



# **Обзор работ в области картографирования типов землепользования территории России по данным дистанционного зондирования Земли**

**Мятлев Алексей Алексеевич (ФКИ МГУ)  
Колобахин Михаил Юрьевич (ФКИ МГУ)  
Кашницкий Александр Витальевич (ИКИ РАН)**

**Двадцать третья международная конференция  
"Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"  
10 – 14 ноября 2025 г.**

## Введение

---

В работе представлен обзор глобальных и региональных картографических продуктов растительного покрова, созданных на основе данных дистанционного зондирования Земли. Целью работы является анализ их применимости для изучения изменений типов землепользования на территории России, что необходимо, в частности, для оценки углеродного баланса и ведения национального кадастра парниковых газов.

## Актуальность

---

Карты ландшафтного покрытия и землепользования играют ключевую роль в управлении природными ресурсами. Они отображают естественные и антропогенные процессы на поверхности Земли. Современные технологии, особенно методы дистанционного зондирования Земли, позволяют создавать детализированные продукты на глобальном уровне с высоким пространственным разрешением. За последние 40 лет произошел существенный прогресс в картографировании Земли по данным ДЗЗ.

Результаты исследования могут быть полезны при картографировании территории, что найдет применение в государственном управлении и планировании. В частности, результаты исследования необходимы для составления карт типов категорий землепользования, используемых для ведения национального кадастра парниковых газов.

## Количество классов

---

- Лесные земли
- Возделываемые земли
- Пастбища
- Водно-болотные угодья
- Поселения
- Прочие земли

## Критерии обзора

- наличие подходящих классов
- доступность картографических продуктов
- глобальный или региональный охват, соизмеримый России и со схожими классами ландшафтного покрова

Обзор сосредоточен на шести основных классах землепользования, определенных в соответствии с методическими рекомендациями Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2006) для разработки кадастров парниковых газов в секторе землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства. Выбор этих категорий обусловлен их значительным влиянием на углеродный баланс и необходимостью точного учета изменений в их площадях для оценки выбросов и поглощений парниковых газов.

# Обзор работ

---

Данные низкого пространственного разрешения (100+ м)

# DISCover

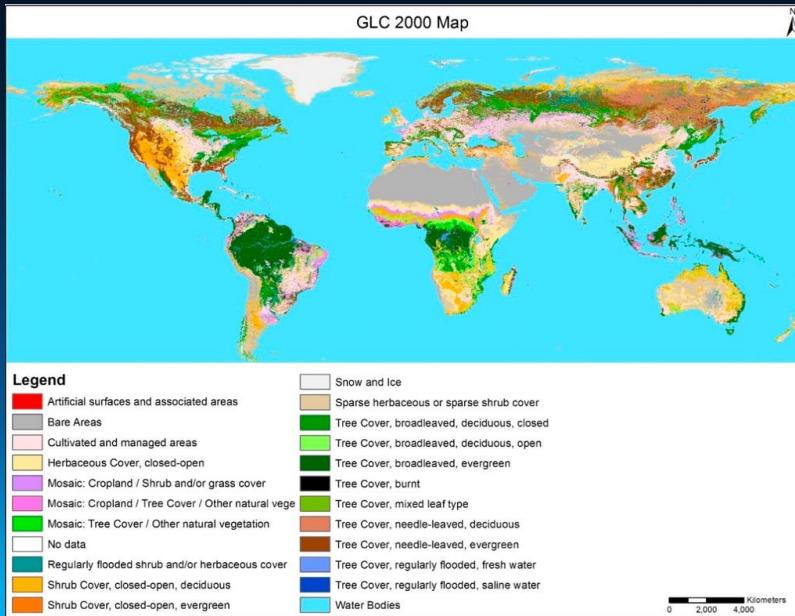
## International Geosphere-Biosphere Programme, 1997



- Разрешение - 1 км
- Средняя точность - 67%
- Карта составлена на основе спутниковых данных с апреля 1992 г. по апрель 1993 г.
- Использовались данные с датчиков NOAA-AVHRR для классификации в 17 категориях
- DISCover стал первым глобальным продуктом такого типа с документированной статистической проверкой точности

# Global Land Cover 2000

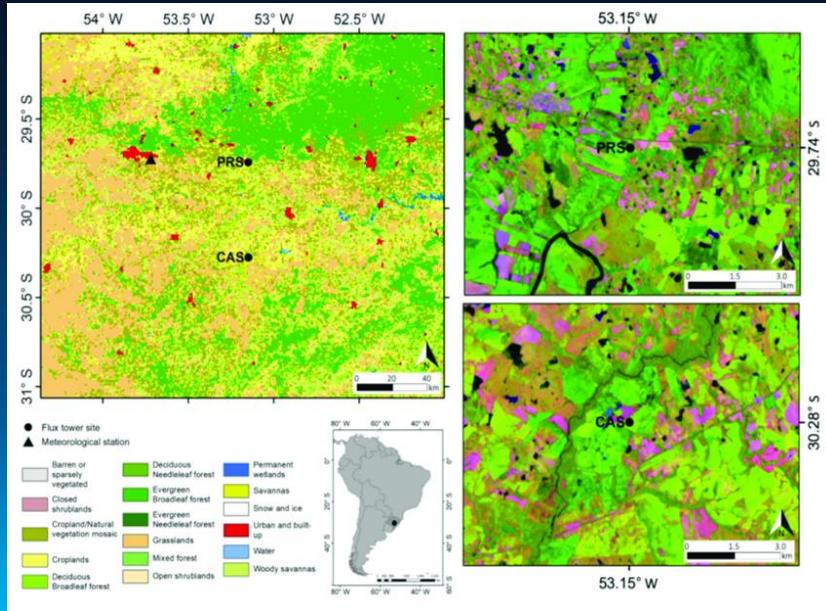
Joint Research Centre (European Commission), 2003



- Разрешение - 1 км
- Средняя точность - 69%
- Разрабатывался в рамках работ по глобальному картографированию всех континентов
- Обработка данных осуществлялась по данным с датчиков SPOT4-VEGETATION за 2000 г.
- Представлено 21 классами (и подклассами в зависимости от региона)

# Global MODIS Land Cover

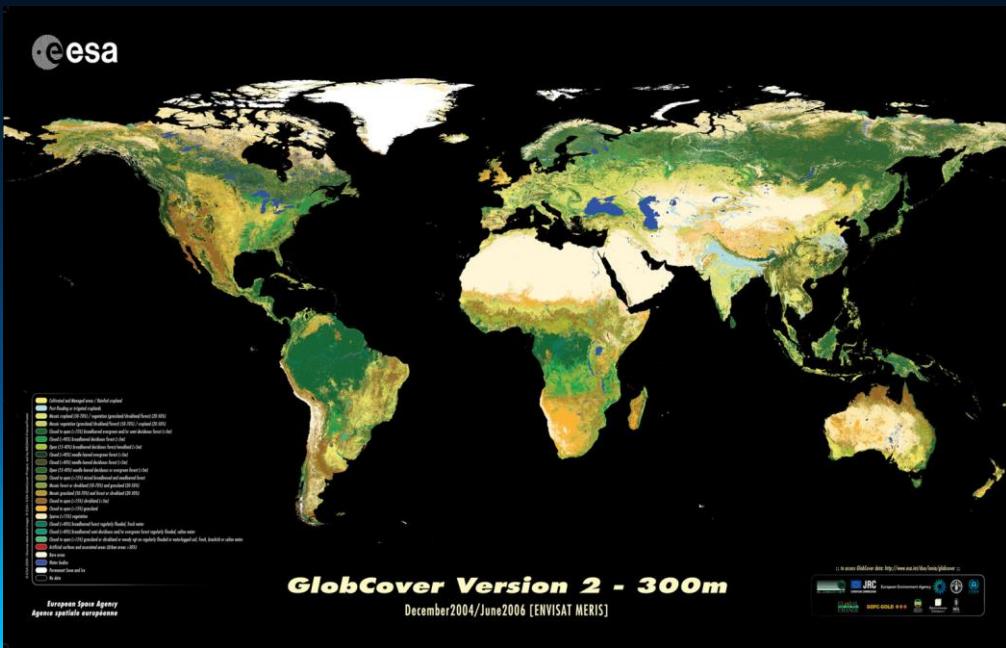
## Boston University (the USA), 2010



- Разрешение - 500 м
- Средняя точность - 75%
- Классификация сразу по 6 схемам: IGBP, UMD, LAI, BGC, PFT, LCCS
- Ежегодные данные с 2001 г.

# GlobCover

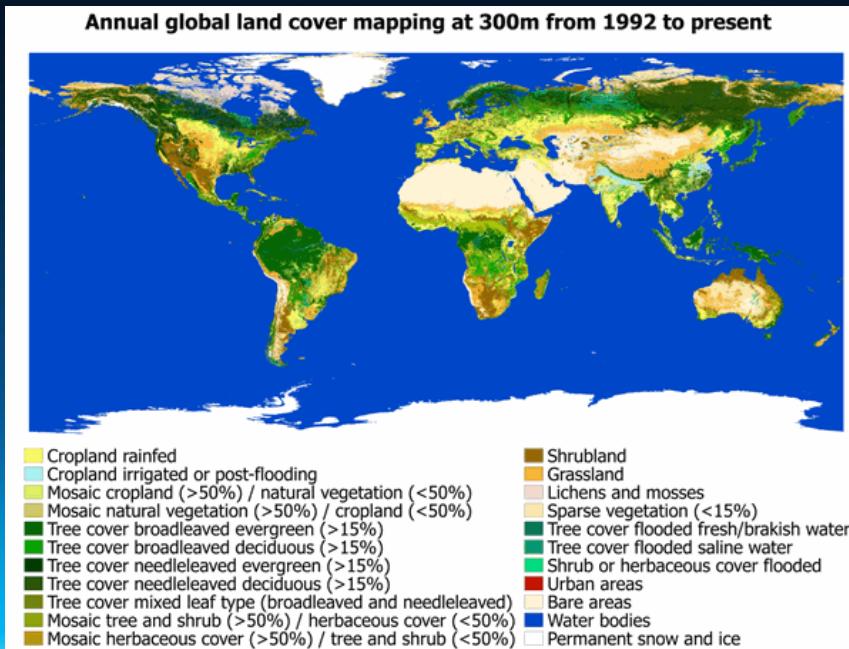
## European Space Agency, 2008



- Разрешение - 300 м
  - Средняя точность - 75%
  - Данные Envisat-MERIS
  - Обусловлена низкой плотностью данных и ограничениями
  - 22 класса по системе Land Cover Classification System (LCCS)

# Global Land Cover

Climate Change Initiative (European Space Agency), 2010



- Разрешение - 300 м
- Средняя точность - 71%
- Данные спутников MERIS, AVHRR, PROBA-V, Sentinel-2,3
- 22 класса по системе LCCS
- Охватывает временной период с 1992 по 2020 гг.

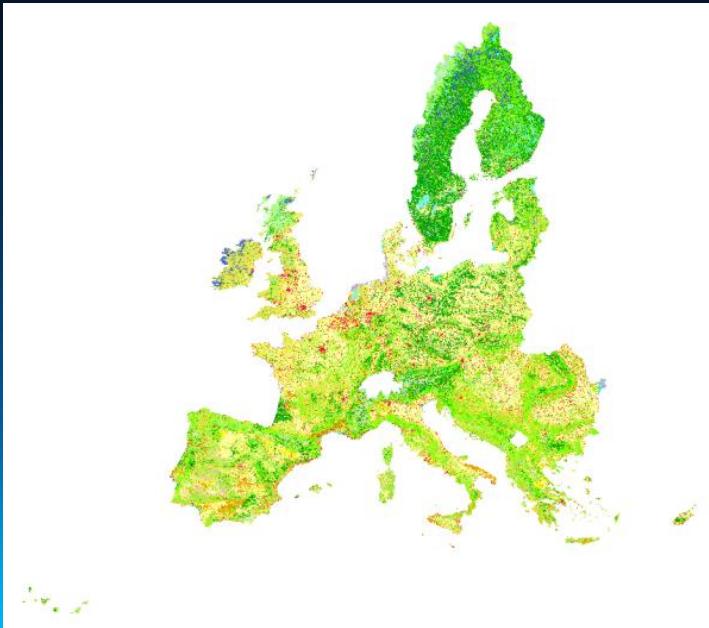
Карты ИКИ РАН (2016)



- Разрешение: 230 м
  - Данные MODIS Terra/Aqua
  - 23 класса
  - Локально-адаптивная классификация на основе метода случайных лесов
  - Ежегодно обновляется
  - Благодаря данному продукту были проведены работы по оценке запаса древесины, динамике лесного покрова и др.

# CORINE Land Cover

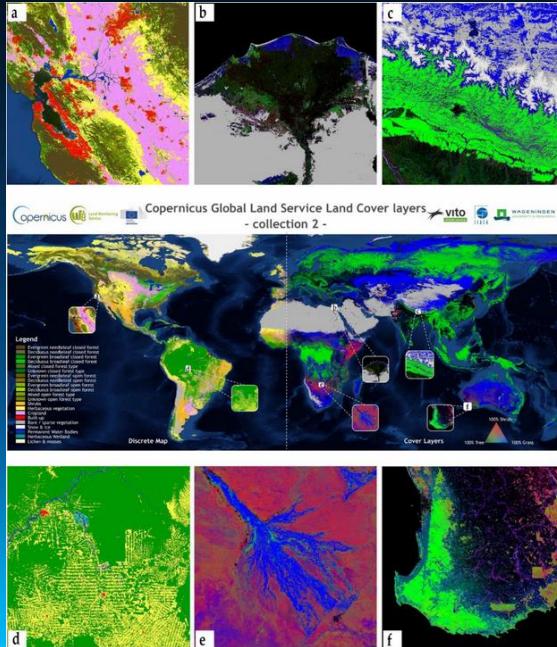
Coordination of Information on the Environment  
(European Commission), 1990



- Общеевропейская гармонизированная база данных о растительном покрове
- Разрешение: 100 м
- 44 класса растительного покрова
- Обновление: каждые 6 лет
- На основе различных спутниковых снимков и экспертных знаний научных сообществ стран Европы

# Global Land Cover Layers

Flemish Institute for Technological Research, Copernicus Programme, 2015



- Глобальный растительный покров на основе данных PROBA-V с разрешением 100 м
- Данные за 2015-2019 гг.
- 23 класса, алгоритм Random Forest
- Есть слой с изменениями в растительном покрове в разные годы и “Дробное покрытие функциональных типов растений”

Название	Год издания	Система ДЗЗ	ПР, м	Территория	Временной период	Обновл. (период.)	Кол-во классов	Модель	Точность, %
<i><b>CORINE Land Cover</b></i>	1990	Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-8 (ранее Landsat-5,7, SPOT-4,5, IRS P6, RapidEye)	100	Европа	1986-2018	6 лет	44	Semi-Automatic Computer Assisted Photointerpretation	92
<i><b>IGBP-DISCover</b></i>	1997	NOAA-AVHRR	1000	Глобальная	1992-1993	-	17	Unsupervised Classification	67
<i><b>GLC2000</b></i>	2003	SPOT-VEGETATION	1000	Глобальная	2000	-	21	Supervised & Unsupervised Classifications	69
<i><b>GlobCover</b></i>	2008	Envisat-MERIS	300	Глобальная	2004-2009	-	22	Spectro-Temporal Classification	73
<i><b>ESA CCI Land Cover</b></i>	2010	MERIS, AVHRR, PROBA-V, Sentinel-2,3	300	Глобальная	1992-2020	ежегодно	22	Spectro-Temporal Classifications	71
<i><b>MODIS Land Cover</b></i>	2010	MODIS (Terra, Aqua)	500	Глобальная	2001-2022	ежегодно	9-17	Decision Tree	75
<i><b>CGLS-LC100</b></i>	2015	PROBA-V	100	Глобальная	2015-2019	-	23	Random Forest	80
<i><b>Карты ИКИ РАН</b></i>	2016	MODIS (Terra, Aqua)	250	Северная Евразия	2001-2023	ежегодно	23	LAGMA	-

# Обзор работ

---

Данные среднего пространственного разрешения (30 м)

# National Land Cover Database

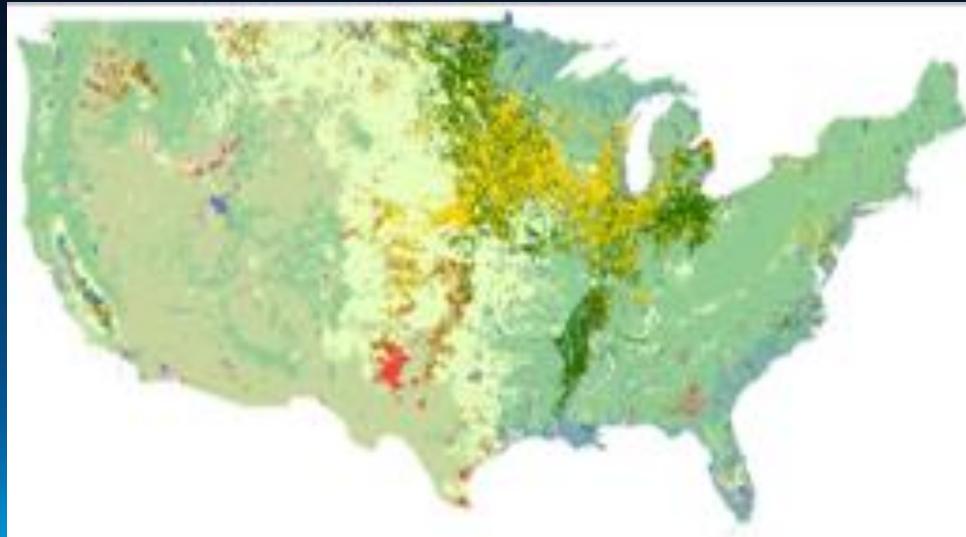
## U.S. Geological Survey, 2001



- Данные о растительном покрове США, основанные на Landsat, начиная с 1992 г.
- 16-20 классов растительного покрова по согласованной методологии США
- Обновляются раз в пару лет
- Используется методы контролируемой классификации Decision Tree

# Cropland Data Layers

United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service, 2008



- Ежегодная карта пахотных земель США с 1997 года по сей день
- Подробные классы сельскохозяйственных культур (около 133 классов), высокая точность (81%)
- Контролируемая классификация и алгоритмы машинного обучения (Decision Tree, Random Forest)

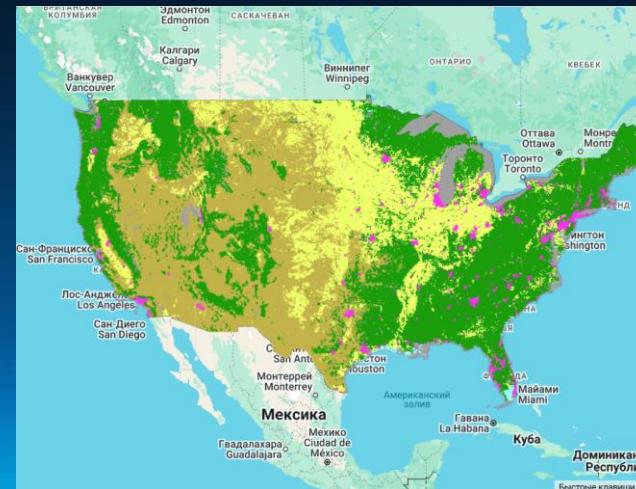
# Landscape Change Monitoring System

United States Forest Service (U.S. Department of Agriculture), 2012

## Land Cover



## Land Use

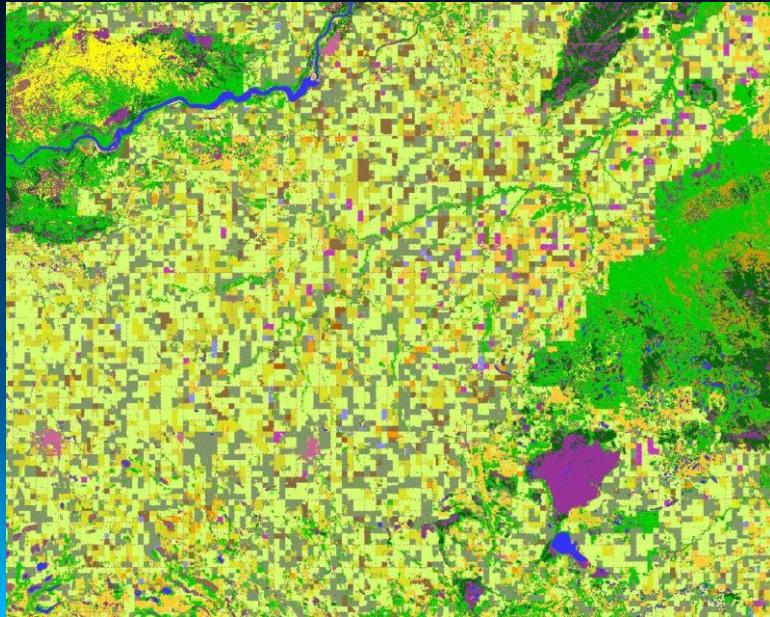


- Сервис по отслеживанию изменений лесов США

- Используются спутниковые данные Landsat и Sentinel, начиная с 1985 г.

# Annual Crop Inventory

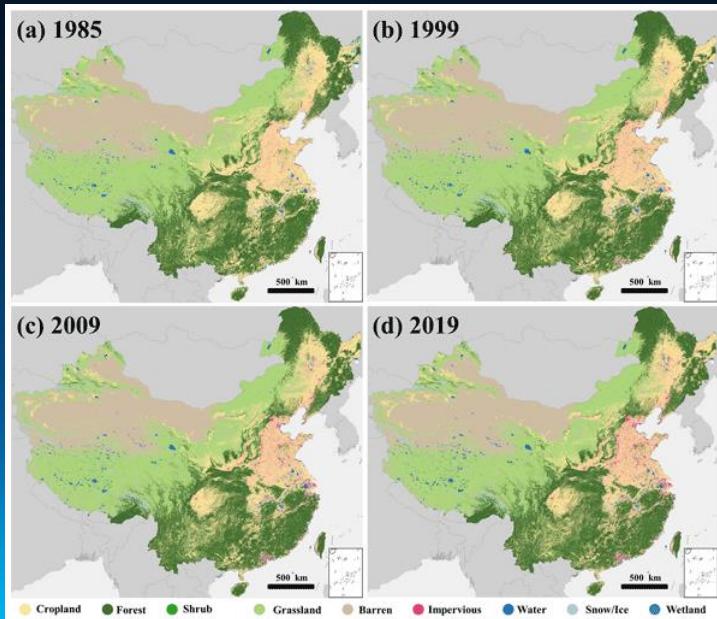
Agriculture and Agri-Food Canada, 2009



- Ежегодные карты сельскохозяйственных культур для южных регионов Канады с разрешением 30 м
- В разные времена использовались различные данные спутников. В последней версии: Landsat-8,9, Sentinel-2, RADARSAT
- 73 класса сельскохозяйственных культур и растительного покрова, которые обновляются ежегодно
- Классификация - Decision Tree; точность - 85%

# China Land Cover Dataset

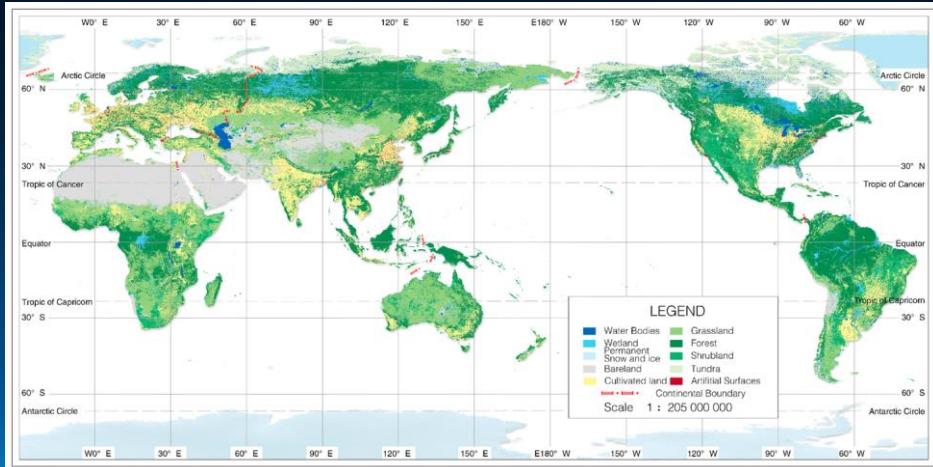
## Wuhan University (China), 2021



- Разрешение - 30 м
- Средняя точность - 79%
- 9 классов, специализированные для территории Китая
- Модель обработки - Random Forest
- Временной период - 1990-2019 гг.

# GlobeLand30

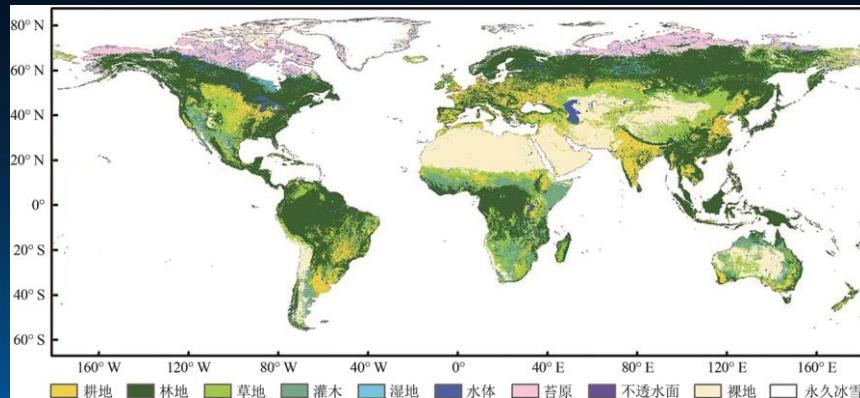
National Geomatics Center of China, 2015



- Временной период: 2000-2010-2020 годы, глобальный охват
- Данные снимков Landsat (TM, ETM+, OLI) и Huanjing 1
- 10 типов растительного покрова
- Классификация на основе пикселей и “объектов, основанных на знаниях” (РОК)
- Точность - 80%

# Annual Global Land Cover

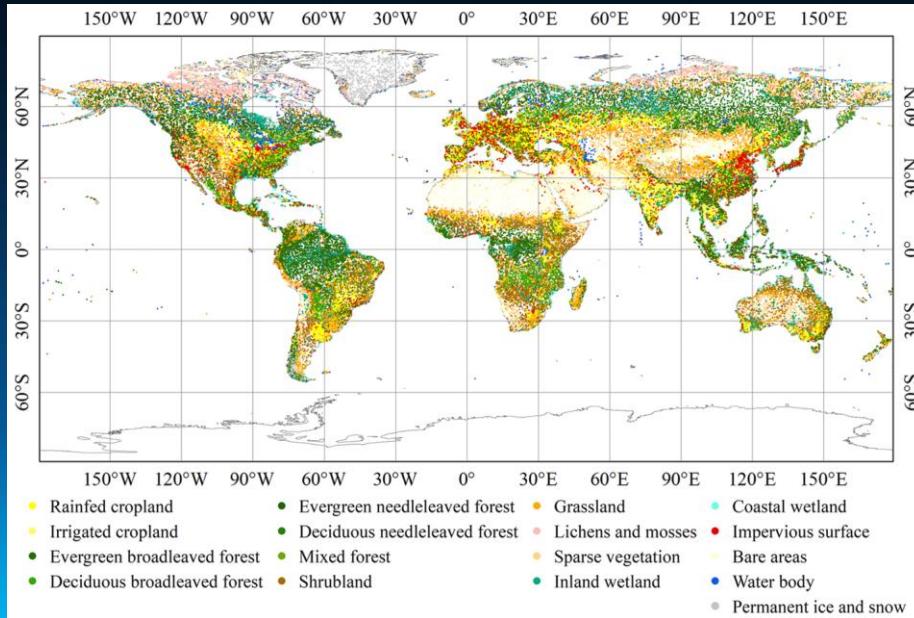
IGSNRR (Chinese Academy of Sciences), 2021



- Ежегодные глобальные карты растительного покрова за 2000-2015 гг., фиксация межгодовой динамики растительного покрова
- 10 основных классов
- Включает "уровень достоверности" для каждого пикселя, точность - 76%

# GLC\_FCS30D

Nanjing University (China), 2023

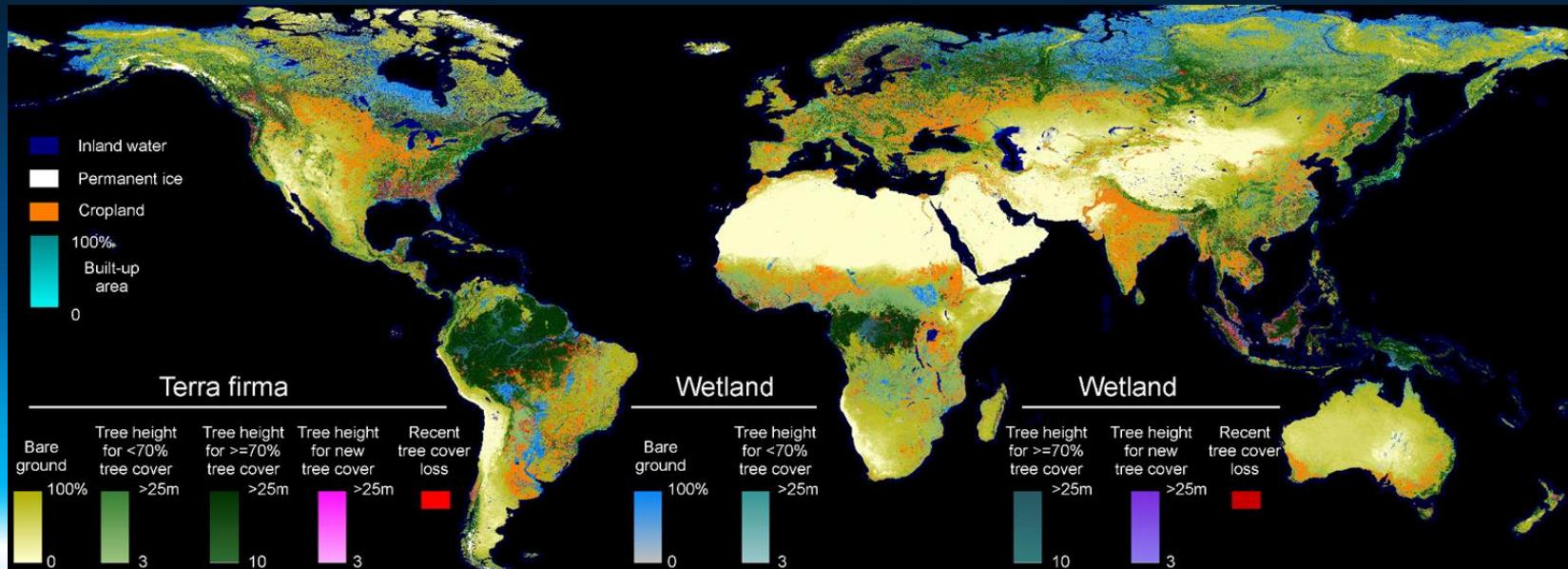


- Средняя точность - 81% для базовой классификации
- 35 классов
- Карта динамическая, т.е. позволяет анализировать изменения за период с 1985 по 2022 год
- до 2000 года обновлялась раз в 5 лет, после - ежегодно

# Global Land Cover and Land Use

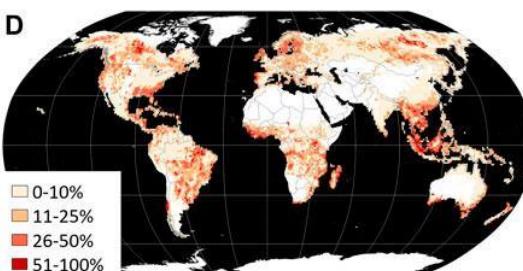
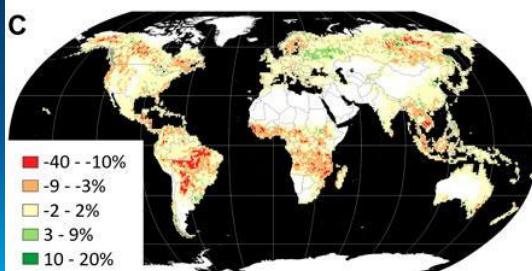
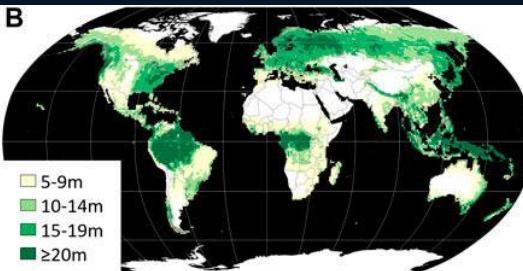
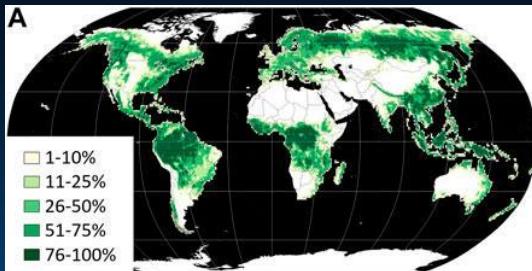
Global Land Analysis and Discovery (UMD GLAD, the USA), 2022

- Средняя точность - 78%;  
14 классов; данные за 2019 г.
- Разработана для глобального анализа землепользования, а также охраны природы



# Global Land Cover and Land Use Change

Global Land Analysis and Discovery (UMD GLAD, the USA), 2022



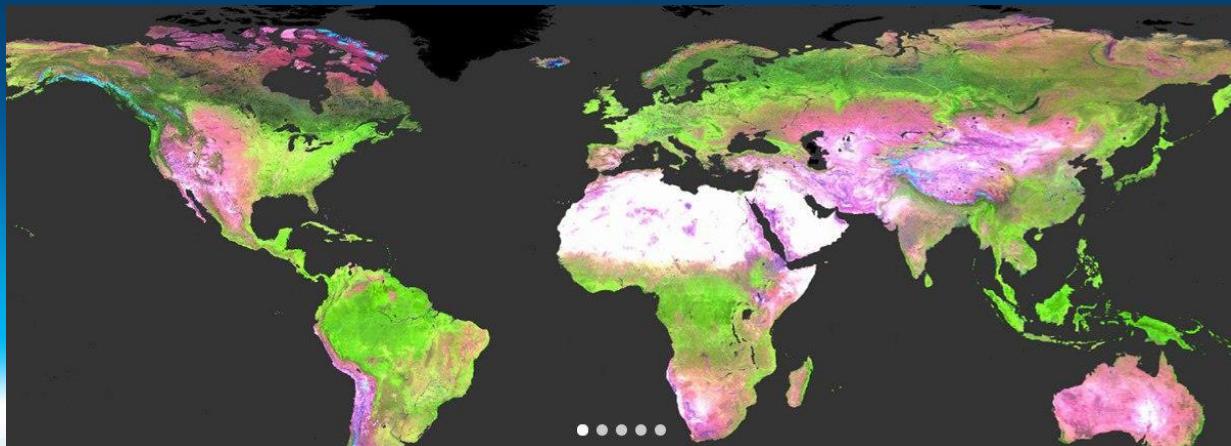
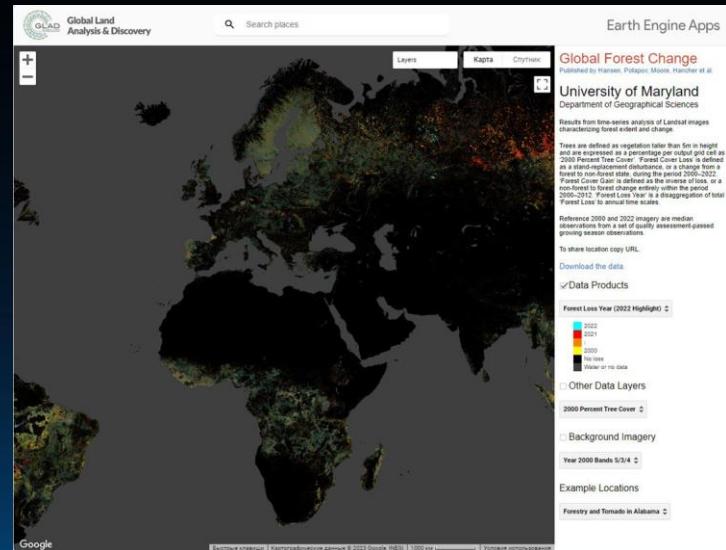
Площадь, структура и динамика лесов

- Выявление и характеристика динамики лесов, пахотных земель, застроенных земель, водных ресурсов, многолетнего снега и льда
- Использовались регрессионные модели, “деревья принятия решений”, свёрточные нейронные сети

# Global Forest Change

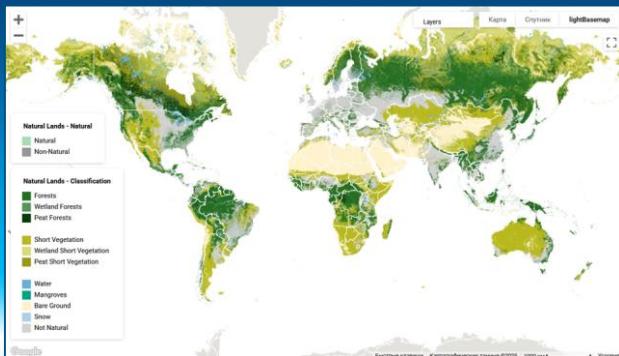
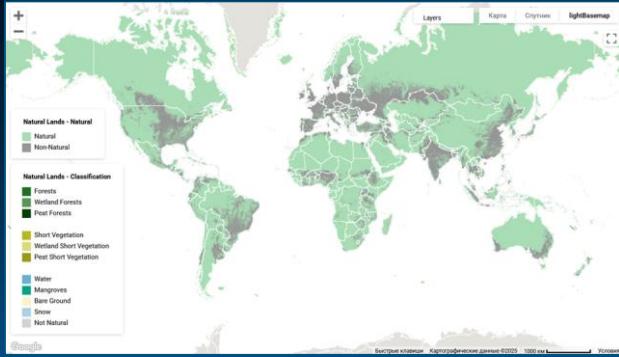
## University of Maryland (the USA), 2013

- Точность - 60%-95%
- Бинарная классификация
- Ежегодно обновляется
- Включает в себе данные о потере/приросте лесов, призвана улучшить управление лесами по всему земному шару



# SBTN Natural Lands Map

Land & Carbon Lab at the World Resources Institute, World Wildlife Fund US, Systemiq, and Science Based Targets Network, 2024



- Карты важнейших природных территорий, выпущенные в 2024 году по композитам Landsat и Sentinel с помощью серий оверлеев и заранее принятых правил принятия решений
- Поддерживает научно обоснованные цели в области охраны природы, определяет районы с высоким уровнем биоразнообразия и экосистемных услуг, фокусируется на практических выводах о сохранении
- Точность: 91%

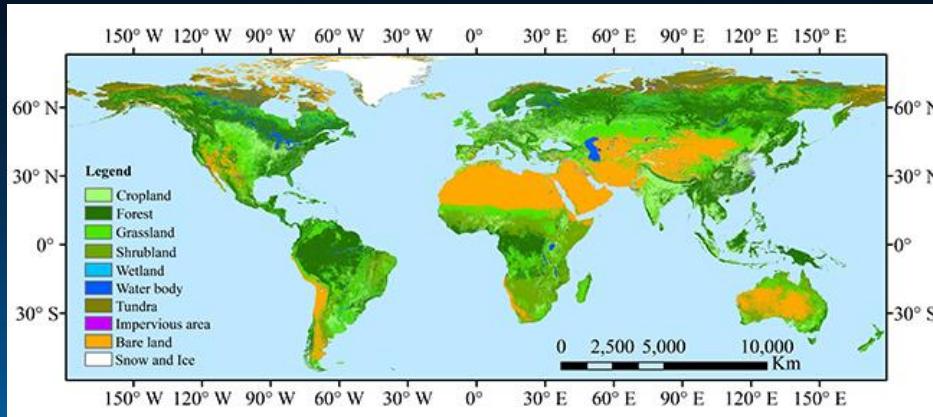
Название	Год издания	Система ДЗЗ	ПР, м	Территория	Временной период	Обновл. (период.)	Кол-во классов	Модель	Точность, %
<i>Global Forest Change</i>	2000	Landsat composites	30	Глобальная	2000-2024	ежегодно	2 (бинарная)	Decision Tree	60-95
<i>USGS NLCD</i>	2001	Landsat-4,5,7,8	30	США	1992-2021	2-3 года	2019 - 20 2021 - 16	Decision Tree	80
<i>USDA NASS CDL</i>	2008	Landsat-8,9, Sentinel-2	30	США	1997-2024	ежегодно	133	Decision Tree, с 2024 г. - Random Forest	81
<i>AAFC Annual Crop Inventory</i>	2009	Landsat-8,9, Sentinel-2, RCM (ранее AWIFS, DMC, Gaofen-1, Landsat-5, SPOT, RADARSAT-2)	30	Канада	2009-2023	ежегодно	73	Decision Tree	85
<i>USFS LCMS</i>	2012	Landsat-4,5,7,8,9, Sentinel-2	30	США	1985-2024	ежегодно	LC - 14, LU - 6	Random Forest, Ensemble CART	79
<i>GlobeLand30 (GLC30)</i>	2015	Landsat-4,5,7, Huanjing 1	30	Глобальная	2000-2020	10 лет	10	Pixel-Object-Knowledge	80
<i>CLCD</i>	2021	Landsat-5,7,8	30	Китай	1990-2019	-	9	Random Forest	79
<i>AGLC-2000-2015</i>	2021	Landsat-5,7,8	30	Глобальная	2000-2015	-	10	Random Forest	76
<i>GLCLUC (GLAD)</i>	2022	Landsat composites	30	Глобальная	2000-2020	-	5 + подклассы	Decision Tree, CNN, Regression Models	85
<i>GLCLU 2019 (GLAD)</i>	2022	Landsat composites	30	Глобальная	2019	-	14	Bagging Decision Tree Ensembles, U-Net CNN	78
<i>GLC_FCS30D</i>	2023	Landsat composites	30	Глобальная	1985-2022	ежегодно	35	Spatiotemporal Classification, Temporal-Consistency Optimization	81
<i>SBTN Natural Lands Map</i>	2024	Sentinel & Landsat composites	30	Глобальная	2020	-	11	Series of Overlays and Decision Rules	91

# Обзор работ

Данные высокого пространственного разрешения (10 м)

# GlobeLandCover10 (FROM-GLC10)

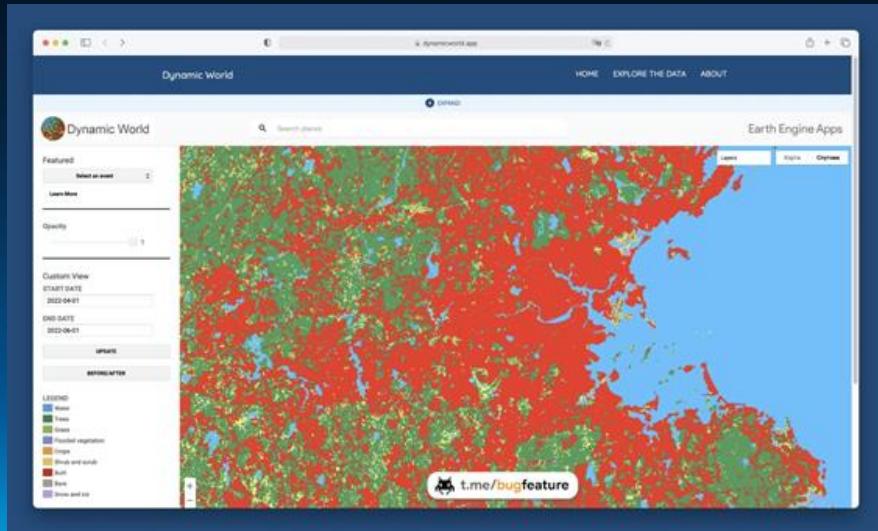
Department of Earth System Science (Tsinghua University, China),  
2017



- Растительный покров Земли с ПР 10 м на основе Sentinel-2
- Классификация 10 основных типов растительного покрова
- Данные за 2015 г., пока единственный экземпляр, но планируются ежегодные обновления
- Универсальный метод классификации на основе глубокого обучения

# Dynamic World

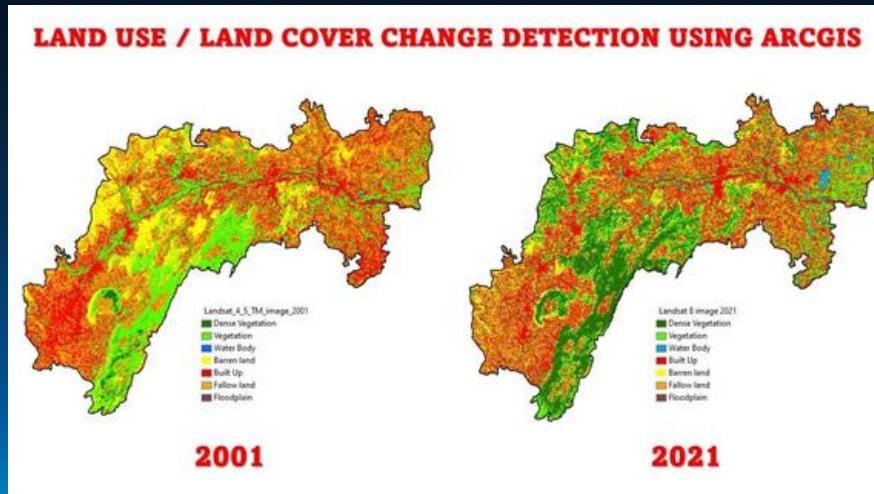
World Resources Institute, Google, 2020



- Данные о растительном покрове планеты в режиме реального времени (начиная с 2015 года)
- Бесплатное пользование с помощью облачной платформы Earth Engine
- 9 классов растительного покрова
- Временной ансамбль модели CNN с глубоким обучением
- Предоставляет вероятности классов, показывает неопределенность

# ESRI Land Use Land Cover

Impact Observatory, Microsoft, Esri, 2021



- Ежегодно обновляемый глобальный растительный покров
- Коммерческий продукт, доступный бесплатно через ArcGIS Living Atlas (полная интеграция с платформой ArcGIS)
- 9 классов растительного покрова
- Модель свёрточных нейронных сетей для глубокого обучения классификации

# ESA WorldCover

European Space Agency, 2021



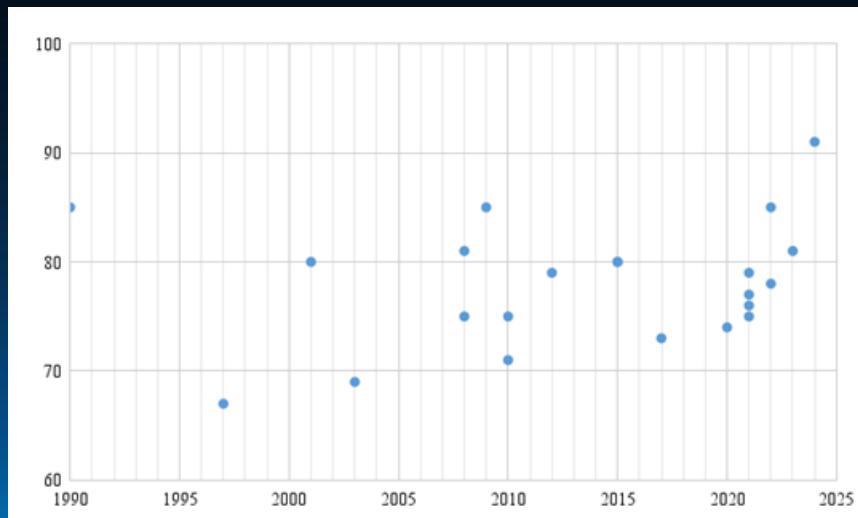
- Земной покров планеты, данные за 2020, 2021 годы
- Используются снимки Sentinel-1 (радарные) и Sentinel-2 (оптические), пространственное разрешение: 10 м
- 11 классов растительного покрова
- Метод: Gradient Boosting Decision Tree (CatBoost)

Название	Год издания	Система ДЗЗ	ПР, м	Территория	Временной период	Обновл. (период.)	Кол-во классов	Модель	Точность, %
<i>FROM-GLC10</i>	2017	Sentinel-2	10	Глобальная	2015	-	10	Stable Classification with Limited Global Sample	73
<i>Dynamic World</i>	2020	Sentinel-2	10	Глобальная	2015-2025	2-5 дней	9	Fully Convolutional Neural Network	74
<i>ESRI LULC</i>	2021	Sentinel-2	10	Глобальная	2017-2024	ежегодно	9	U-Net CNN	75
<i>ESA WorldCover</i>	2021	Sentinel-1,2	10	Глобальная	2020	-	11	CatBoost	77

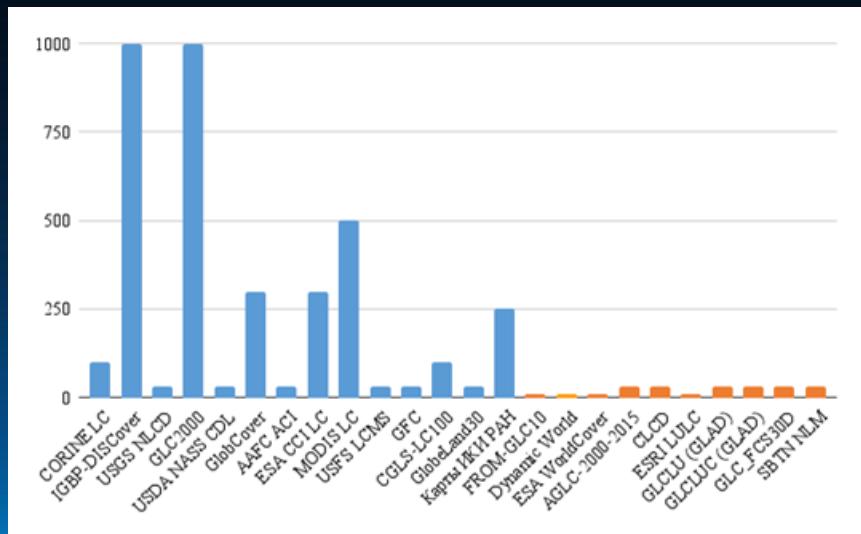
# Общий анализ

---

## Динамика точности (%)

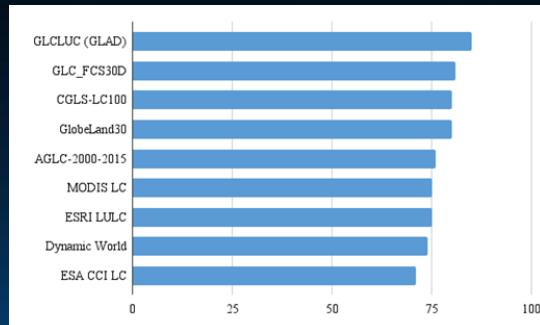


## Динамика ПР (м)

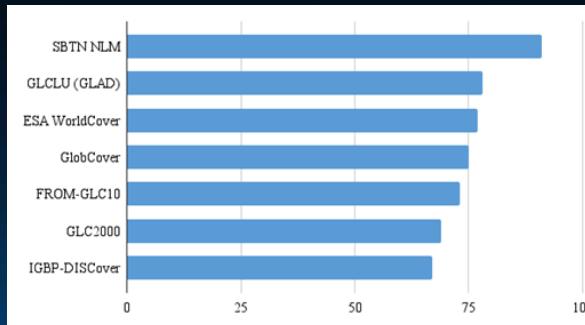


# Точность и временной охват

## глобальные серийные пр.

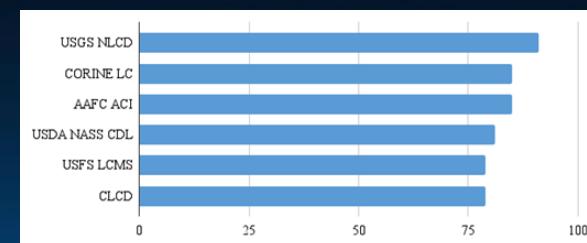


## глобальные статичные пр.

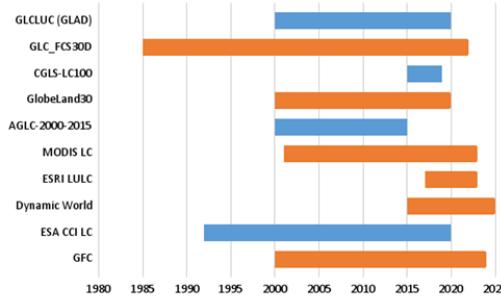


## региональные серийные

### продукты



■ не обновляется ■ обновляется



SBTN NLM

GLCLU (GLAD)

ESA WorldCover

GlobCover

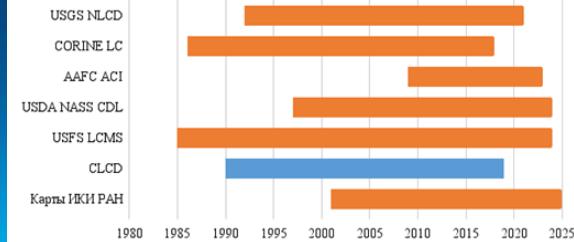
FROM-GLC10

GLC2000

IGBP-DISCover

1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025

■ не обновляется ■ обновляется



## Заключение

---

Проведенный обзор подтверждает ключевую роль картографических продуктов растительного покрова в мониторинге экосистем и оценке углеродного баланса. В ходе исследования были проанализированы продукты ландшафтного картографирования на основе данных ДЗЗ. Рассматривались классы ландшафтного покрова и типы землепользования, а также возможность применения различных алгоритмов машинного обучения, актуальность и обновляемость данных.

- В данной области наблюдается устойчивая положительная динамика: продукты постоянно совершенствуются, демонстрируя тенденцию к повышению пространственного разрешения и росту точности классификации за счет применения машинного обучения и мультисенсорных данных.
- Множество современных тематических продуктов содержит небольшое число классов (10-20). К основным относятся пахотные земли, леса, луга, кустарники, водно-болотные угодья, водоёмы, тундра, искусственные поверхности, голая земля, ледники и постоянный снег.

## Заключение

---

Глобальные карты с разрешением 10–30 метров обладают высоким потенциалом для использования в качестве базового слоя при составлении национального кадастра парниковых газов. Однако для обоснованного и достоверного применения этих спутниковых данных в климатической отчетности России необходимо решить ряд задач:

- Валидация существующих продуктов с учетом специфики российских природных зон.
- Сопоставление различных картографических наборов данных между собой и по годам.
- Согласование классов растительности в картах с категориями, используемыми в национальной методике расчета парниковых газов.



# **Обзор работ в области картографирования типов землепользования территории России по данным дистанционного зондирования Земли**

**Мятлев Алексей Алексеевич (ФКИ МГУ)  
Колобахин Михаил Юрьевич (ФКИ МГУ)  
Кашницкий Александр Витальевич (ИКИ РАН)**

Работа выполнена в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг»  
(госрегистрация № 122042500031-8)