

# **Как развивалась с начала века методология спутникового картографирования растительного покрова России**

**Барталев Сергей Александрович**  
Институт космических исследований РАН

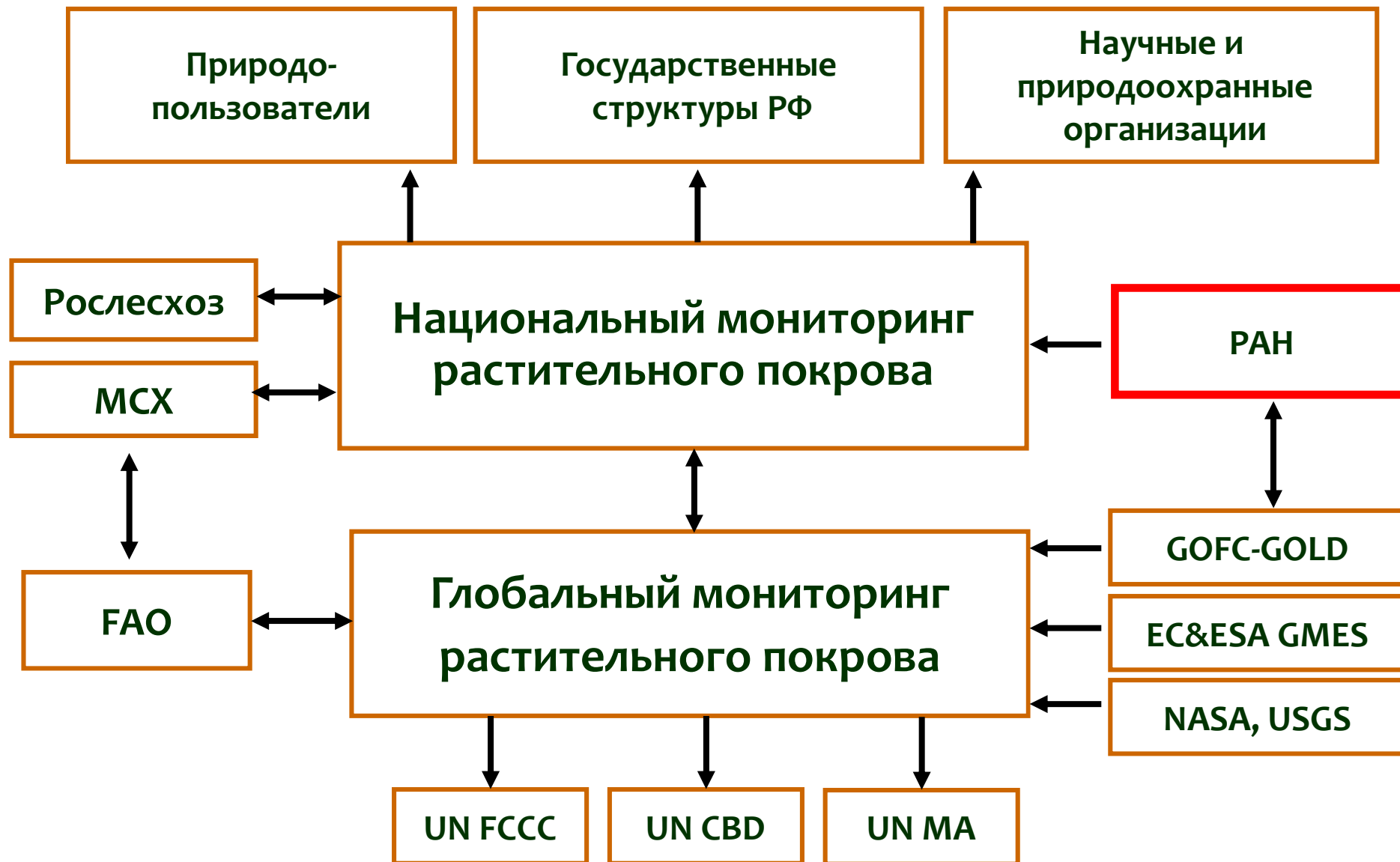


Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса», 14 - 18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва

# Основные тенденции развития методов дистанционного мониторинга растительности



# Мониторинг растительности в контексте национальных и международных программ



# Глобальное картографирование земного покрова по спутниковым данным

AVHRR, 1°, 1994



AVHRR, 8 km, 1998



IGBP-DIS, AVHRR, 1 km, 1998



GLC-2000, VEGETATION, 1 km, 2002



MODIS, 1 km, 2002

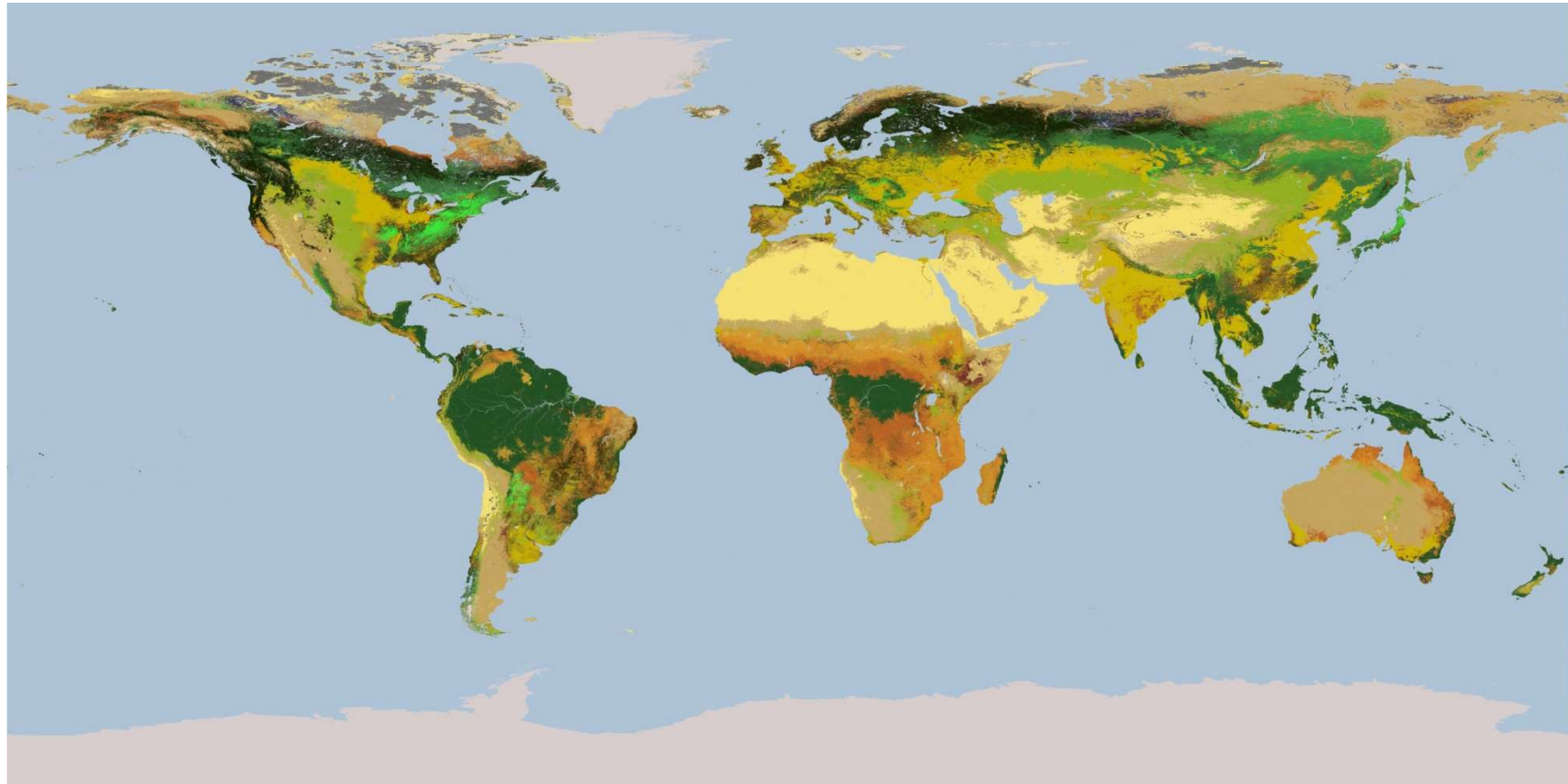
VCF, MODIS, 500 m, 2003

Globcover: MERIS, 300 m, 2007

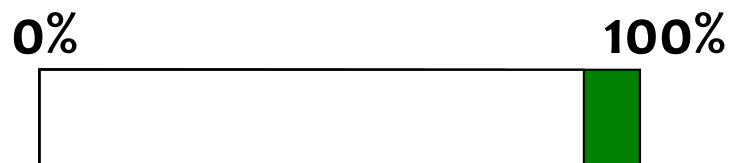
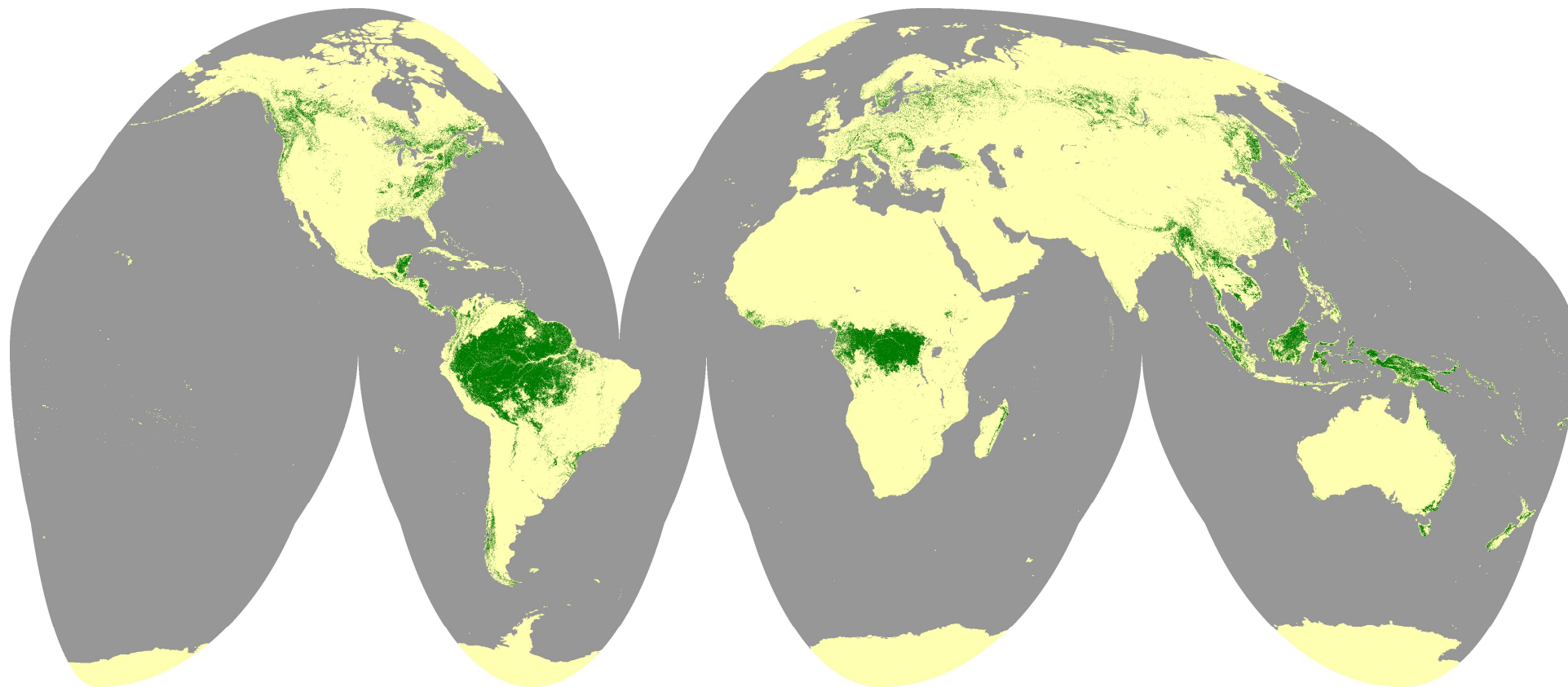




# NASA MODIS Global Land Cover 500 m



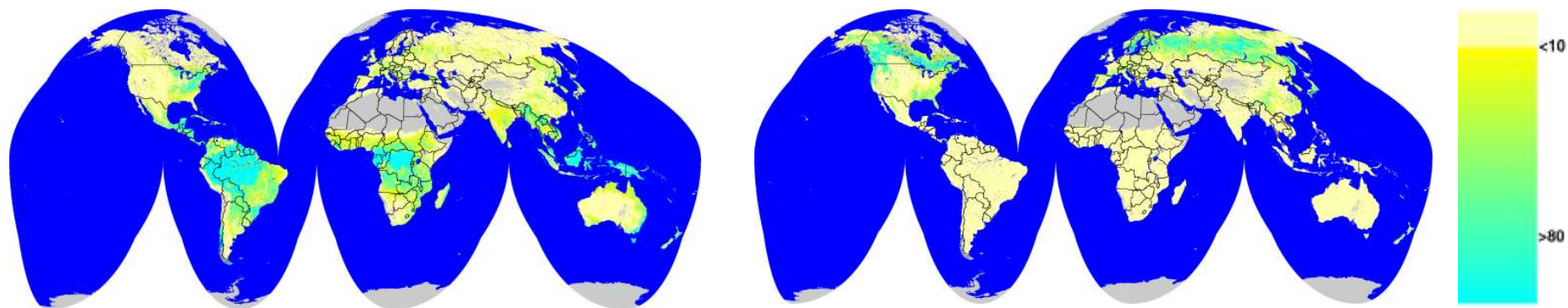
# Оценка проективного покрытия лесов по данным MODIS





# Оценка соотношения различных типов деревьев по данным MODIS

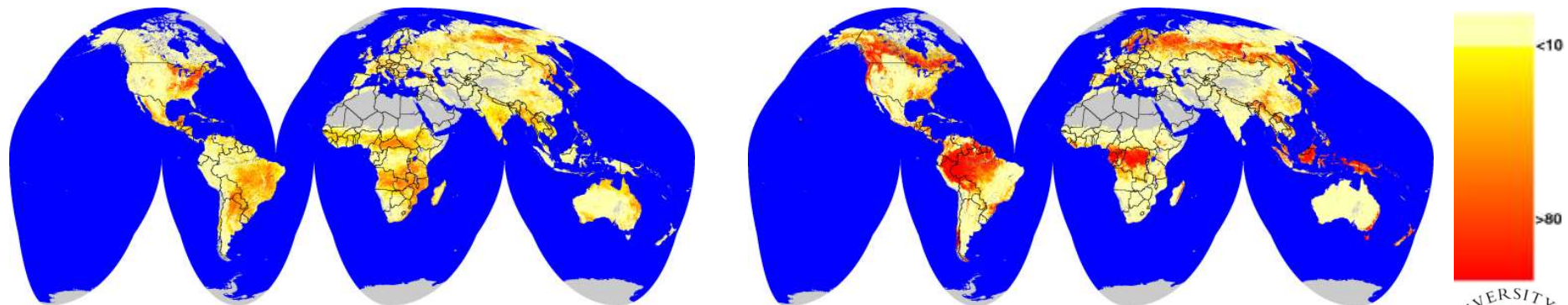
## По типу вегетативных органов деревьев



% Лиственных деревьев

% Хвойных деревьев

## По типу фенологии деревьев



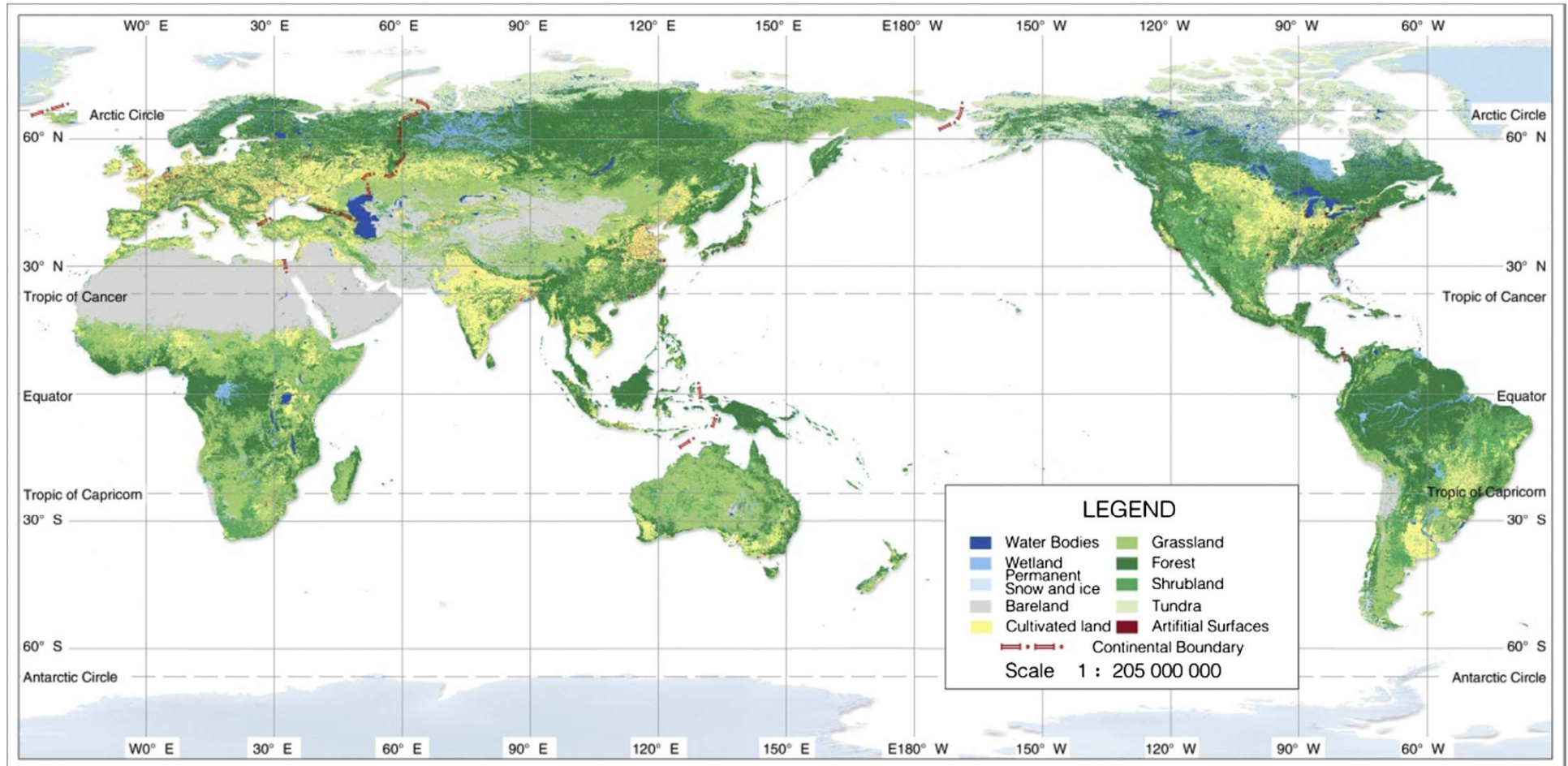
% Листопадных деревьев

% Вечнозеленых деревьев

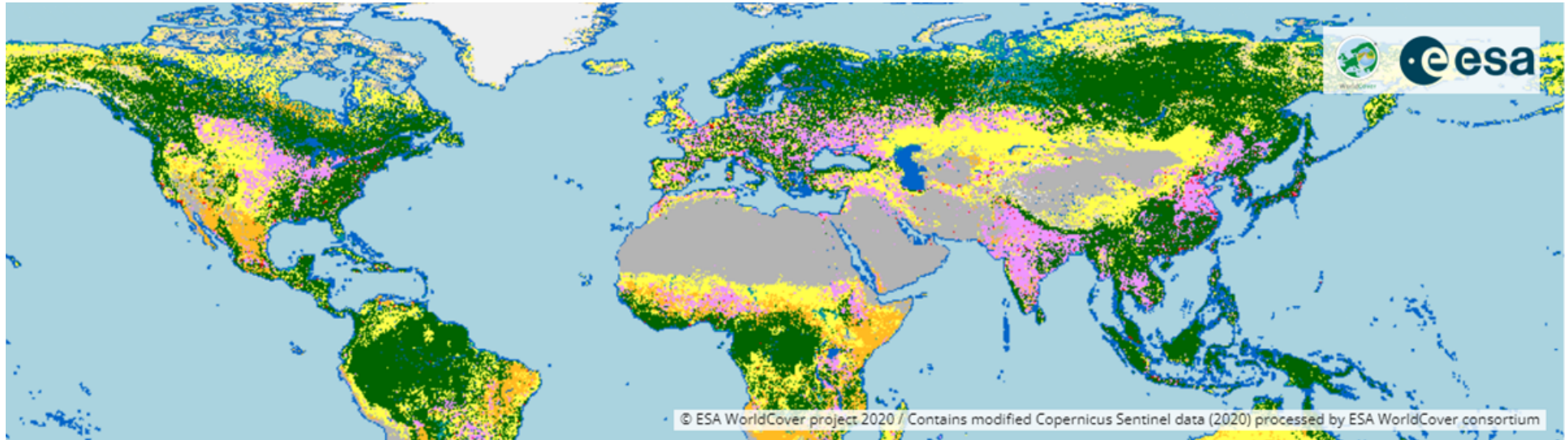




# Global land cover map 30 m

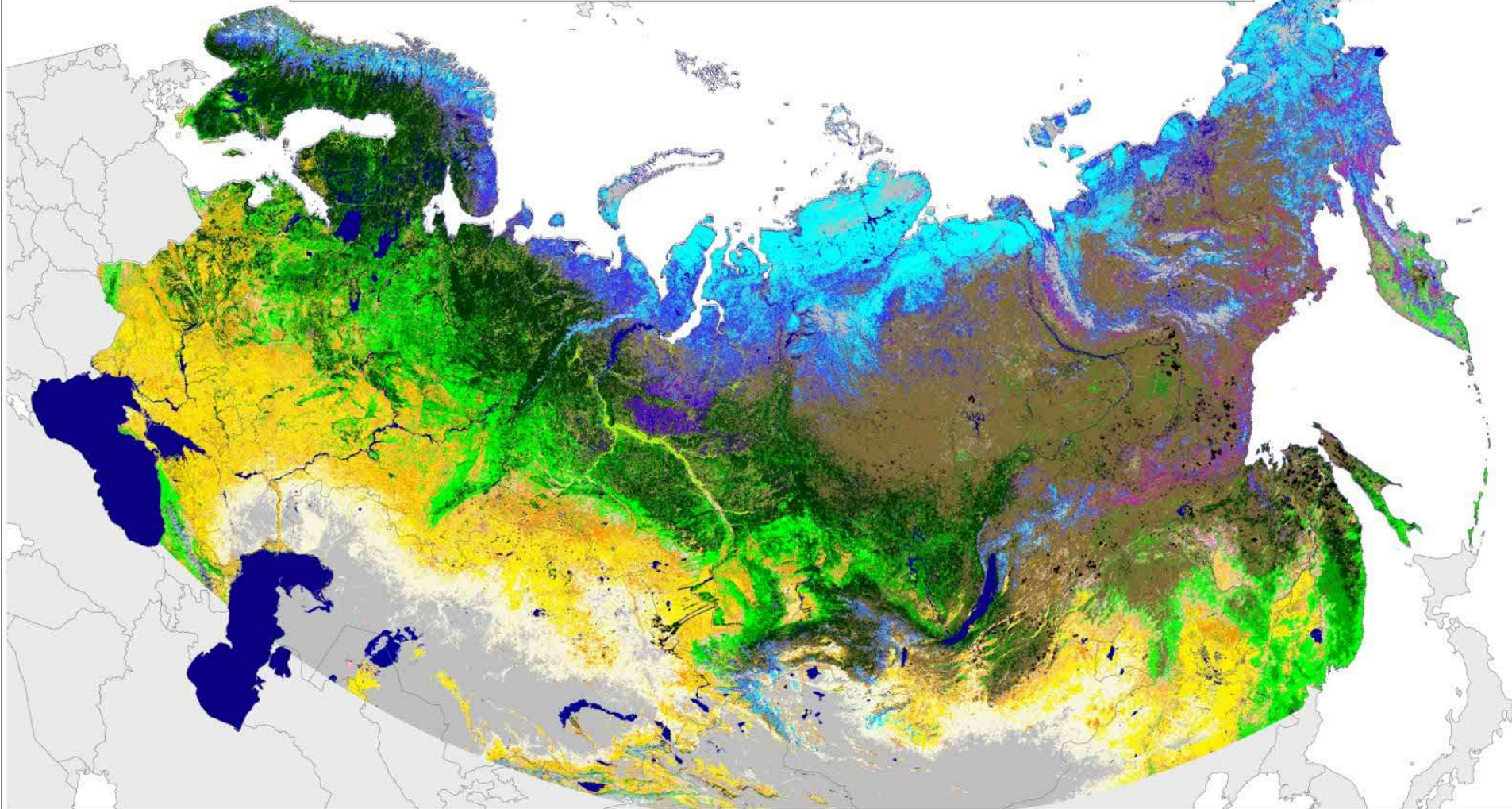


# ESA WorldCover 2020, 10 m





# THE LAND COVER OF NORTHERN EURASIA FOR THE YEAR 2000



FORESTS / ЛЕСА	SHRUBLANDS / КУСТАРНИКИ	GRASSLANDS / ТРАВЯНИСТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	OTHER VEGETATION TYPES AND COMPLEXES / ДРУГАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И РАСТИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ	NON-VEGETATED LAND COVER TYPES / НЕРАСТИТЕЛЬНЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗЕМЛИ
<ul style="list-style-type: none"> <li>European Mixedleaf Forest / Европейский смешанный лес</li> <li>Deciduous Broadleaf Forest / Лиственный</li> <li>Mixed Forest / Смешанный с преобладающим лиственным</li> <li>Coniferous / Сосновый</li> <li>Broadleaf / Mixedleaf Forest / Смешанный с преобладающим лиственным</li> <li>Deciduous Mixedleaf Forest / Лиственный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Northern European Shrub / Северный кустарниковый</li> <li>Broadleaf Deciduous Shrub / Лиственный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Humid Grasslands / Травянистые</li> <li>Steppe / Степь</li> <li>Savanna / Саванна</li> <li>Forest - Natural Vegetation Complex / Лес в комплексе с другими естественными растительностями</li> <li>Forest - Coniferous Complex / Сосновый</li> <li>Savanna - Grassland Complex / Саванна</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forest - Natural Vegetation Complex / Лес в комплексе с другими естественными растительностями</li> <li>Forest - Coniferous Complex / Сосновый</li> <li>Savanna - Grassland Complex / Саванна</li> <li>Savanna - Grassland Complex / Саванна</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bare soil and Rock / Пустыня и скалы</li> <li>Perennial snow / Вечная зима / снег</li> <li>Non-vegetated forest / Лес и неустойчивый покров</li> <li>Urban / Урбанизированный покров</li> <li>Water / Вода</li> <li>Snow / Снег</li> <li>Open water / Открытая вода</li> <li>Ice / Лед</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tundra / Тундра</li> <li>Tundra / Тундра</li> <li>Tundra / Тундра</li> <li>Tundra / Тундра</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> <li>Wetlands / Болота</li> </ul>

**MAP INFORMATION**

Scale: 0 200 400 km

Map projection: Albers Equal-Area Conic, Spheroid: WGS-84, Central Meridian: 90° E, Reference Latitude: 0° N, Standard Parallel 1: 50° N, Standard Parallel 2: 70° N

Настоящая карта наземной экосистемы Северной Евразии создана Объединенным Исследовательским Центром Европейской Комиссии и Академии Наук Российской Федерации и Подразделением Леса Российской Академии Наук. Карта получена в рамках проекта Global Land Cover 2000 по данным спутника MODIS. Метод создания карты включает комплексную обработку данных спутника MODIS с использованием набора улучшенных алгоритмов для определения фенологии растительности, содержания влаги в растительности, уровня влажности почвы и антропогенных изменений растительности, а также длительности 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 20 40  
 bartalev@ssrc.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 20 17  
 isaev@ssrc.rssi.ru, emshov@ssrc.rssi.ru

**Dr. Alan S. Belward**  
 The European Commission  
 Joint Research Center  
 Institute for Environment and Sustainability  
 Global Vegetation Monitoring Unit  
 I-20162 Ispra (VA), Italy  
 Fax: +39 0332 789973  
 alan.belward@ec.jrc.it

Digital datasets can be downloaded from: <http://www.dvnrisc.it/GI2000/>  
 Developed as part of the Global Land Cover 2000 project, coordinated by the Global Vegetation Monitoring Unit of the European Commission Joint Research Centre.

Russian Academy of Sciences  
 EUROPEAN COMMISSION



# Опыт разработки GLC2000

## «Плюсы»

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

## «Минусы»

- Необходимость экспертного участия и, как следствие, невозможность полного 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.)

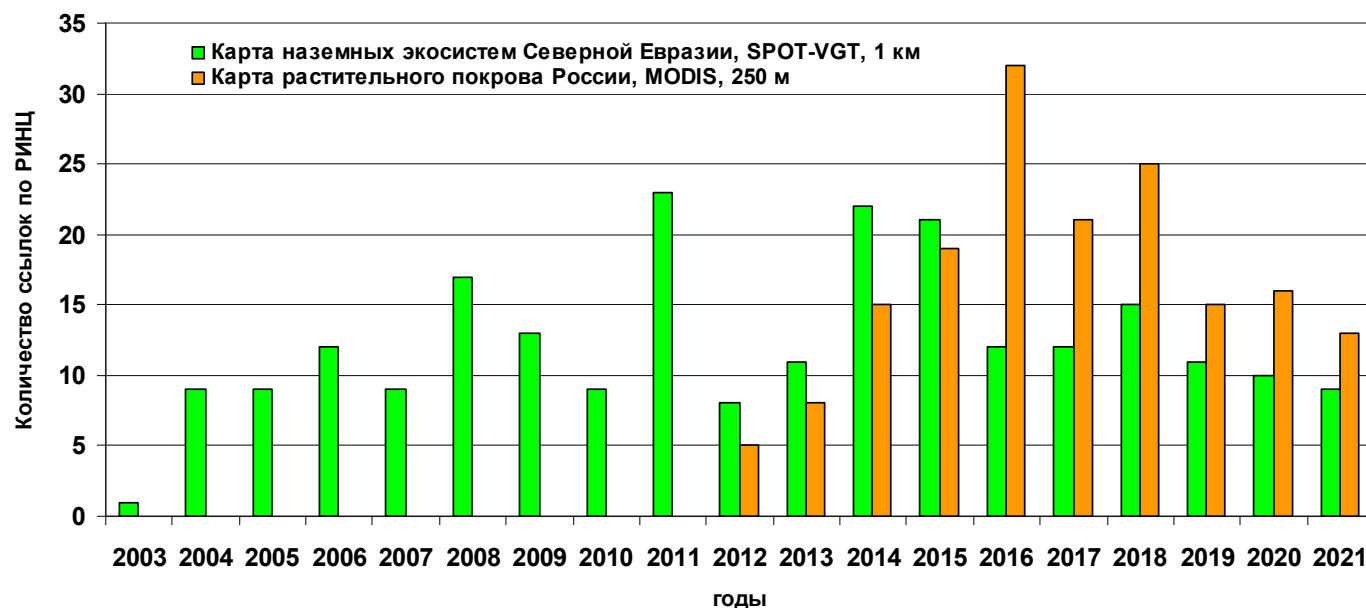
## A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia

S. A. BARTALEV, A. S. BELWARD

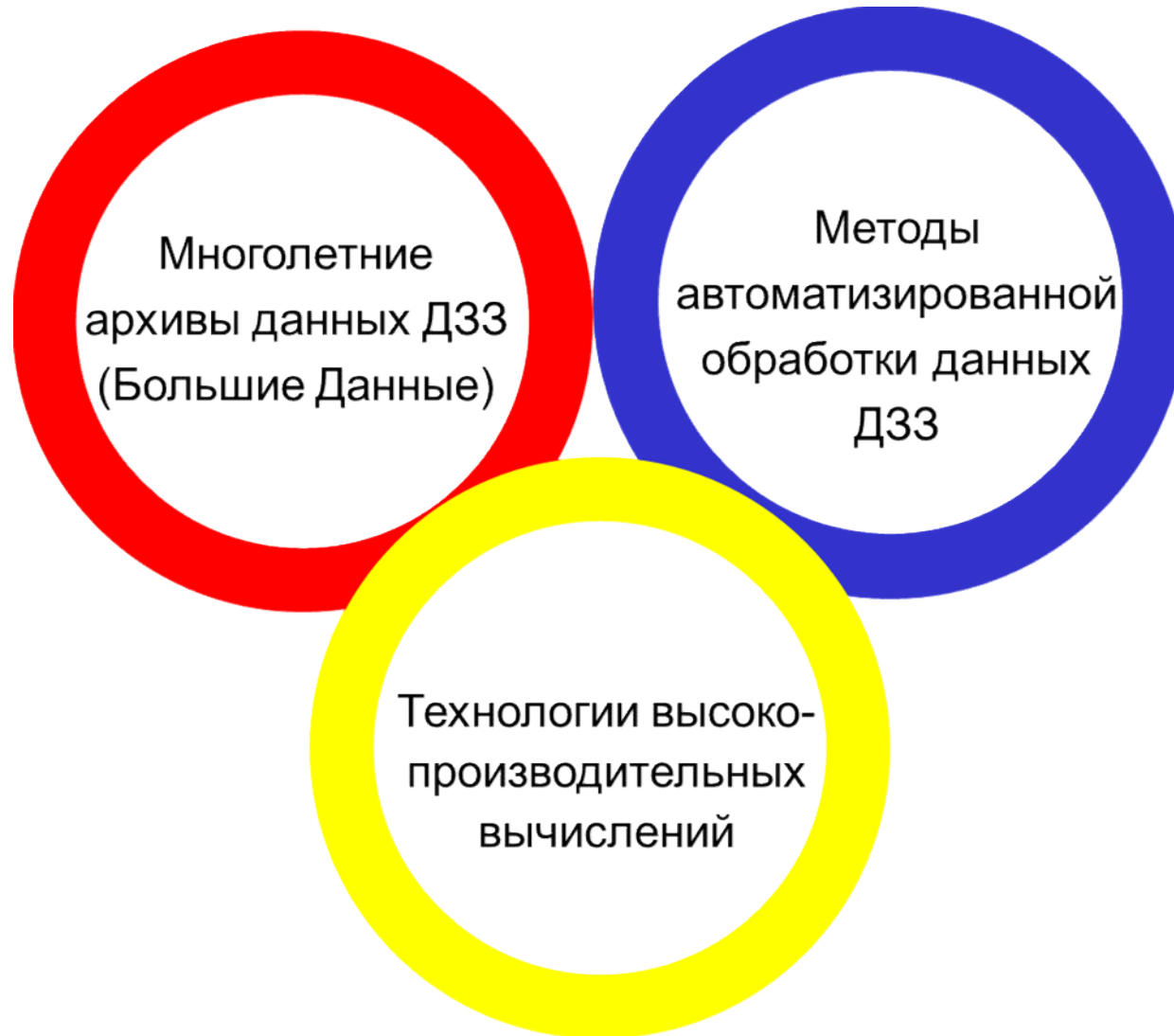
Institute for Environment and Sustainability, EC Joint Research Centre,  
21020 Ispra (VA), Italy; e-mail: sergey.bartalev@jrc.it;  
e-mail: alan.belward@jrc.it

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

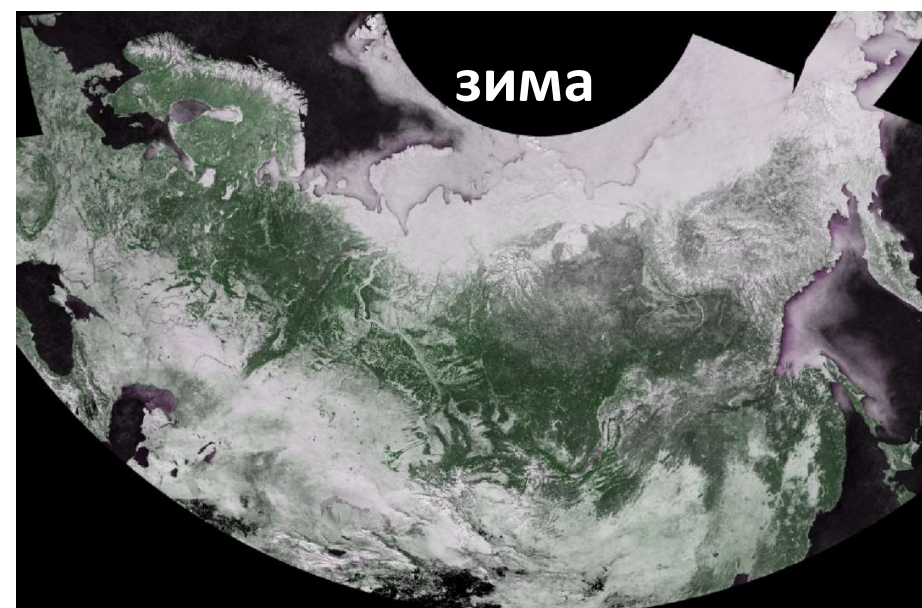
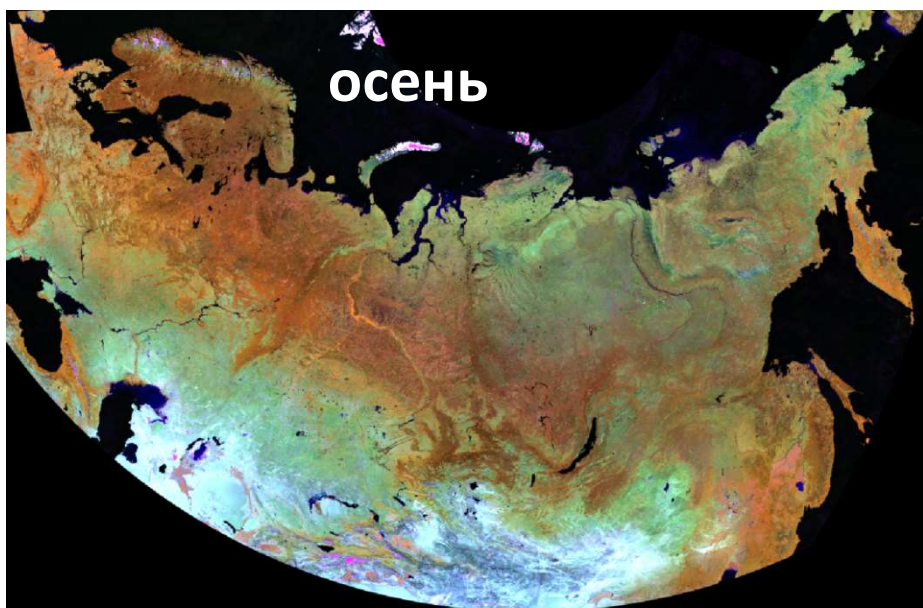
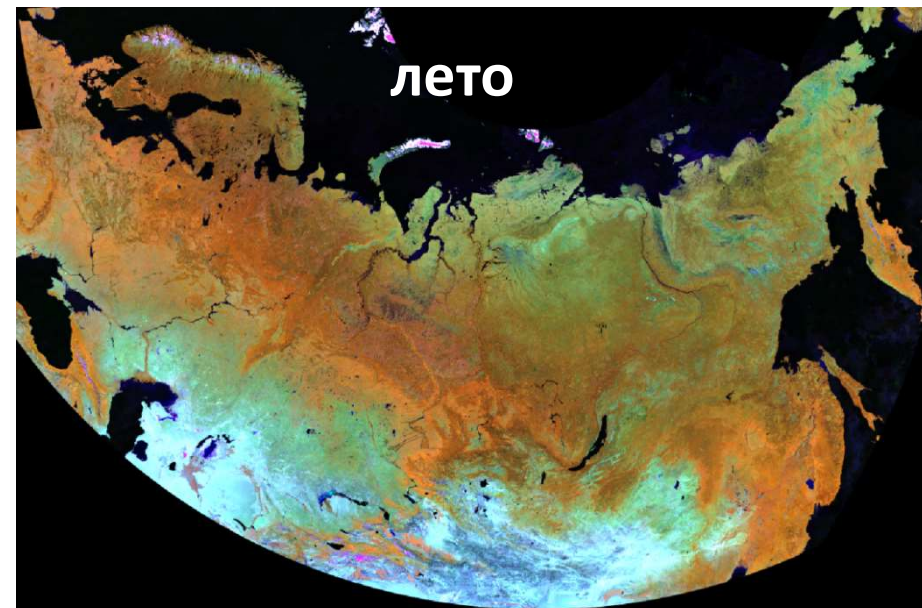
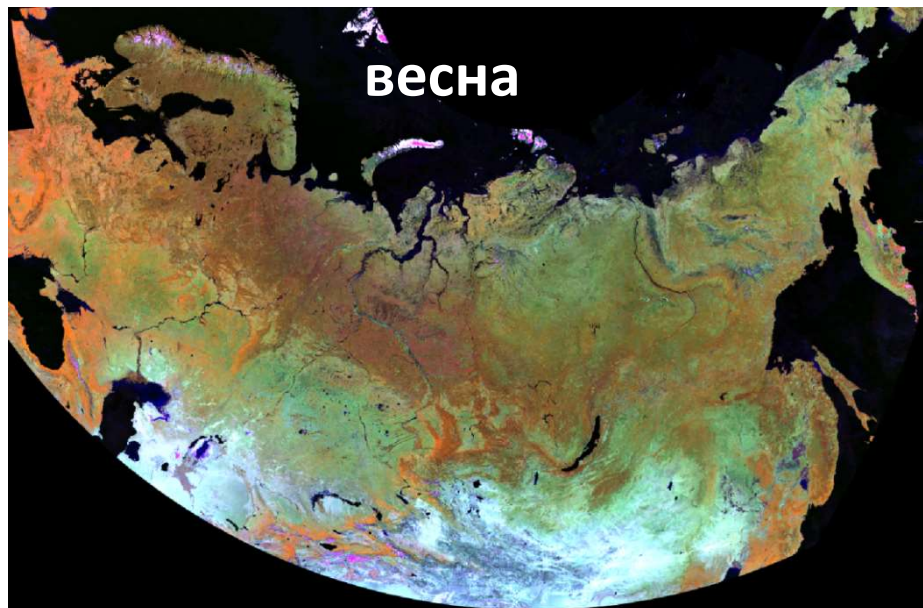


# Особенности современной методологии спутникового мониторинга лесов

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).

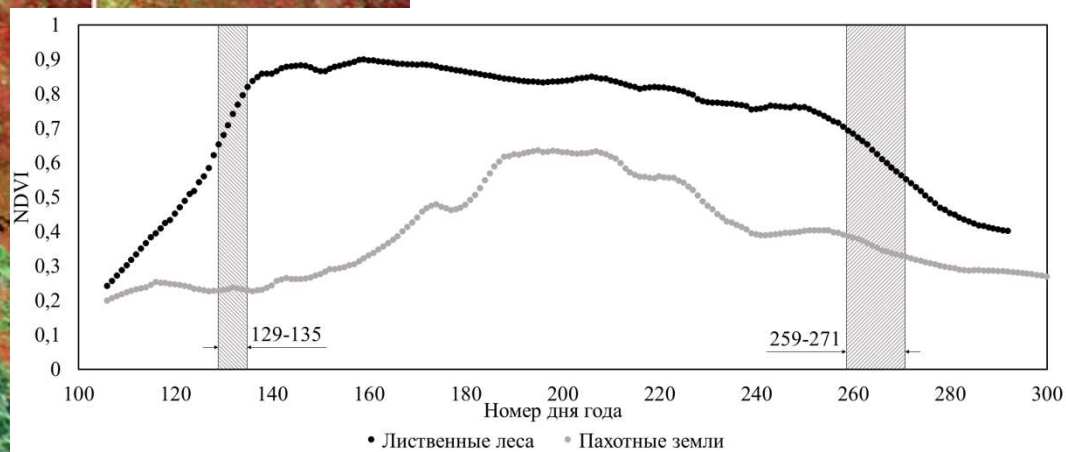
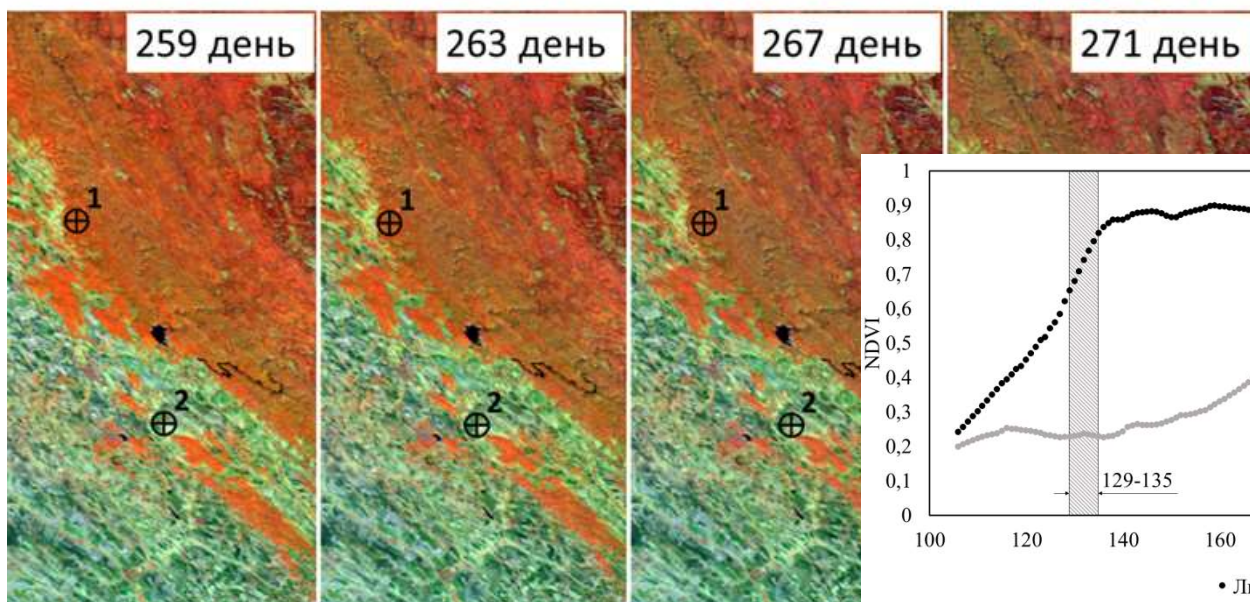
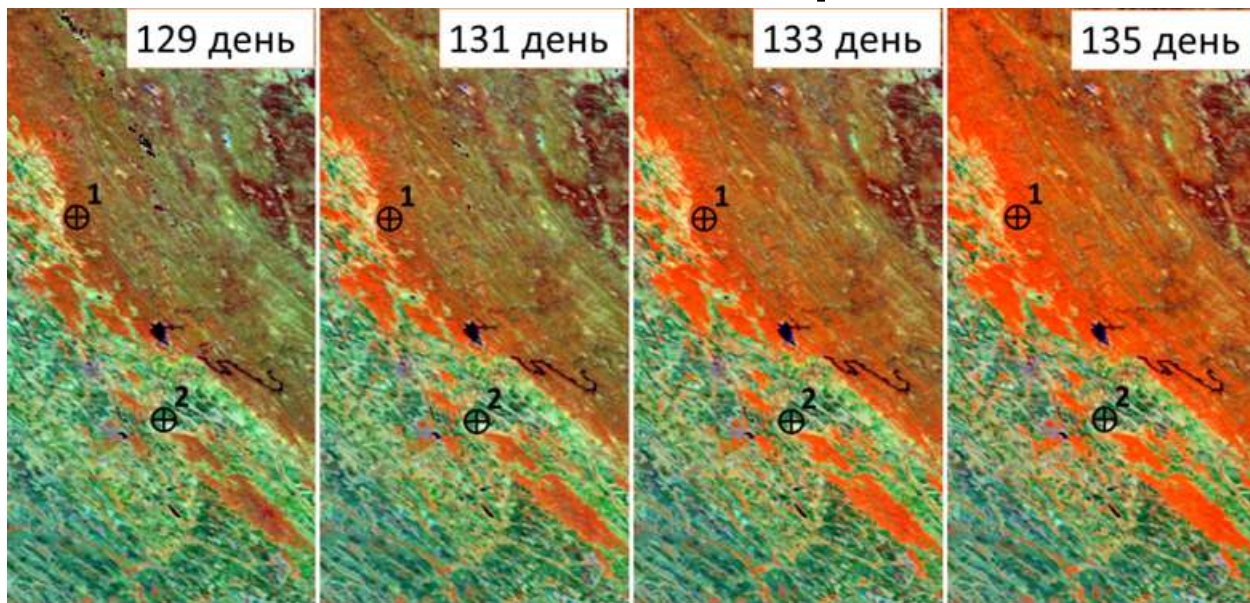


# Примеры безоблачных композитных изображений по данным MODIS





# Восстановленные ежедневные ряды безоблачных изображений по данным MODIS





# Многолетние ряды изображений земной поверхности с наличием снежного покрова по данным MODIS



2005

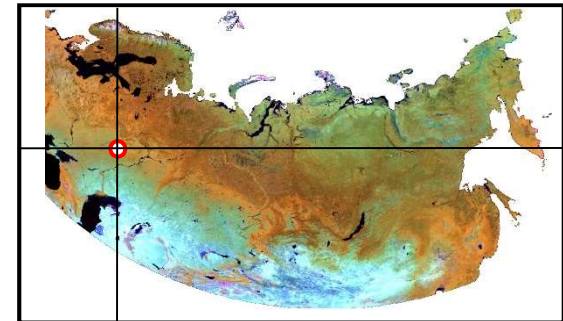
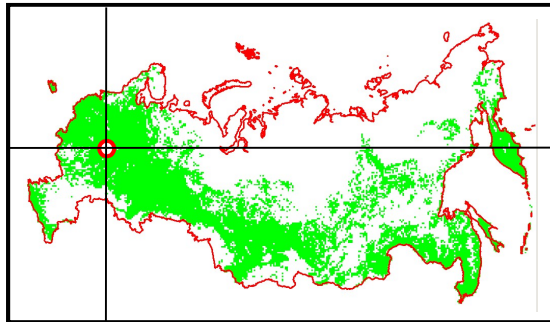
2010



2015

2020

# LAGMA : метод локально-адаптивной классификации земного покрова



Локальные спектрально-временные сигнатуры

$$\Sigma_i$$

Ковариация признаков

$$\bar{a}_i$$

Средние значения признаков

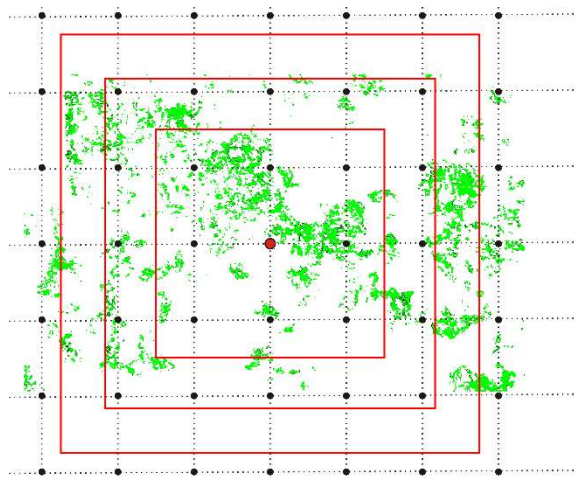
$$n_i$$

Количество пикселей

Спектрально-временные признаки классификации

$$\bar{x}$$

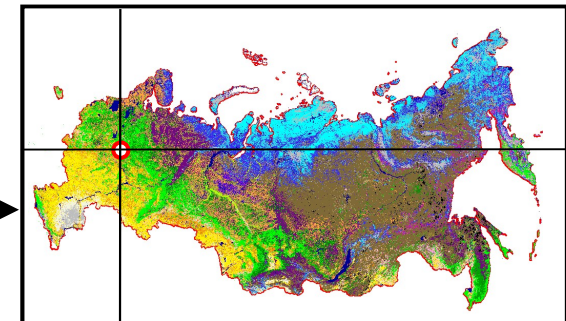
Значения признаков в пикселе



Классификатор

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

Вероятности для классов






















## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ТИПЫ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ:

<p><b>ЛЕСА:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: purple; margin-right: 5px;"></span> Темнохвойные вечнозеленые</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></span> Светлохвойные вечнозеленые</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></span> Лиственные</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkgreen; margin-right: 5px;"></span> Смешанные с преобладанием хвойных</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: forestgreen; margin-right: 5px;"></span> Смешанные</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: limegreen; margin-right: 5px;"></span> Смешанные с преобладанием лиственных</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: brown; margin-right: 5px;"></span> Хвойные листопадные (лиственничные)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: tan; margin-right: 5px;"></span> Редины хвойные листопадные</li> </ul>	<p><b>ТРАВЯНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: pink; margin-right: 5px;"></span> Луга</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> Степи</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: magenta; margin-right: 5px;"></span> Хвойные вечнозеленые кустарники</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightgreen; margin-right: 5px;"></span> Лиственные кустарники</li> </ul> <p><b>ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: olive; margin-right: 5px;"></span> Болота</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lime; margin-right: 5px;"></span> Прибрежная растительность</li> </ul>	<p><b>ТУНДРА:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></span> Кустарничковая</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightblue; margin-right: 5px;"></span> Осоковая</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></span> Кустарниковая</li> </ul> <p><b>ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkbrown; margin-right: 5px;"></span> Гари</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> Пахотные земли</li> </ul>	<p><b>НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: gray; margin-right: 5px;"></span> Открытые грунты и выходы горных пород</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightblue; margin-right: 5px;"></span> Водные объекты</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: gray; margin-right: 5px;"></span> Урбанизированные территории</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: white; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Вечные снега и льды</li> </ul>
--	---	--	---





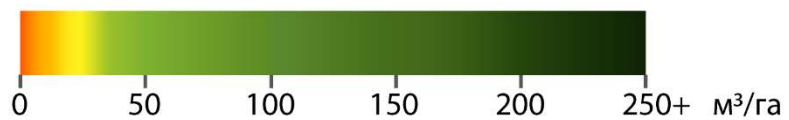
### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ:

	Сосна		Дуб		Липа
	Ель		Бук		Клен
	Пихта		Береза каменная		Редкая лиственница
	Лиственница		Береза		Кедровый стланик
	Сибирский кедр		Осина		Лиственные кустарники





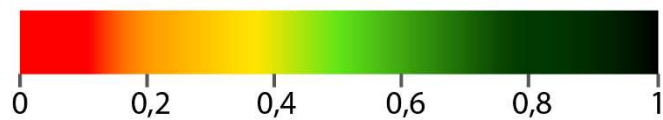
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
УДЕЛЬНЫЙ ЗАПАС СЫРОРАСТУЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ:



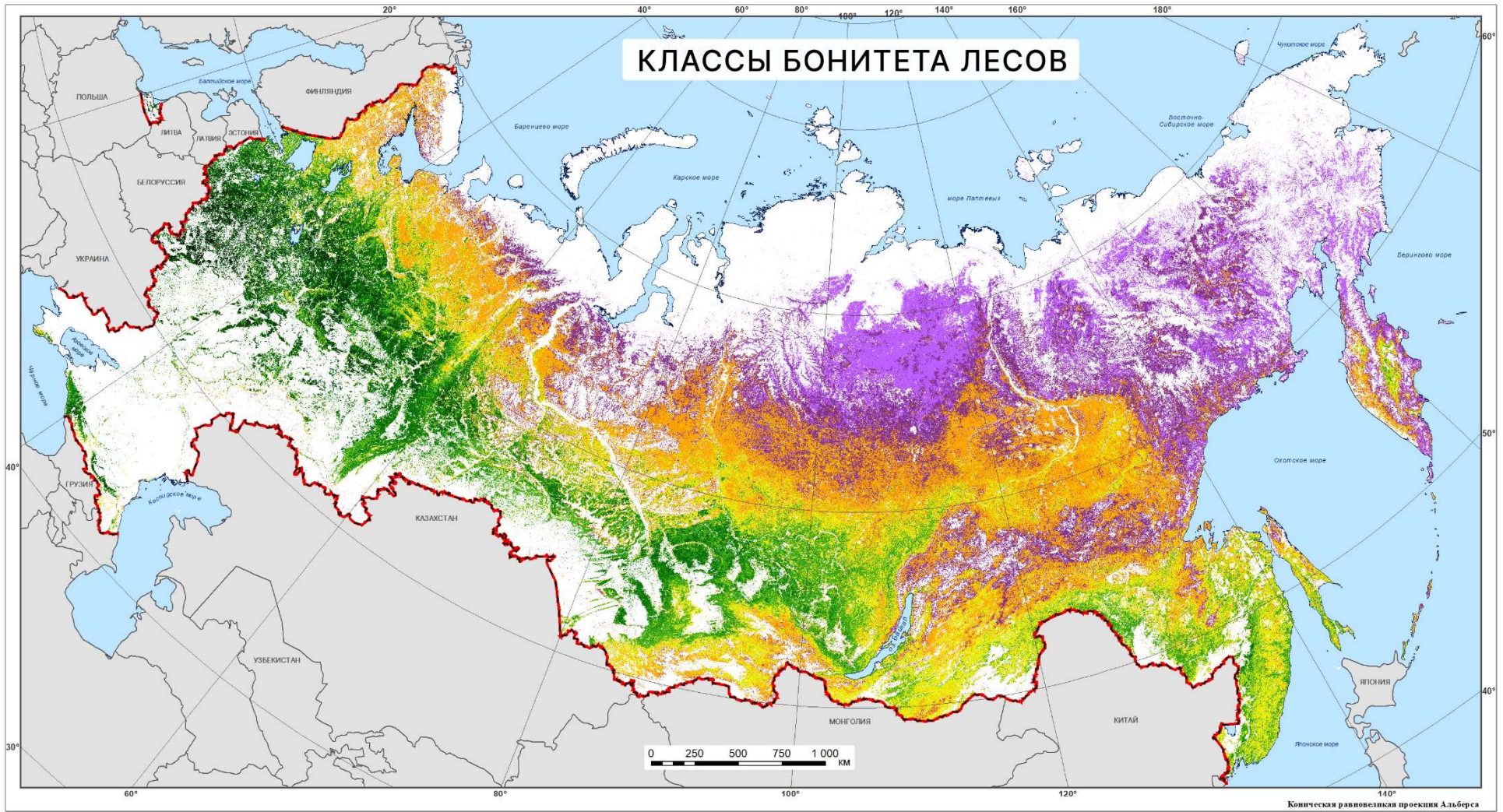




УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЛЕСОВ:







#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ КЛАССЫ БОНИТЕТА ЛЕСОВ:

■ Ia, Ib

■ II

■ IV

■ Va

■ I

■ III

■ V

■ Vb





#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ КЛАССЫ ВОЗРАСТА ЛЕСОВ:

	Молодняки I класса		Средневозрастные		Спелые
	Молодняки II класса		Приспевающие		Перестойные





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).



# Интеграция данных и моделей для мониторинга углерода в лесах







# Спасибо за внимание !

Доклад подготовлен при поддержке государственного задания ИКИ РАН (регистрационный номер 122100700008-5) в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2022 года №25-15р в целях реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ.