$

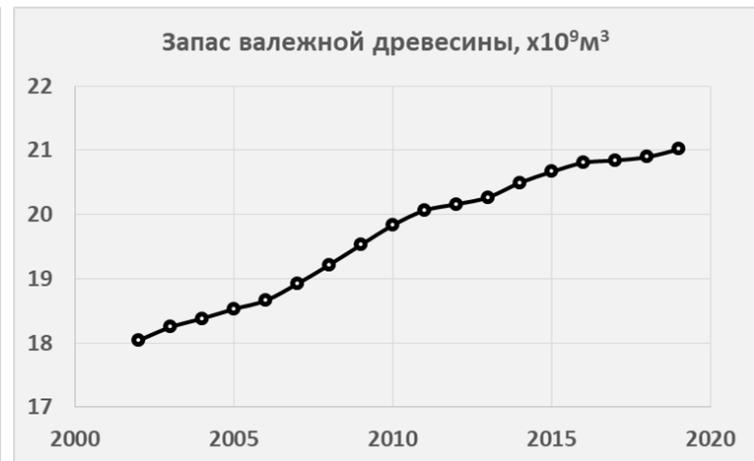
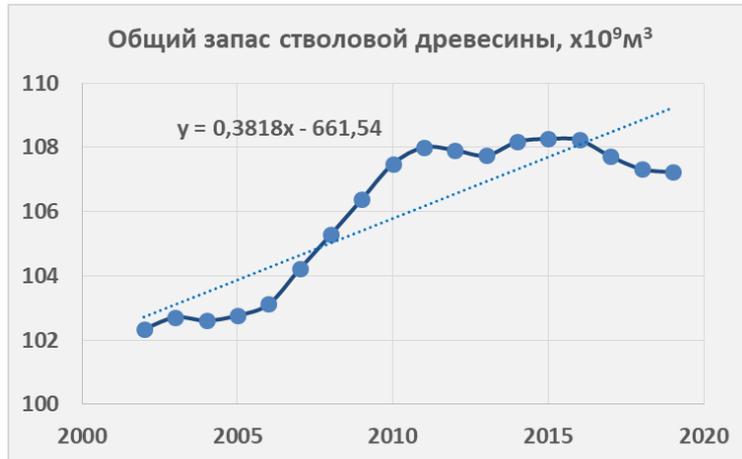
2007-2012: $\sim 4,1$ млн. га \times год $^{-1}$

2013-2020: $\sim 0,9$ млн. га \times год $^{-1}$

Изменение площади лесов в 2001-2020, %

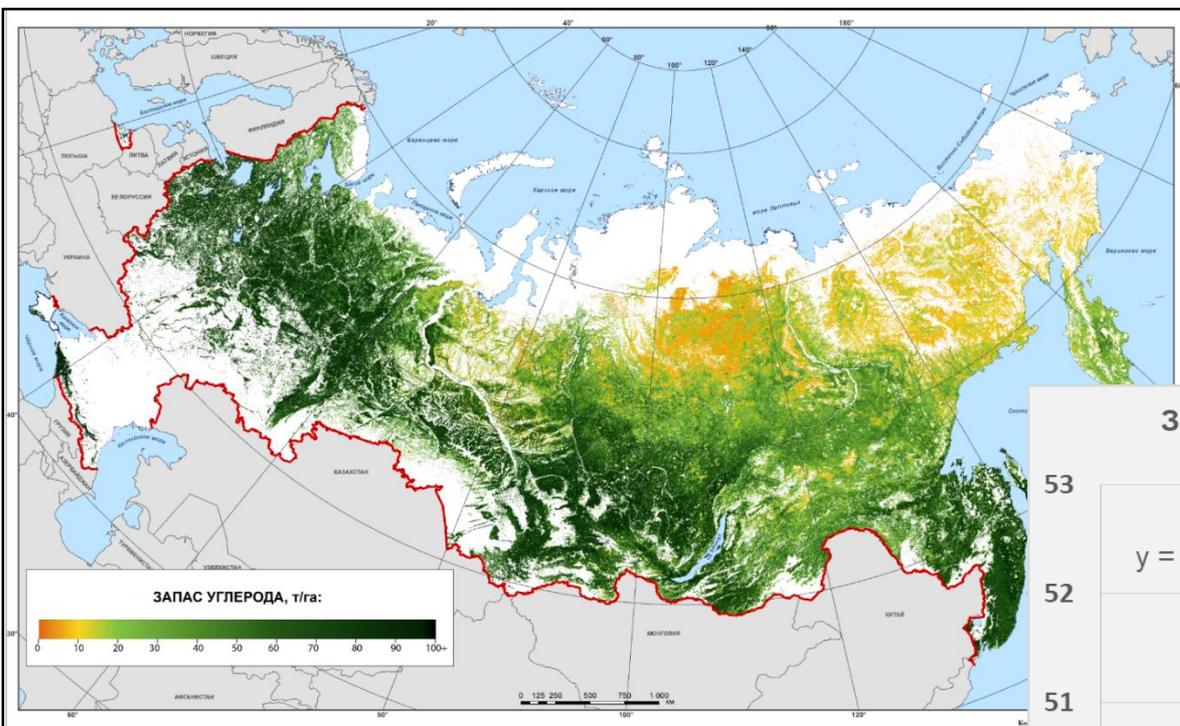


Динамика запасов стволовой древесины в лесах России в XXI веке

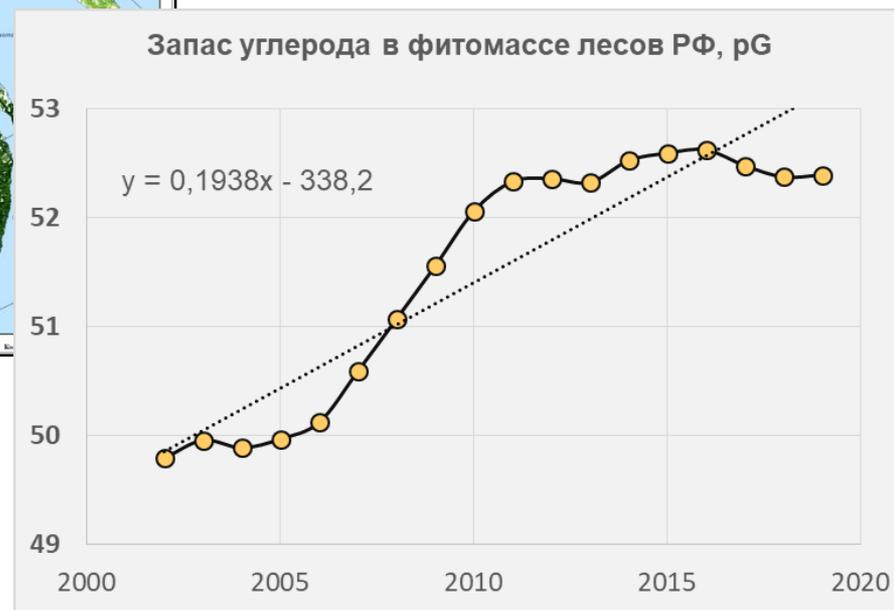


По официальным данным запасы сырораствующей стволовой древесины в лесах РФ составляют $\sim 82 \text{ м}^3$

Запасы углерода в фитомассе лесов России

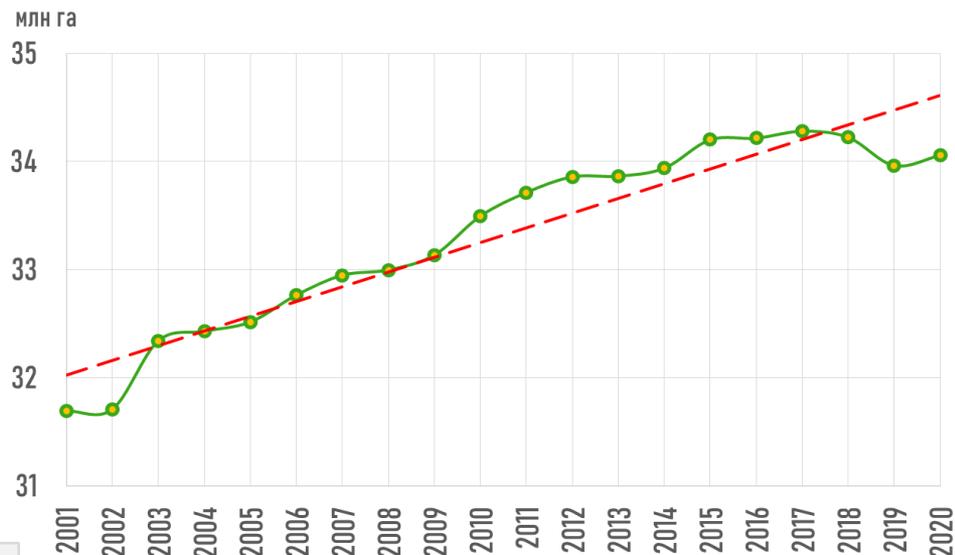
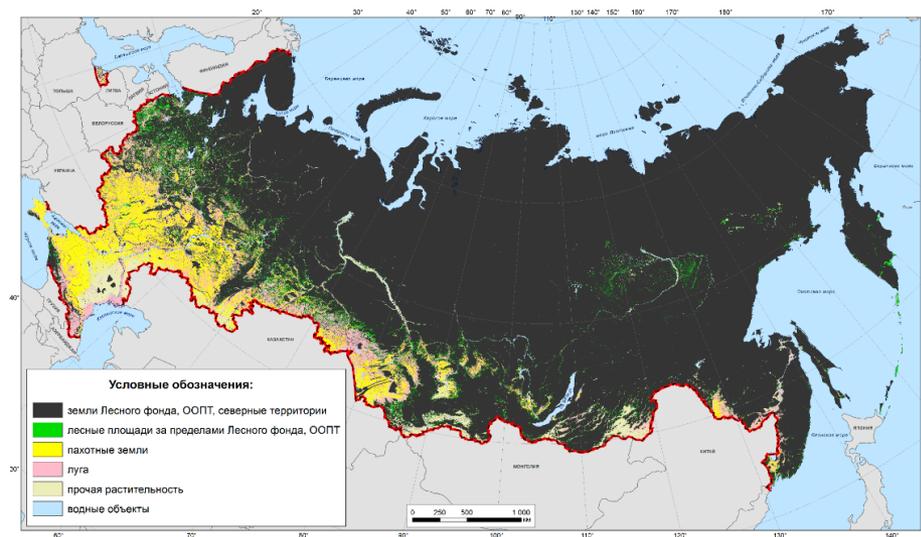


Запасы углерода в лесах России составили $52,6 \times 10^9$ тС в 2019 году

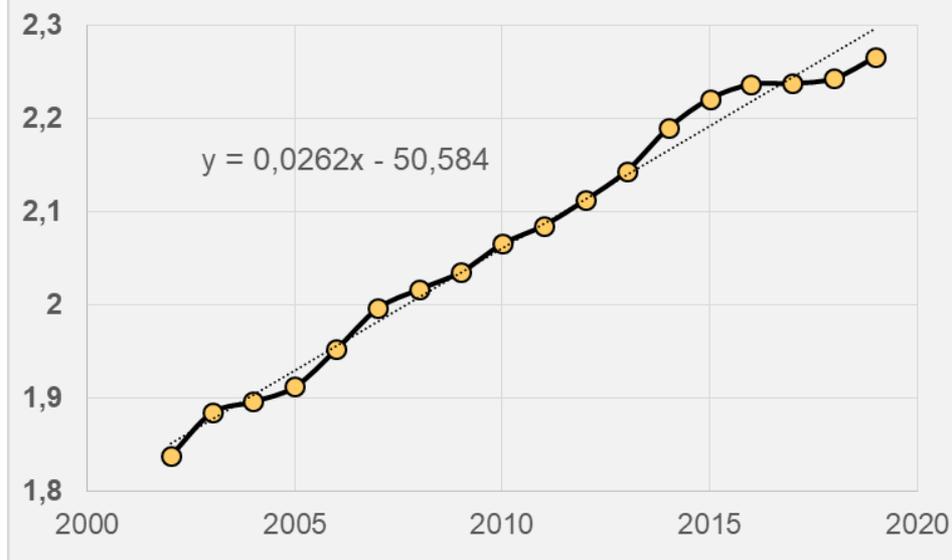


Динамика запасов углерода в фитомассе лесов в 2002-2019 гг показывает среднюю скорость накопления 194×10^6 тС/год. Максимальное поглощение углерода в 2007 году составило 419×10^6 тС/год, что характеризует климаторегулирующий потенциал лесов страны.

Леса на заброшенных с/х землях

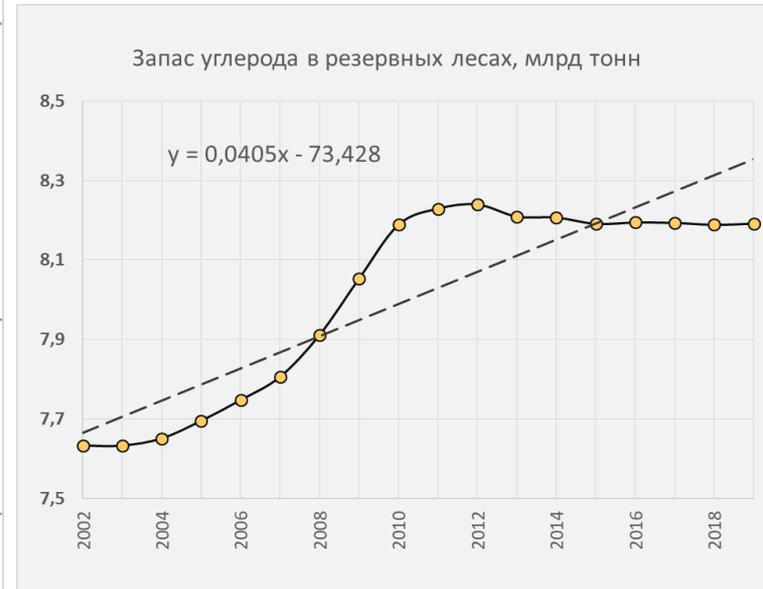
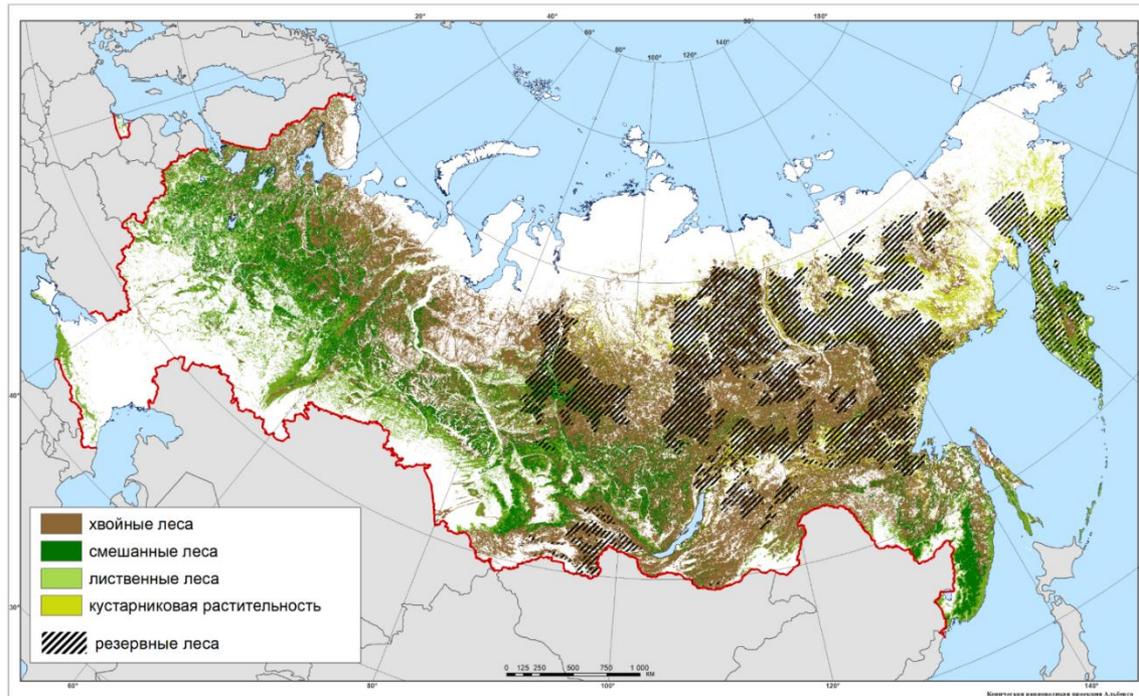


Запас углерода в фитомассе лесов на с/х землях, рГ



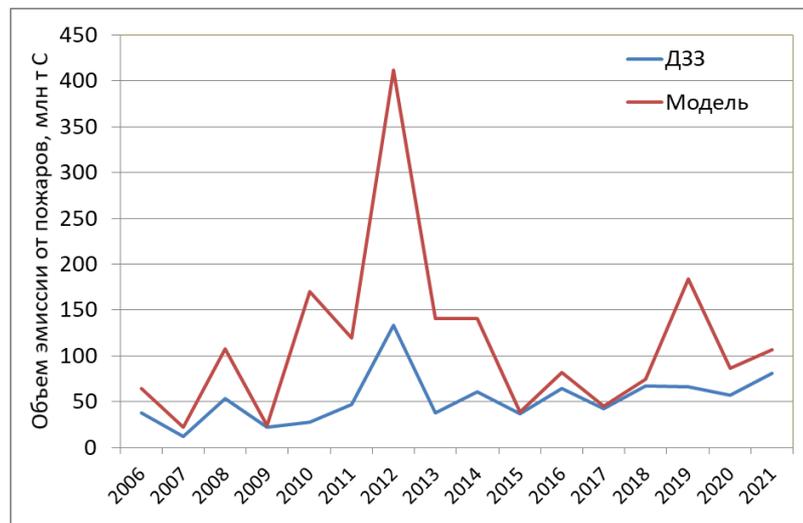
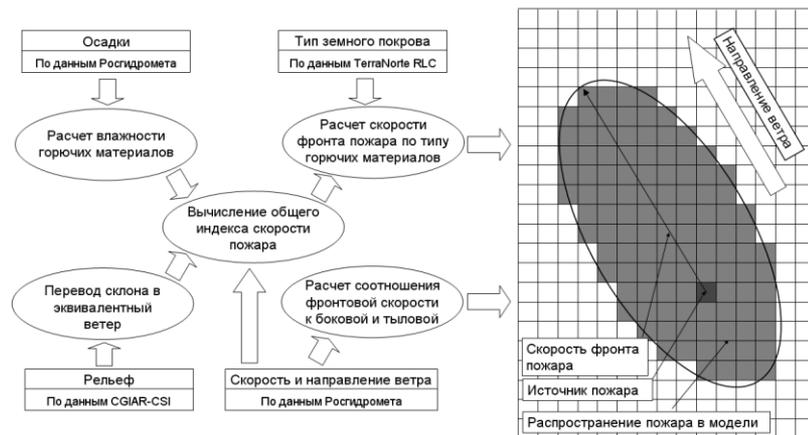
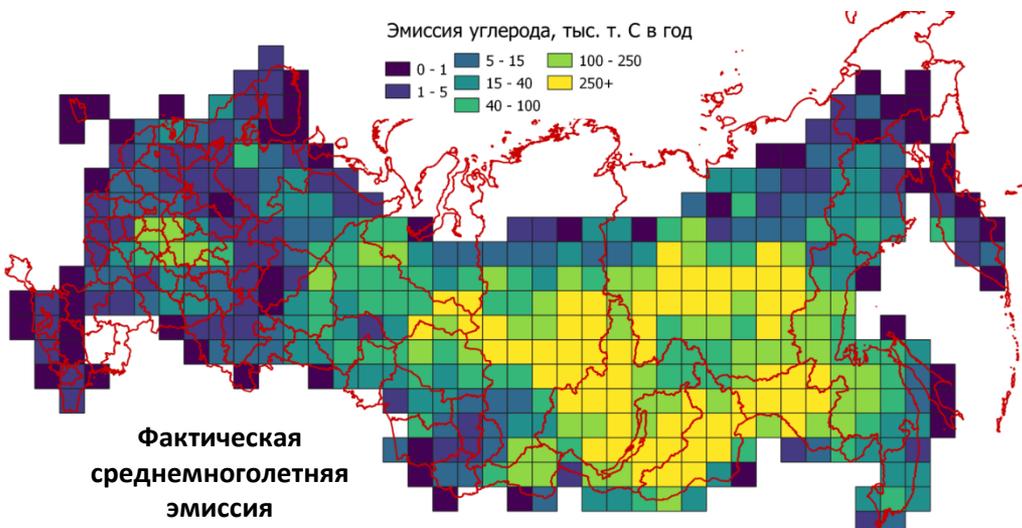
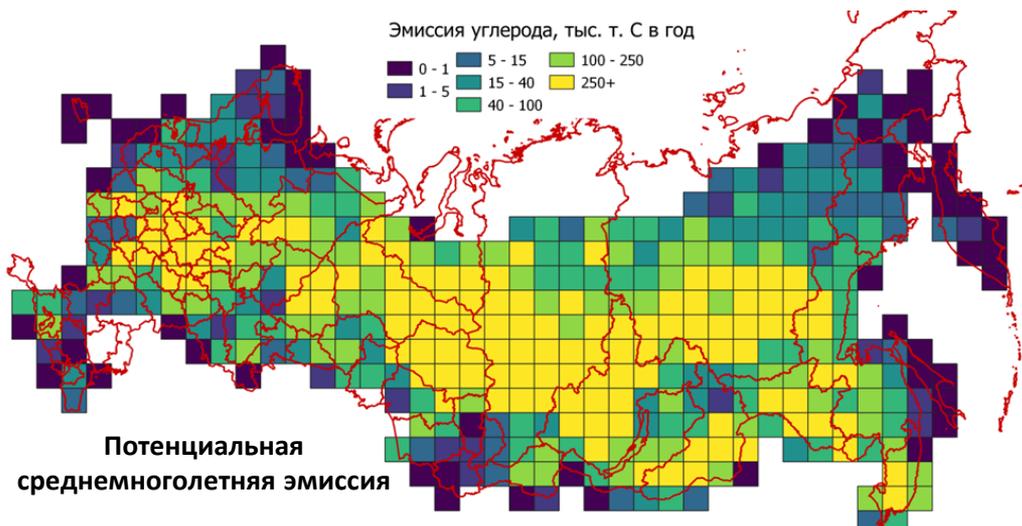
Средние темпы увеличения площади лесов на заброшенных с/х землях в 2001-2020 годах составляют около 125×10^3 га/год, а средний прирост запасов углерода в фитомассе лесов 26×10^6 тС/год.

Динамика запасов углерода в резервных лесах



Запасы углерода в фитомассе резервных лесов России в 2002-2019 гг в среднем показывают положительную динамику его накопления со скоростью около 40×10^6 тС/год, однако с 2012 года наблюдается близкий к нулевому баланс. Максимальное поглощение углерода резервными лесами наблюдалось в 2007 году в объеме около 140×10^6 тС/год, что характеризует их высокий климаторегулирующий потенциал при обеспечении эффективной охраны и защиты.

Оценка влияния охраны лесов от пожаров на объемы эмиссий углерода в 2006-2021 гг



Потенциальная и фактическая эмиссия углерода от пожаров в лесах

OLI-TIRS (Landsat 8)
2017-06-17 02:40:17 GMT

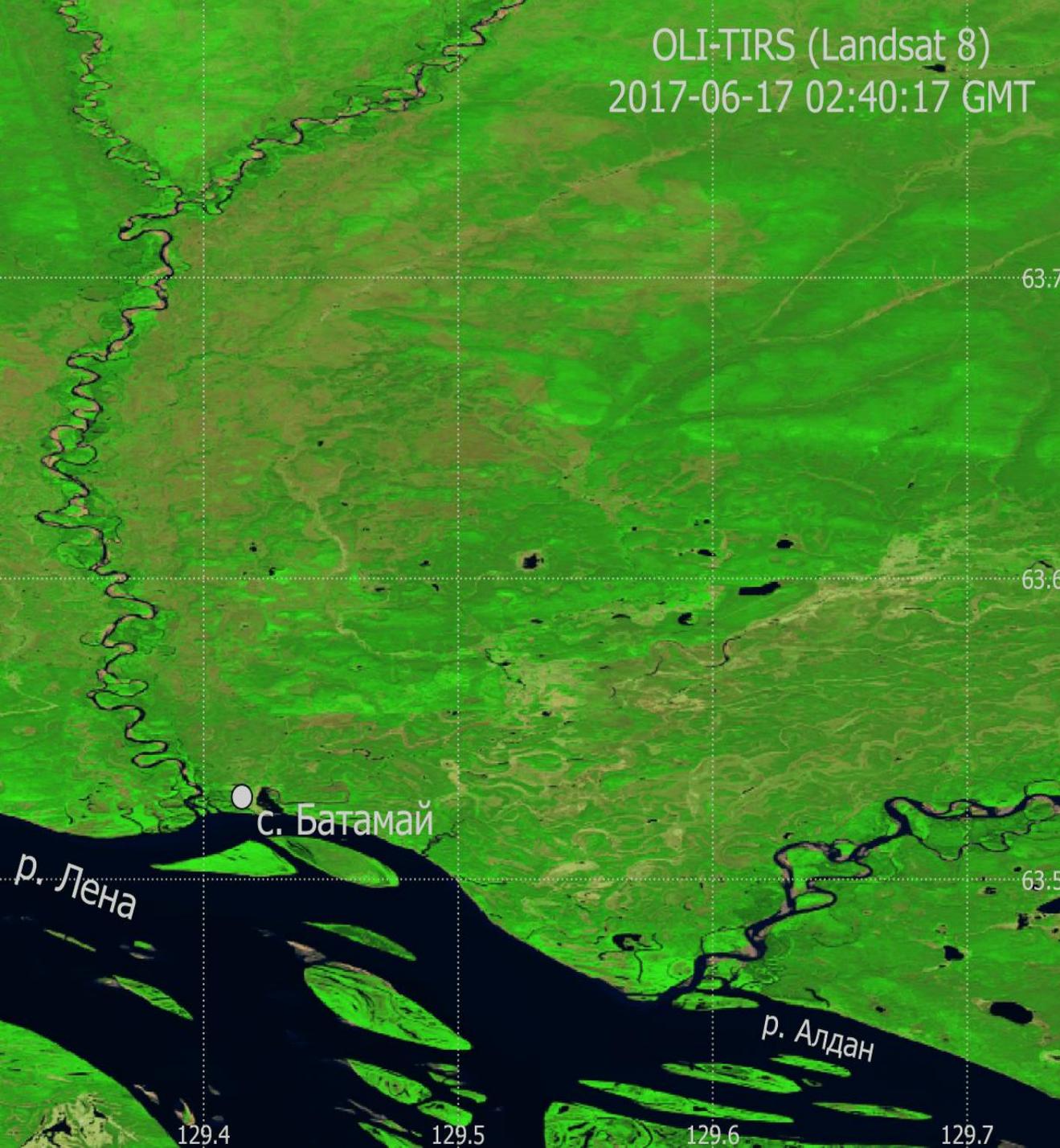
Модель развития пожара:
 Прогноз фронта пожара

Данные ДЗЗ

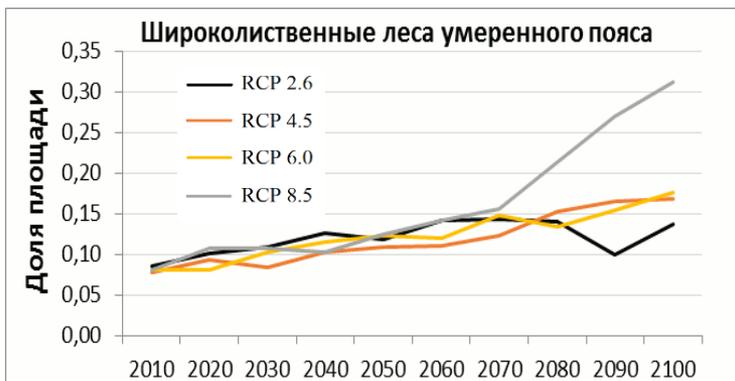
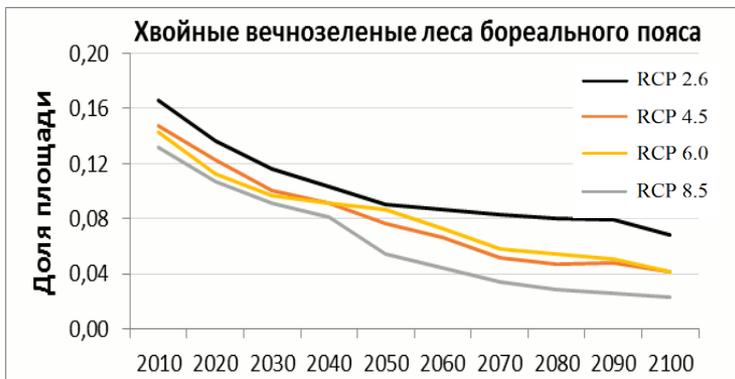
 Пройденная огнем
 часть
Зоны активного горения

Пожар: к-272
Дальневосточный ФО
Республика Саха
Кобяйский район

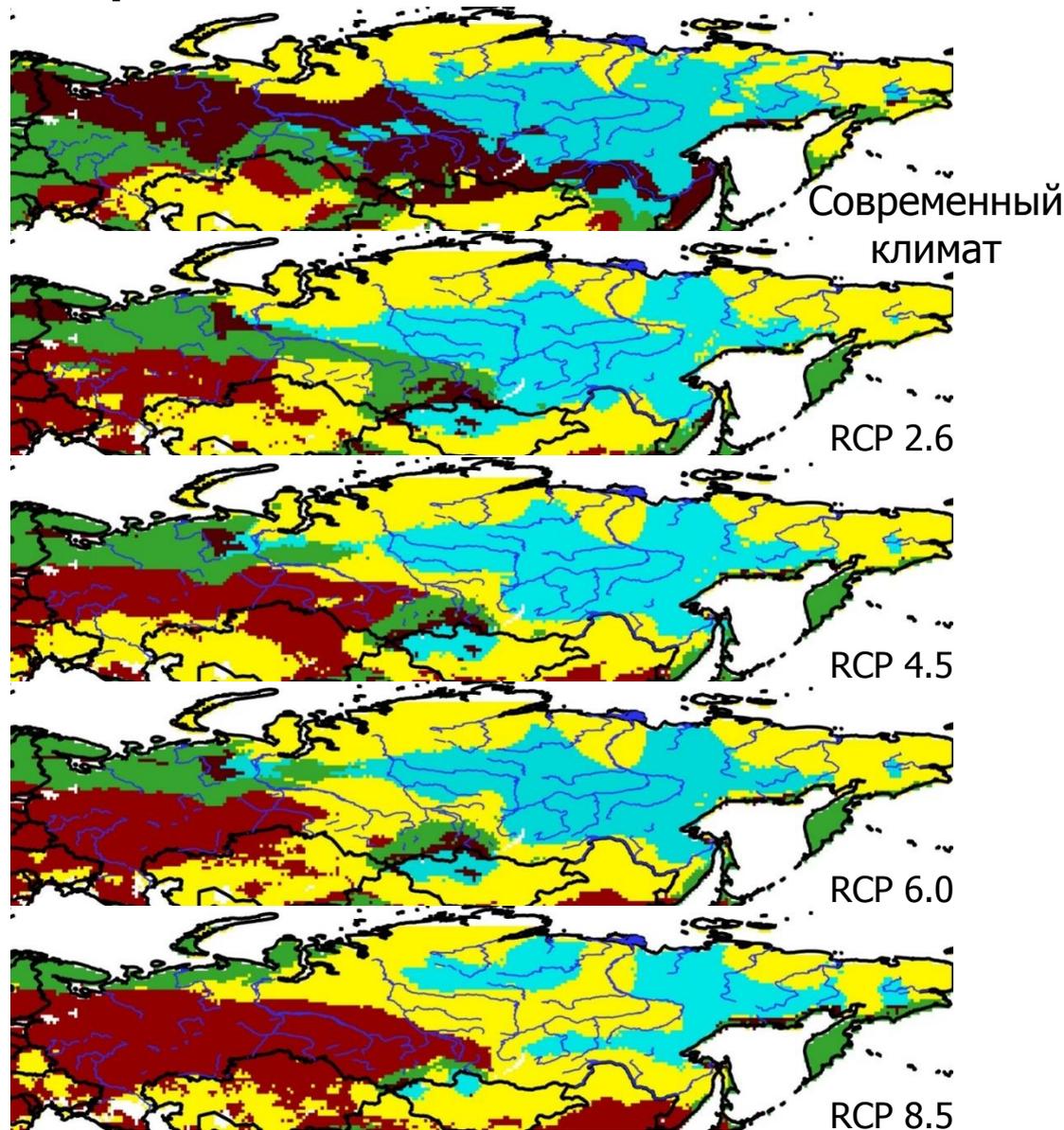
Обнаружен:
25.06.2017 02:55 GMT
Наблюдался до:
15.08.2017 19:03 GMT
Пройдено огнем: 230776 га



Прогноз растительного покрова на 2100 год при различных сценариях изменений климата



- бореальные мелколиственные листопадные леса
- бореальные хвойные листопадные леса
- бореальные хвойные вечнозеленые леса
- широколиственные леса умеренного пояса
- травянистая растительность и тундра



A misty forest landscape with tall evergreen trees and a dense canopy of green and yellow foliage. The scene is hazy, with the background trees fading into a soft, greyish-white mist. The foreground and middle ground are filled with vibrant green and yellow trees, suggesting a mix of evergreens and deciduous trees in autumn. The overall atmosphere is serene and quiet.

Спасибо за внимание !