

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

**Барталев Сергей Александрович**  
Институт космических исследований РАН

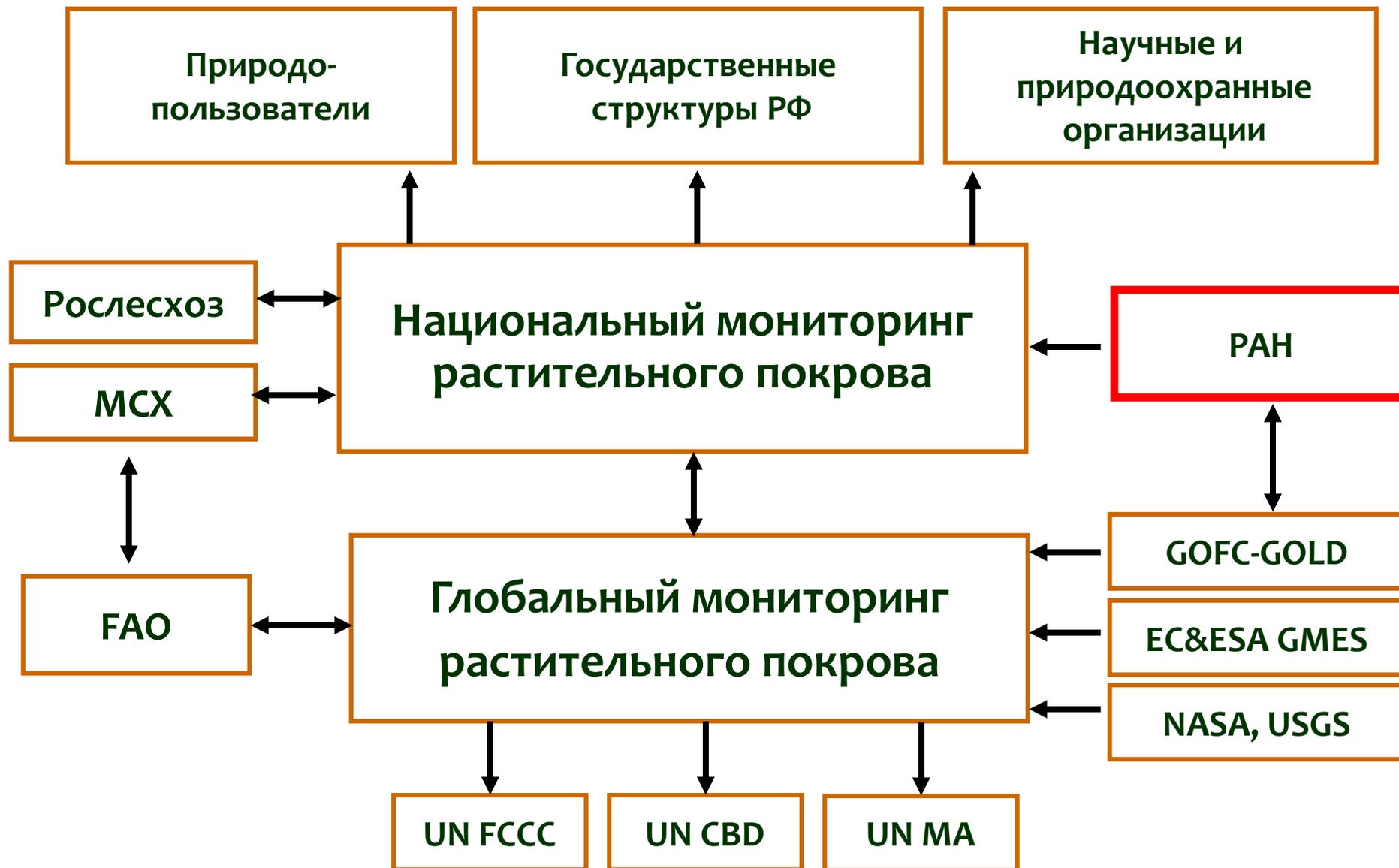


Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса», 14 - 18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва

# 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**



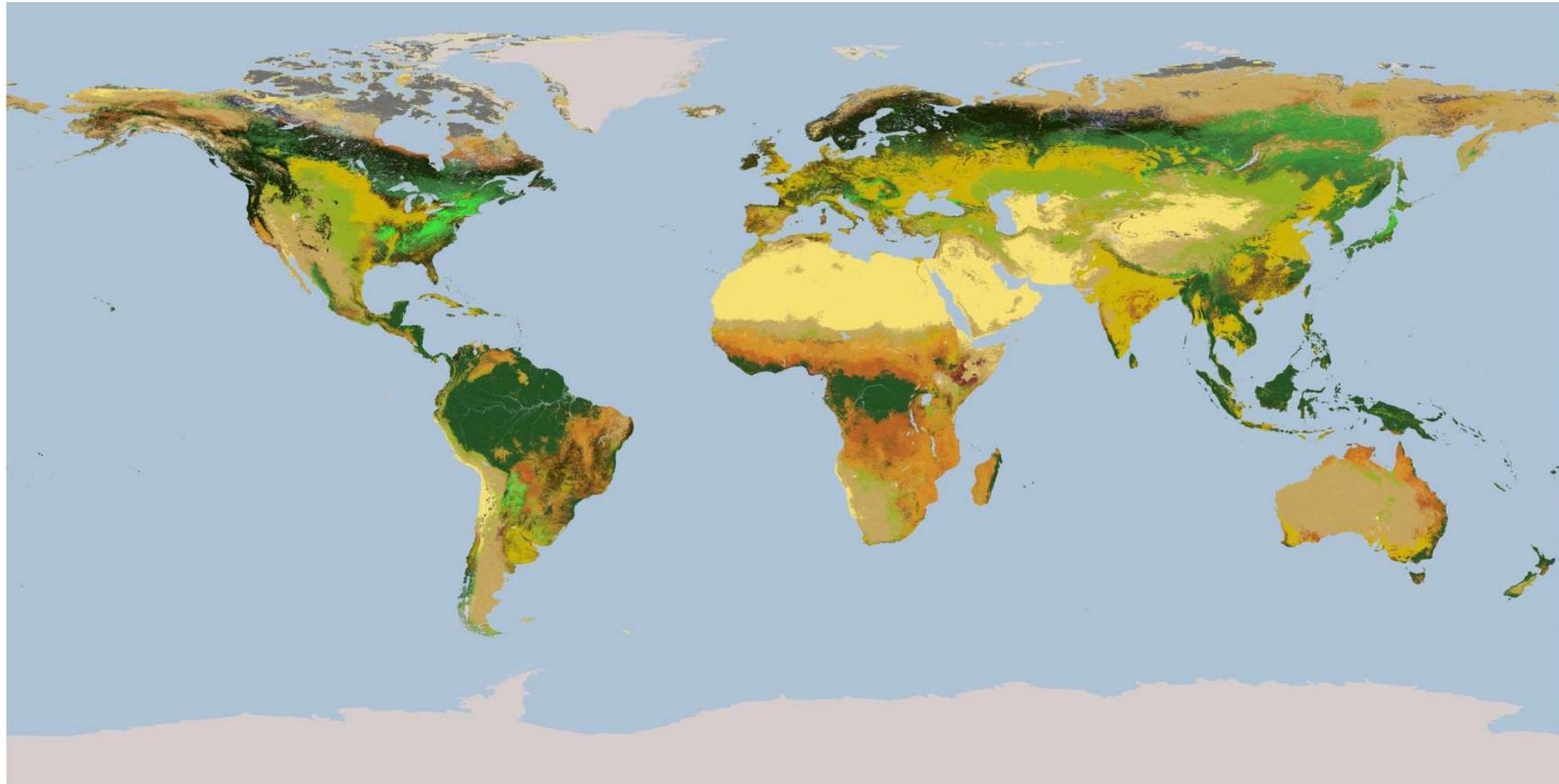
**MODIS, 1 km, 2002**

**VCF, MODIS, 500 m, 2003**

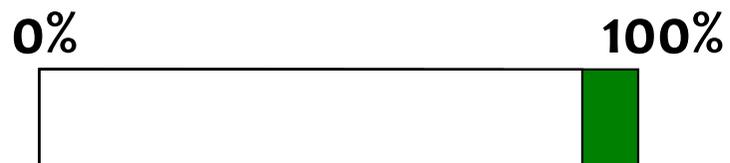
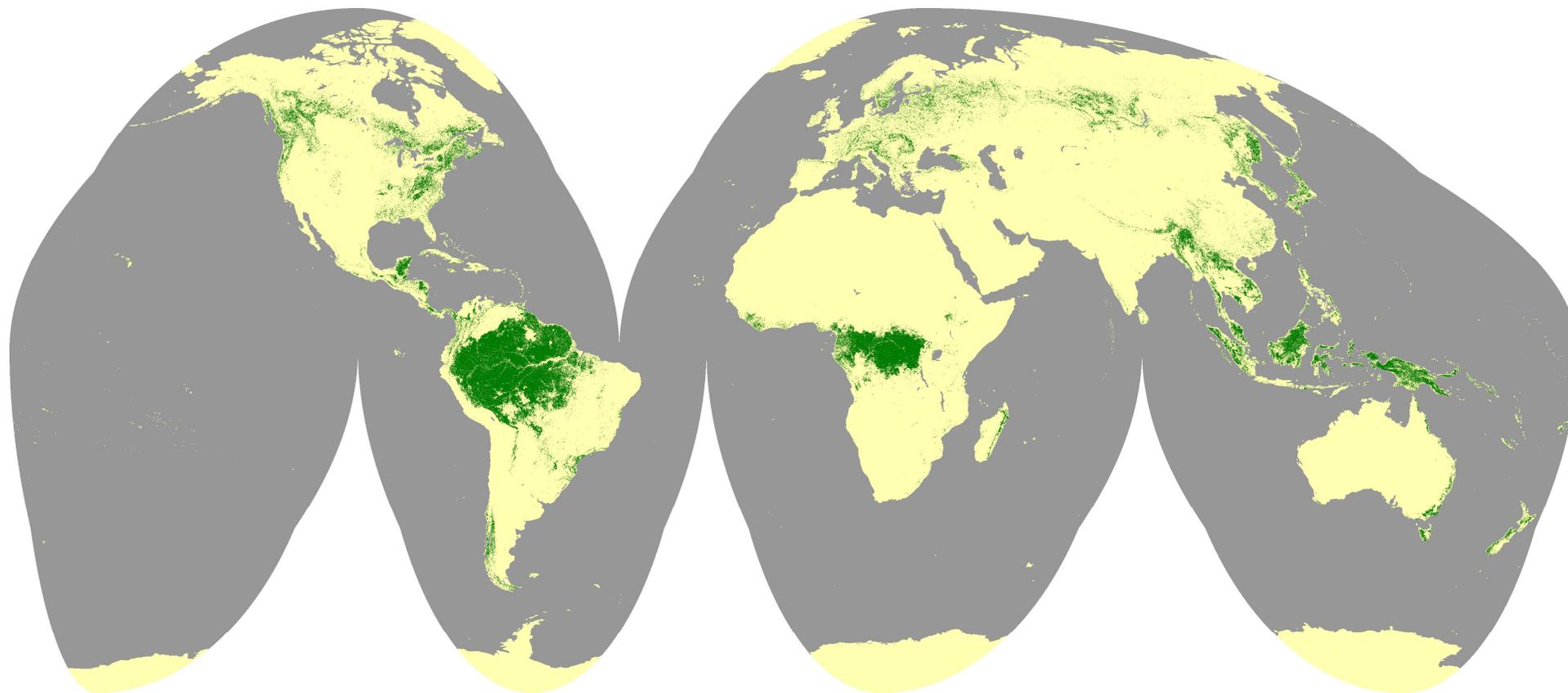
**Globcover: MERIS, 300 m, 2007**



# NASA MODIS Global Land Cover 500 m

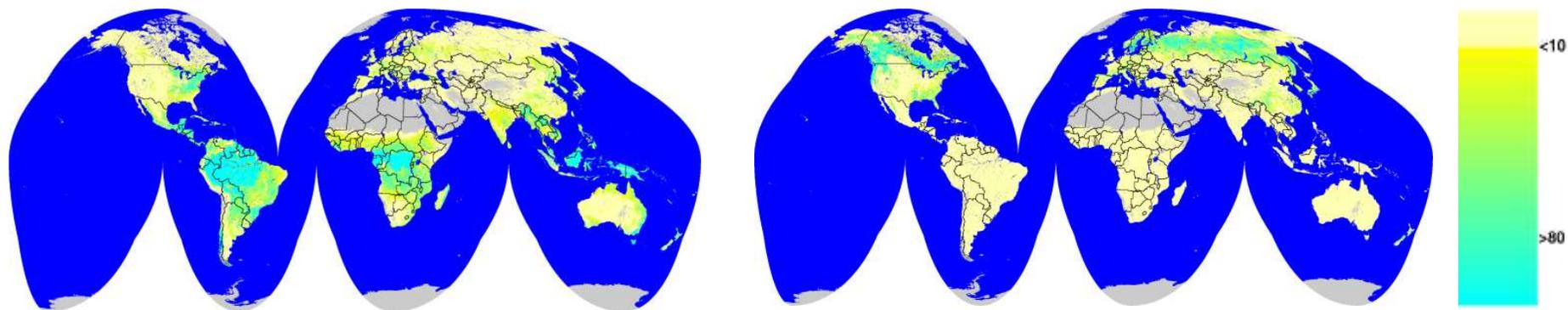


# Оценка проективного покрытия лесов по данным MODIS



# Оценка соотношения различных типов деревьев по данным MODIS

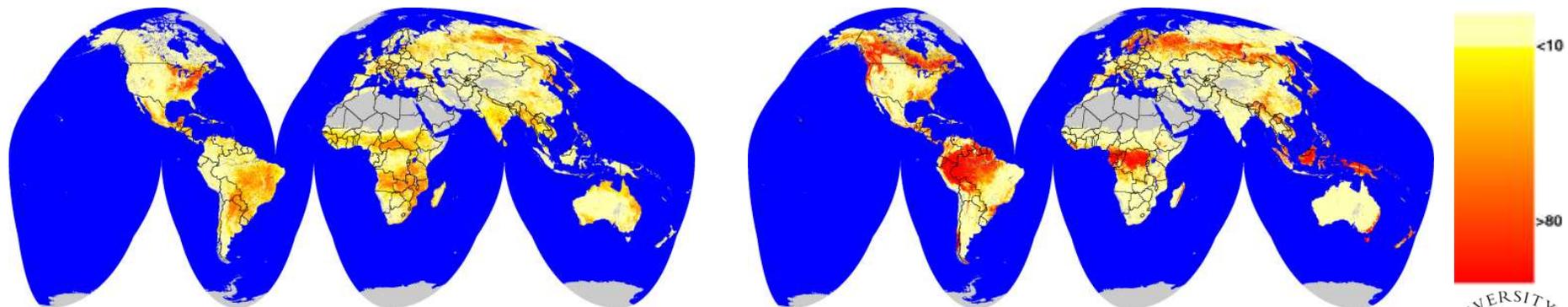
## По типу вегетативных органов деревьев



% Лиственных деревьев

% Хвойных деревьев

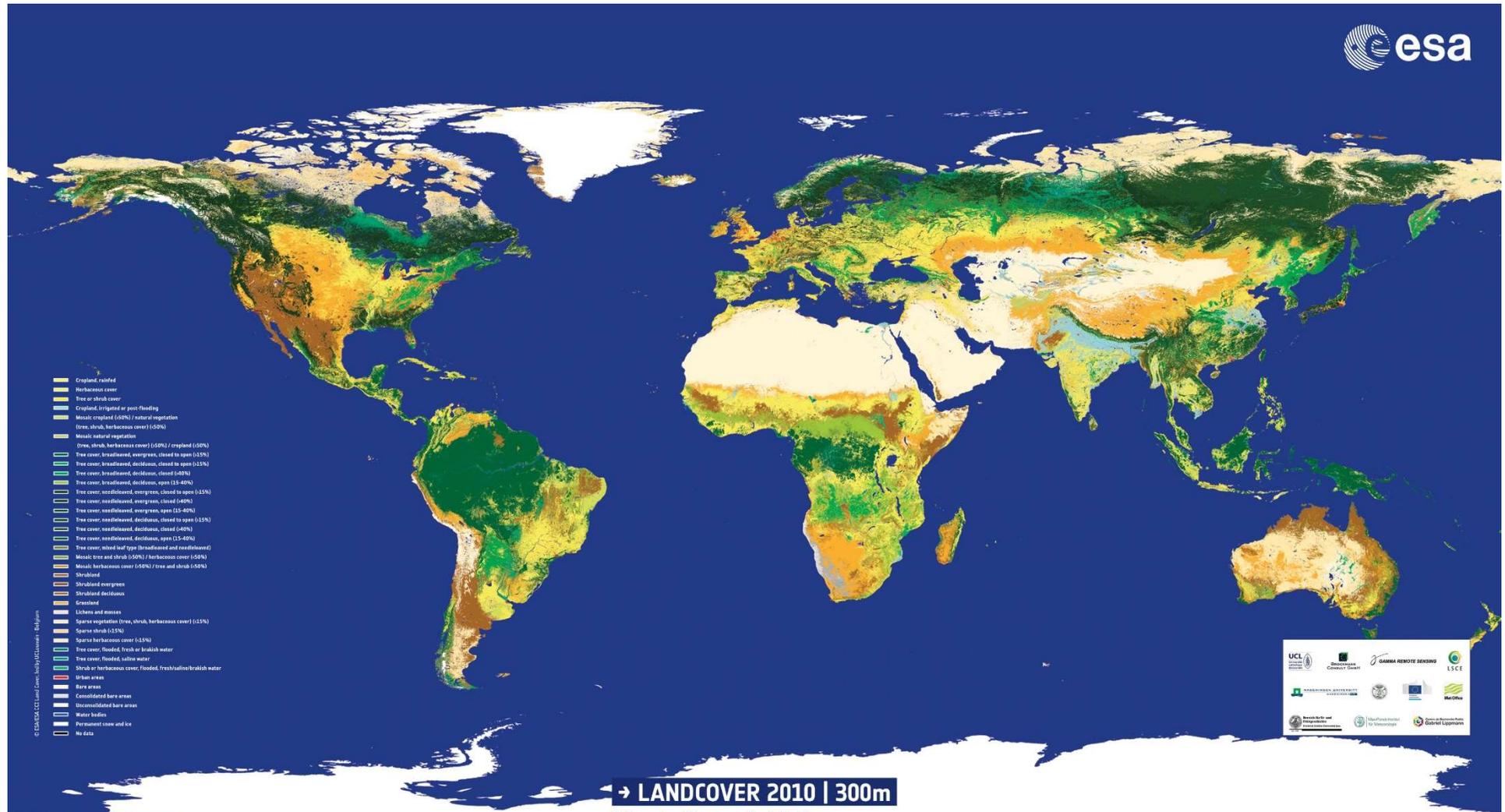
## По типу фенологии деревьев



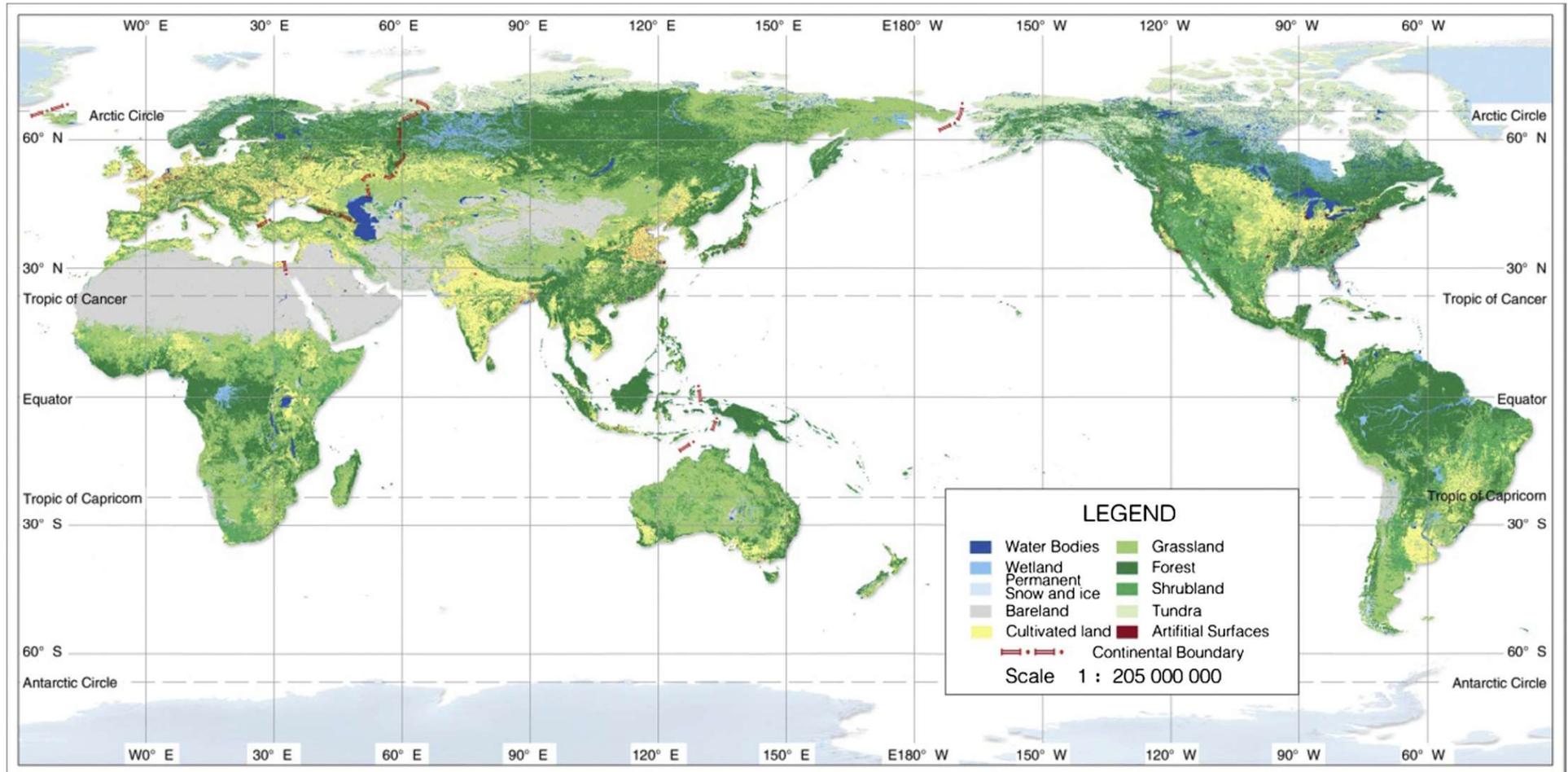
% Листопадных деревьев

% Вечнозеленых деревьев

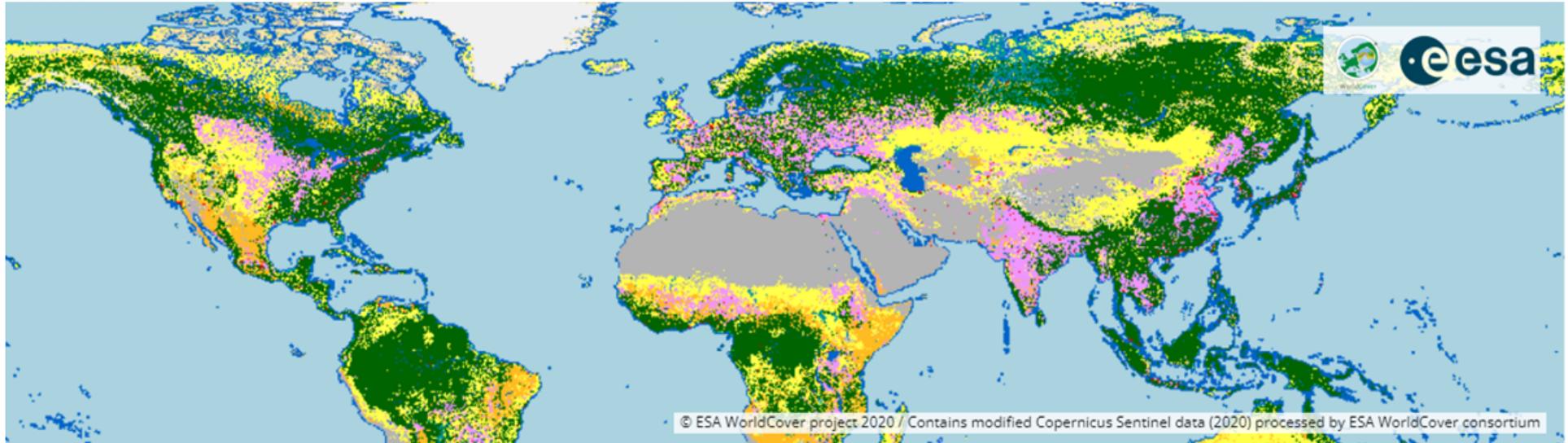
# ESA MERIS GlobCover 300 m



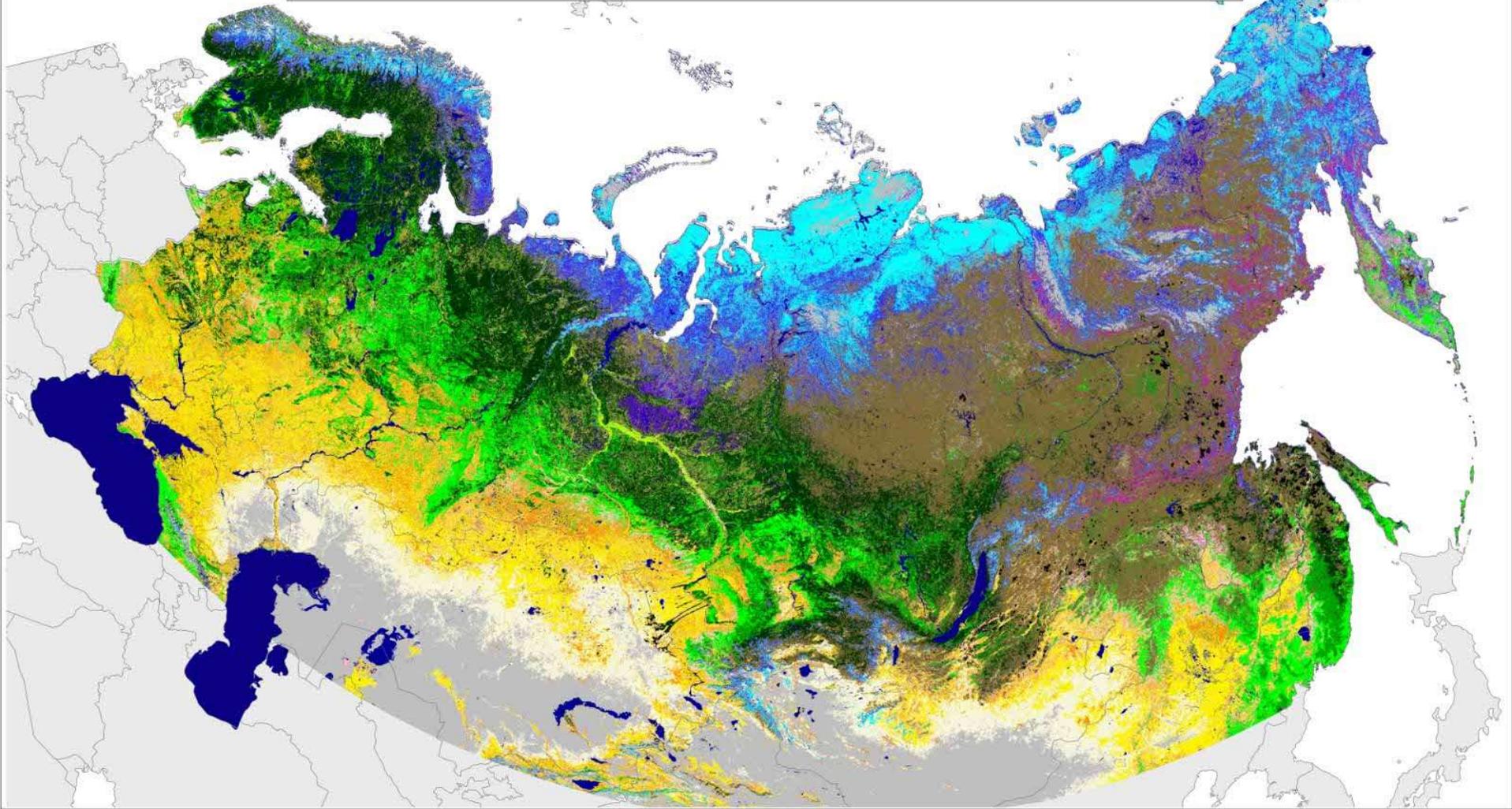
# Global land cover map 30 m



# 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 преобладанием лиственных</li> <li>Coniferous / Сосновый</li> <li>Broadleaf / Mixedleaf Forest / Смешанный с преобладанием лиственных</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> </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>Forest - Grassland Complex / Сосновый - травянистый</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 / Недревянистый лес</li> <li>Urban / Урбанизированные территории</li> <li>Water / Водоемы</li> <li>Snow / Снег</li> <li>Open water / Открытые водоемы</li> <li>Glacier / Горада / ледники</li> </ul>
<b>WETLANDS / ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ</b>				
<b>TUNDRA / ТУНДРА</b>				

**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 спутникового сенсора VEGETATION на борту спутника SPOT 4. Земельные классы были идентифицированы с помощью данных о вегетации, полученных с помощью спутника SPOT 4. Земельные классы были идентифицированы с помощью данных о вегетации, полученных с помощью спутника SPOT 4. Земельные классы были идентифицированы с помощью данных о вегетации, полученных с помощью спутника SPOT 4. Земельные классы были идентифицированы с помощью данных о вегетации, полученных с помощью спутника SPOT 4.

**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@ssu.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@cefp.rssi.ru, embevd@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.europa.eu

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.)

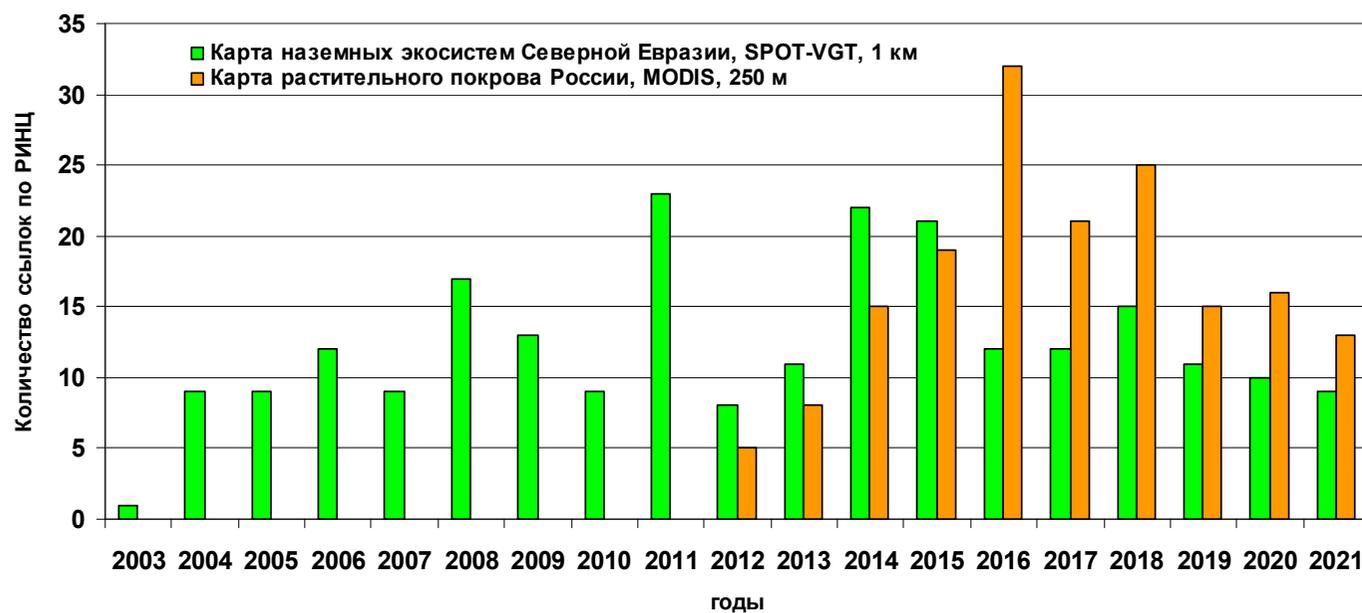
## A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia

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



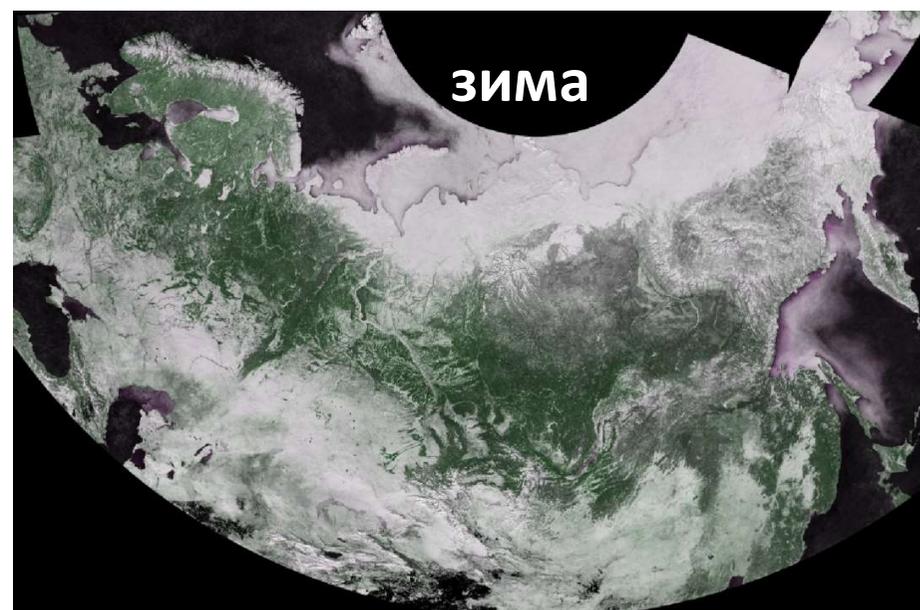
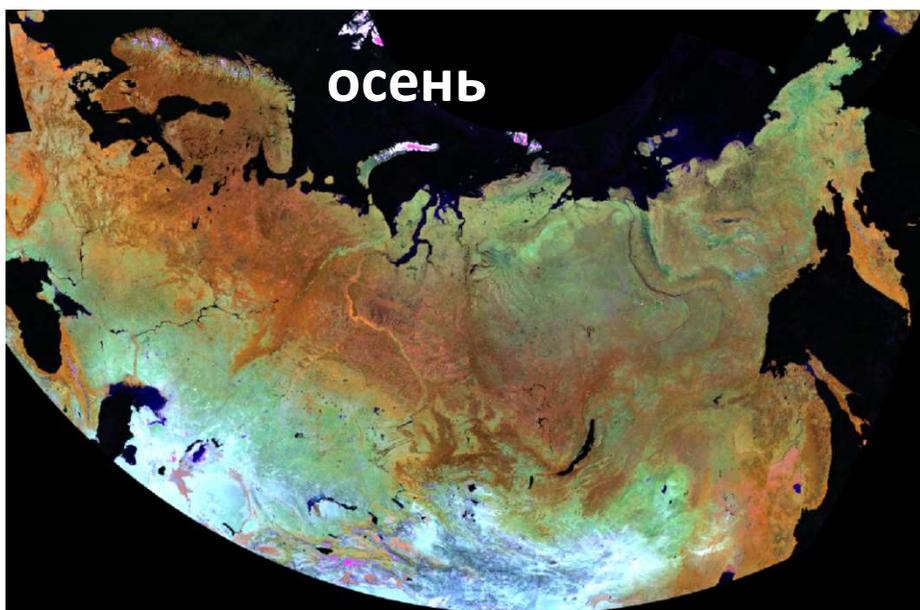
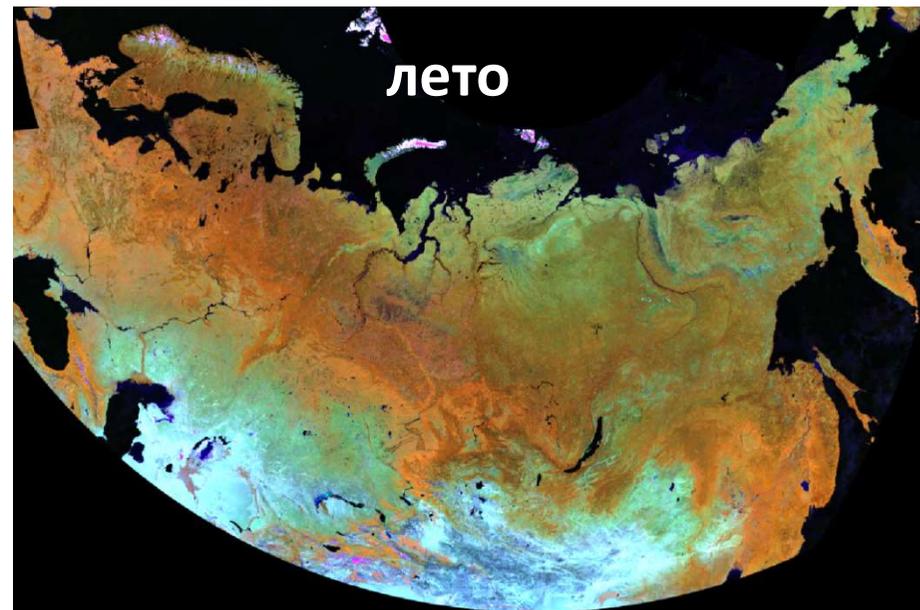
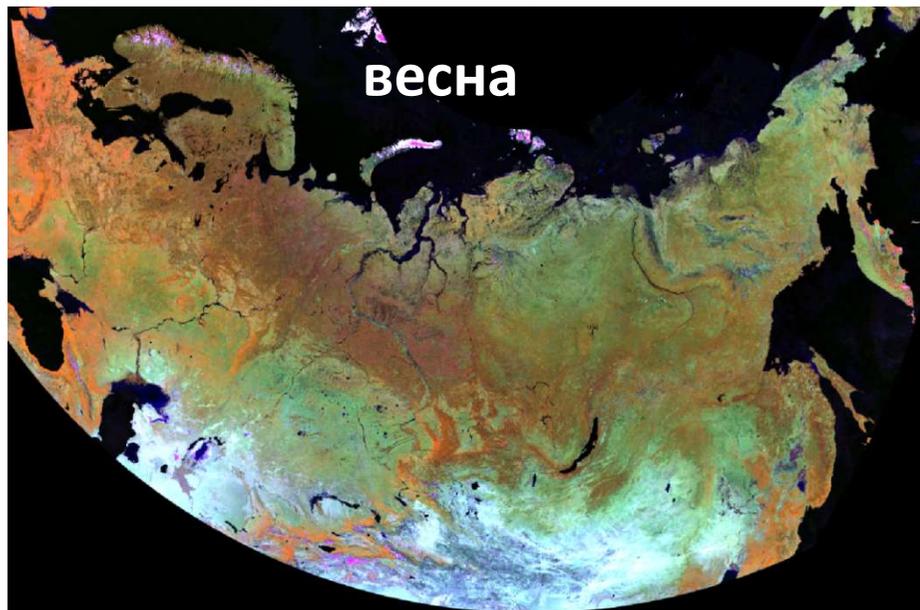
# Компоненты современной методологии спутникового мониторинга лесов



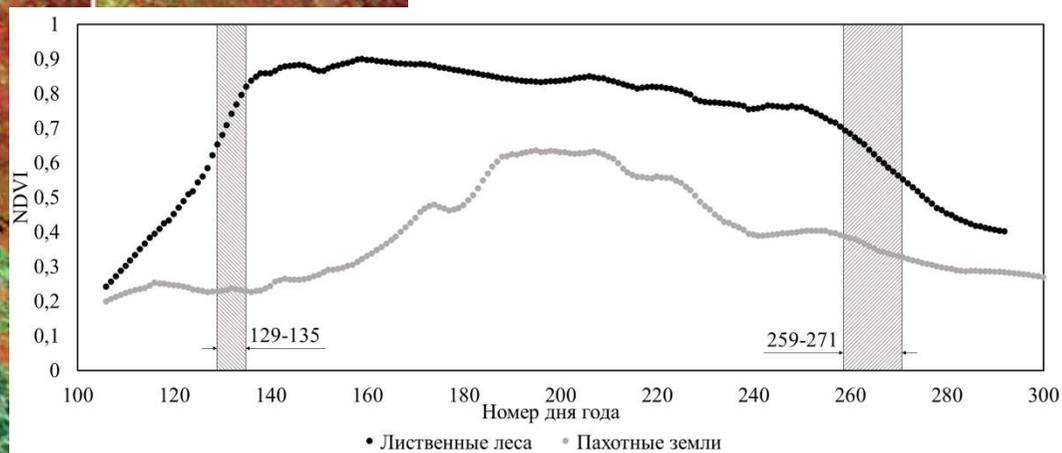
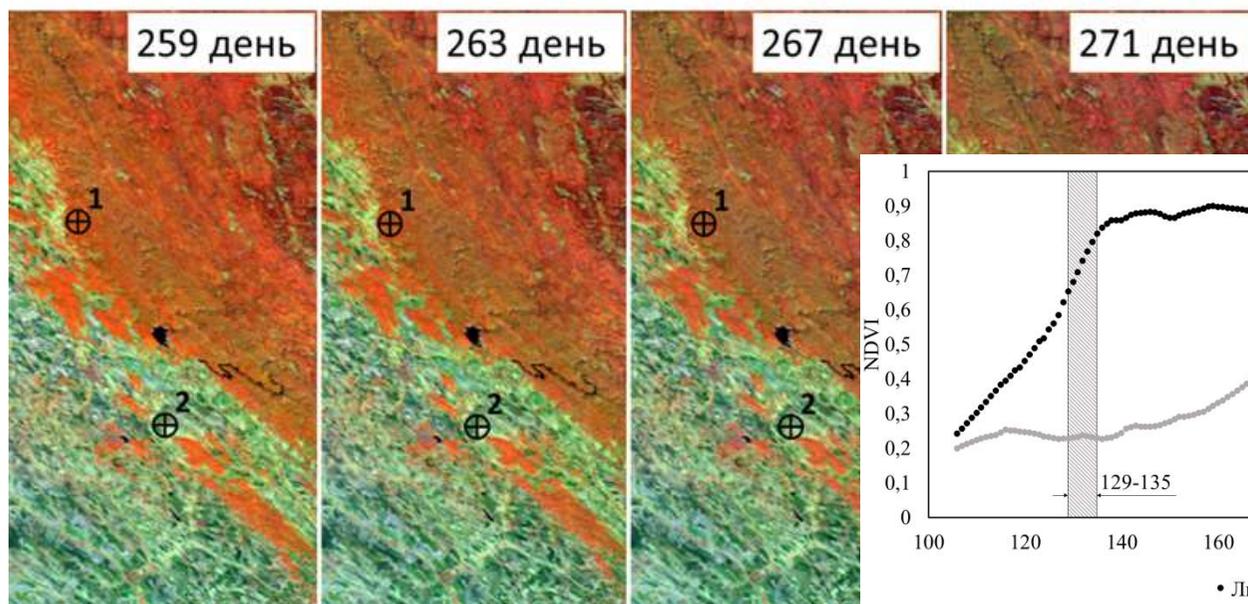
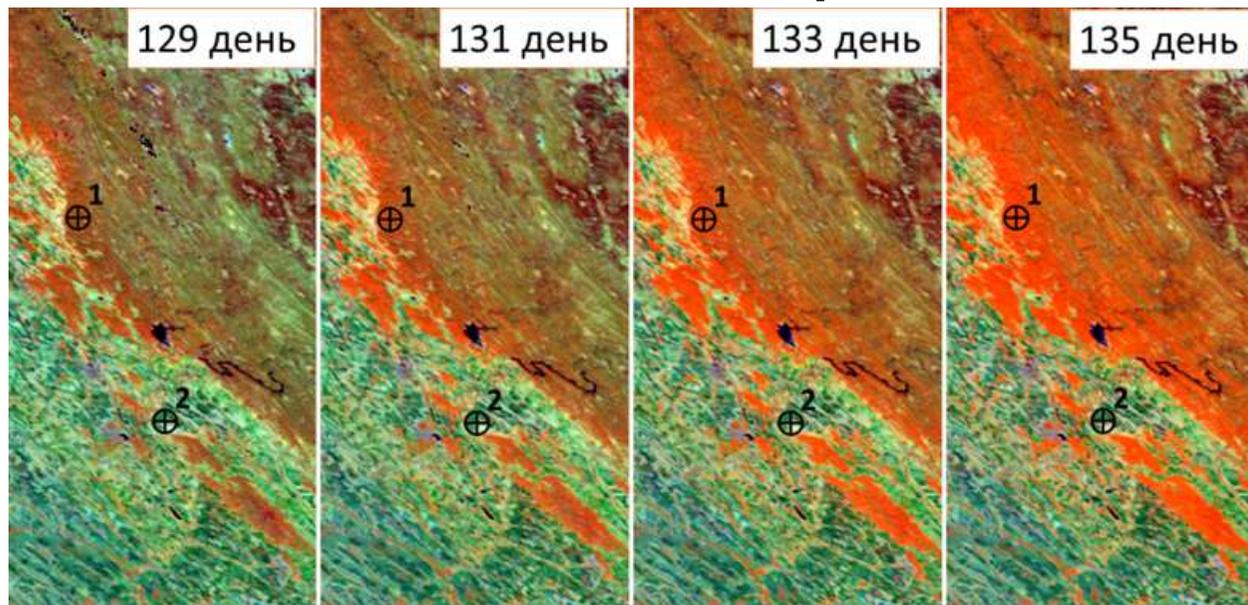
# Особенности современной методологии спутникового мониторинга лесов

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

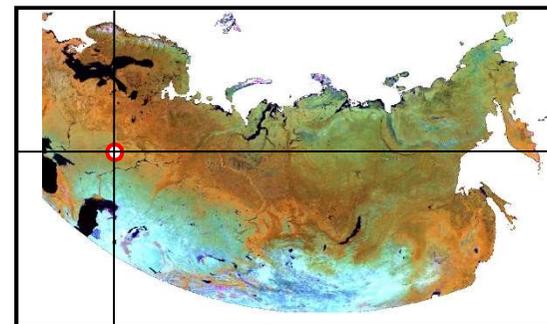
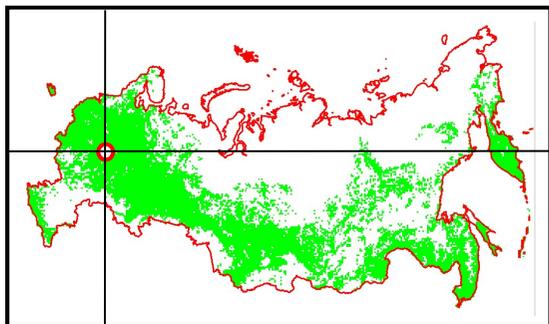
2010



2015

2020

# LAGMA : метод локально-адаптивной классификации земного покрова



Локальные спектрально-временные сигнатуры

$$\Sigma_i$$

Ковариация признаков

$$\bar{a}_i$$

Средние значения признаков

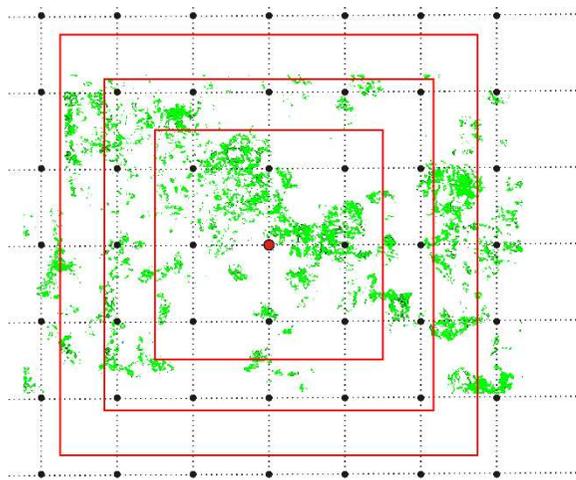
$$n_i$$

Количество пикселей

Спектрально-временные признаки классификации

$$\bar{x}$$

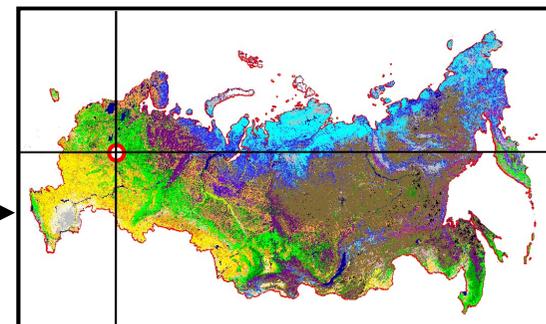
Значения признаков в пикселе



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>
--	---	--	---

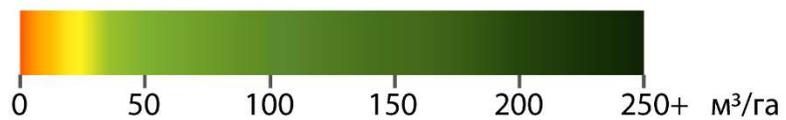


### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ:

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

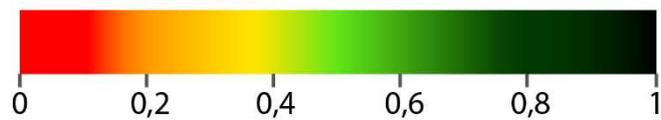


**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
УДЕЛЬНЫЙ ЗАПАС СЫРОРАСТУЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ:**





УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЛЕСОВ:





### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ КЛАССЫ БОНИТЕТА ЛЕСОВ:

■ Ia, Ib

■ II

■ IV

■ Va

■ I

■ III

■ V

■ Vb



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
КЛАССЫ ВОЗРАСТА ЛЕСОВ:**

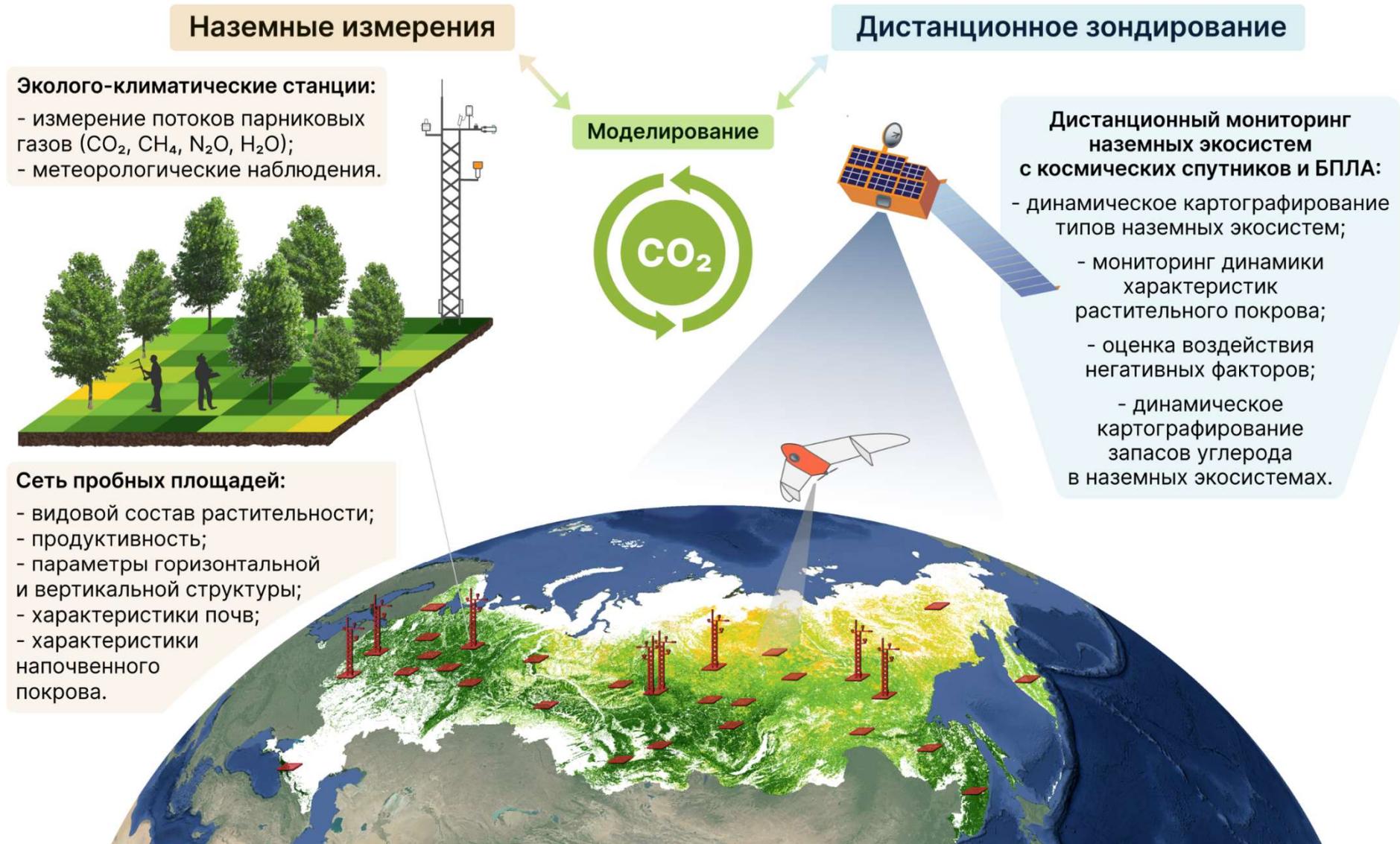
- |   |   |   |
|---|---|---|
|  Молодняки I класса  |  Средневозрастные |  Спелые      |
|  Молодняки II класса |  Приспевающие     |  Перестойные |

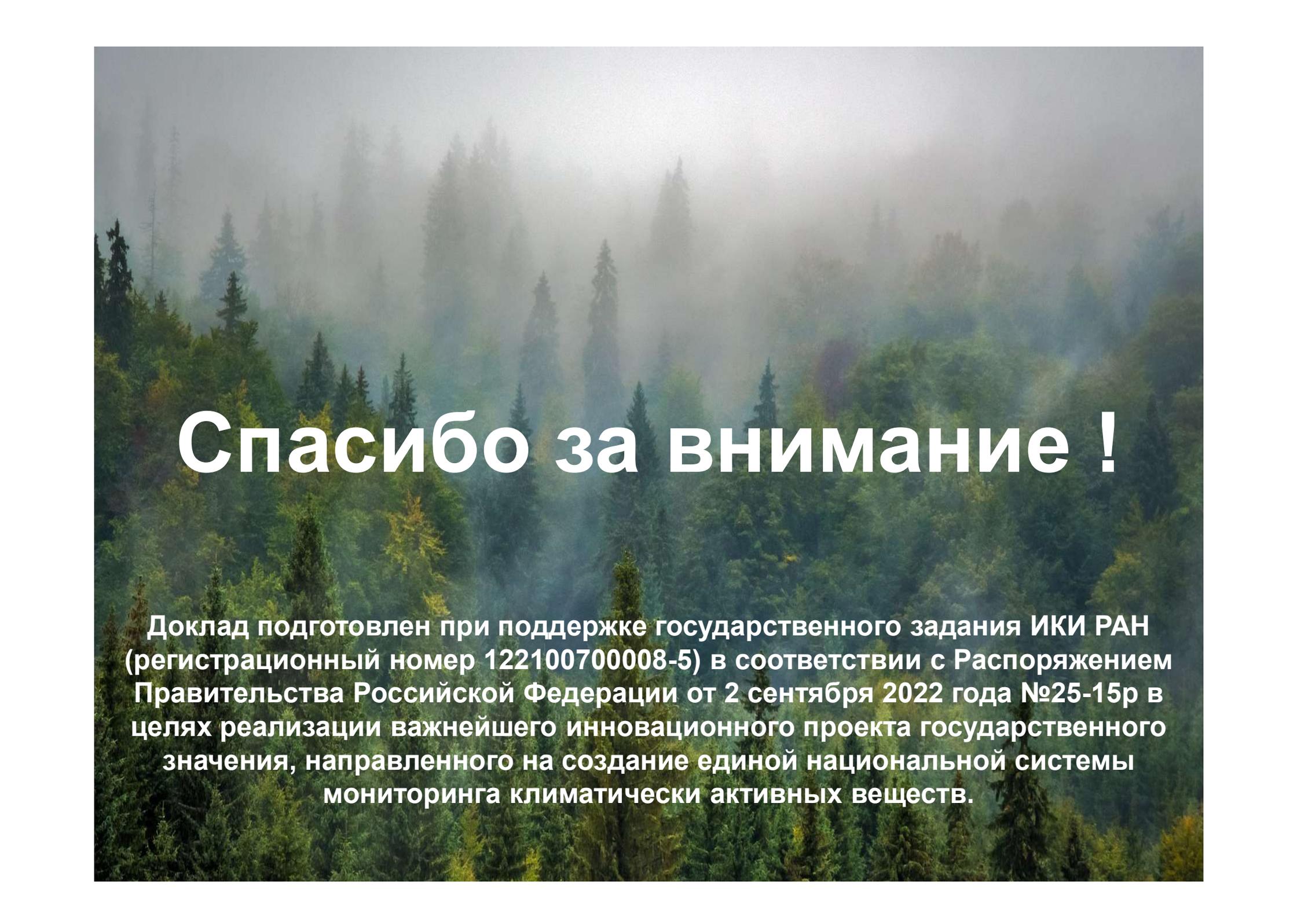


Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России // М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.

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.