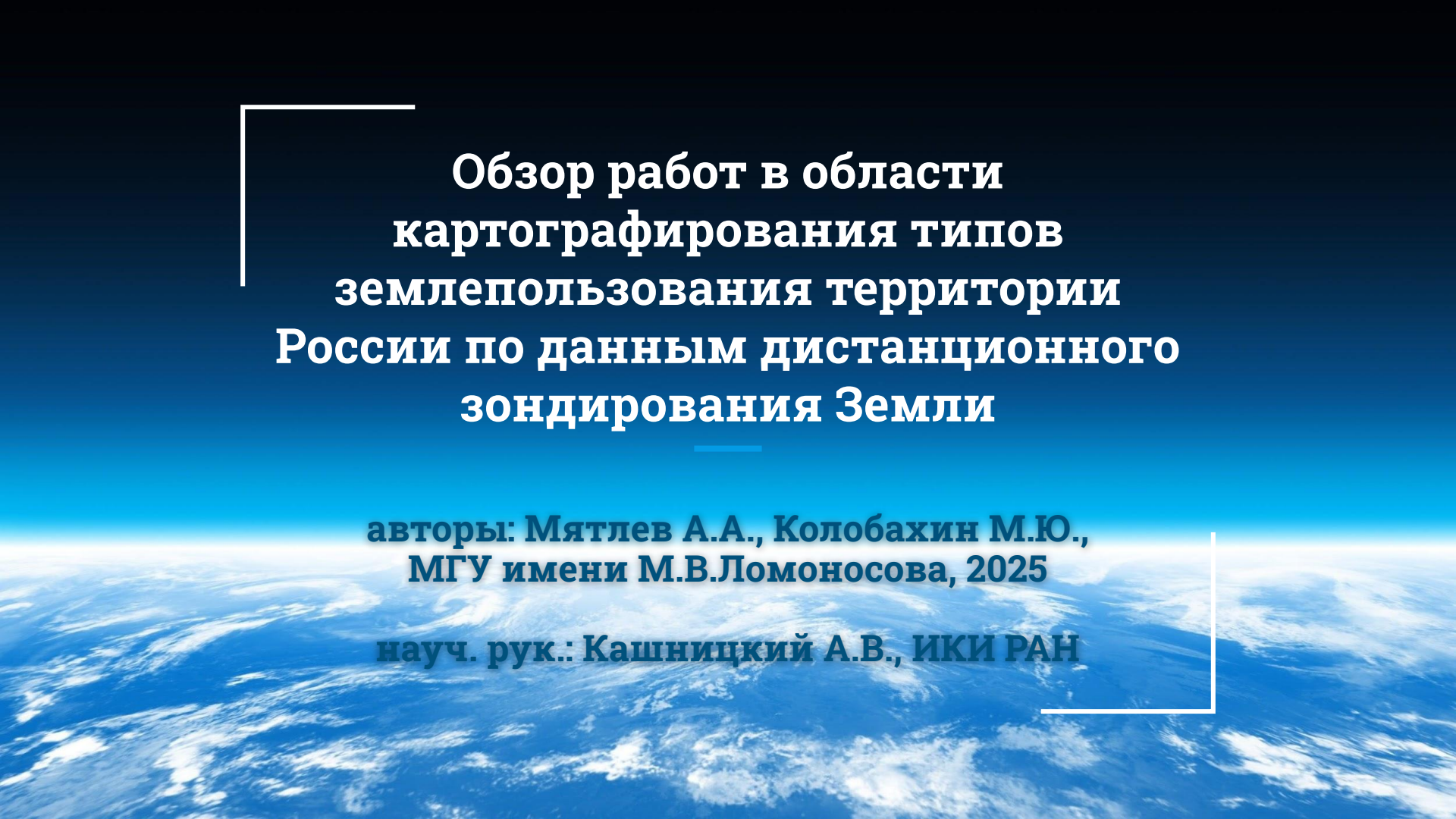


The background of the entire slide is a satellite image of Earth from space, showing swirling white clouds over a deep blue ocean. The horizon line is visible in the middle of the frame.

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

**авторы: Мятлев А.А., Колобахин М.Ю.,
МГУ имени М.В.Ломоносова, 2025**

науч. рук.: Кашницкий А.В., ИКИ РАН

Введение

Ландшафтные карты играют ключевую роль в управлении природными ресурсами и минимизации антропогенного воздействия на экосистемы. Они отображают естественные и антропогенные процессы на поверхности Земли.

Современные технологии, особенно методы дистанционного зондирования Земли, позволяют создавать детализированные карты на глобальном уровне с высоким пространственным разрешением. За последние 35 лет точность картографической обработки значительно возросла — с 60% до 90%, что улучшает качество в том числе ландшафтных карт.

Актуальность

Результаты исследования необходимы для оценки площадей ежегодных преобразований между категориями землепользования, что важно для расчёта выбросов и поглощений парниковых газов в секторе землепользования и лесного хозяйства. Эти оценки нужны для выполнения положений Парижского соглашения об изменении климата, принятого Россией.

Исследование позволит создать более точные карты категорий землепользования, что уточнит информацию о выбросах и поглощениях парниковых газов. Методы и результаты картографирования также могут быть полезны в государственном управлении и планировании.

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 работ

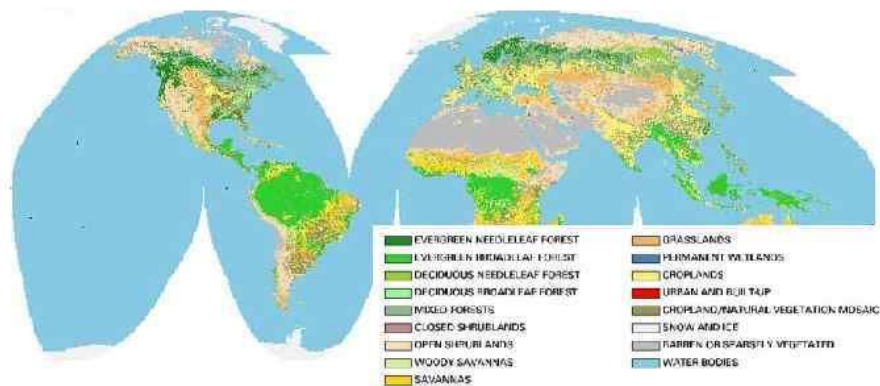
Данные низкого и среднего
пространственного разрешения (100+ м)

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 классах
- DISCover стал первым глобальным продуктом такого типа с документированной статистической проверкой точности

IGBP DISCover карта по данным AVHRR/NOAA

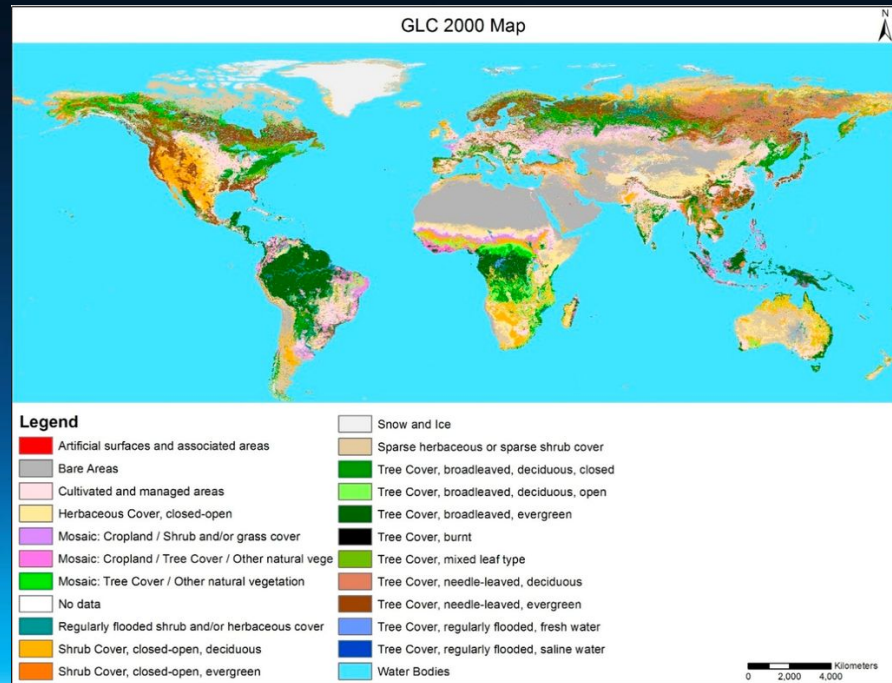


Глобальная карта типов земного покрова, полученная в рамках проекта IGBP DISCover по данным радиометра AVHRR со спутника серии NOAA

Global Land Cover 2000

Joint Research Centre (European Commission), 2005

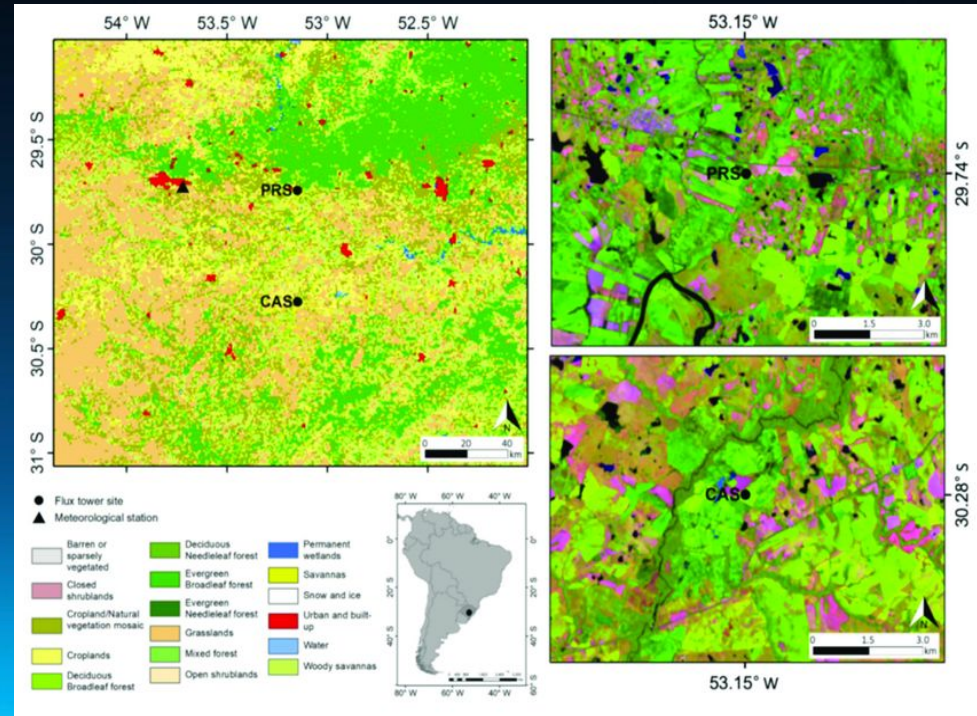
- Разрешение: 1 км; средняя точность: 69%
- Разрабатывался в рамках работ по глобальному картографированию всех континентов
- Обработка данных осуществлялась по данным с датчиков SPOT4-VEGETATION за 2000 г.
- Представлено 21 классами (и подклассами в зависимости от региона)



Global MODIS Land Cover

Boston University (the USA), 2010

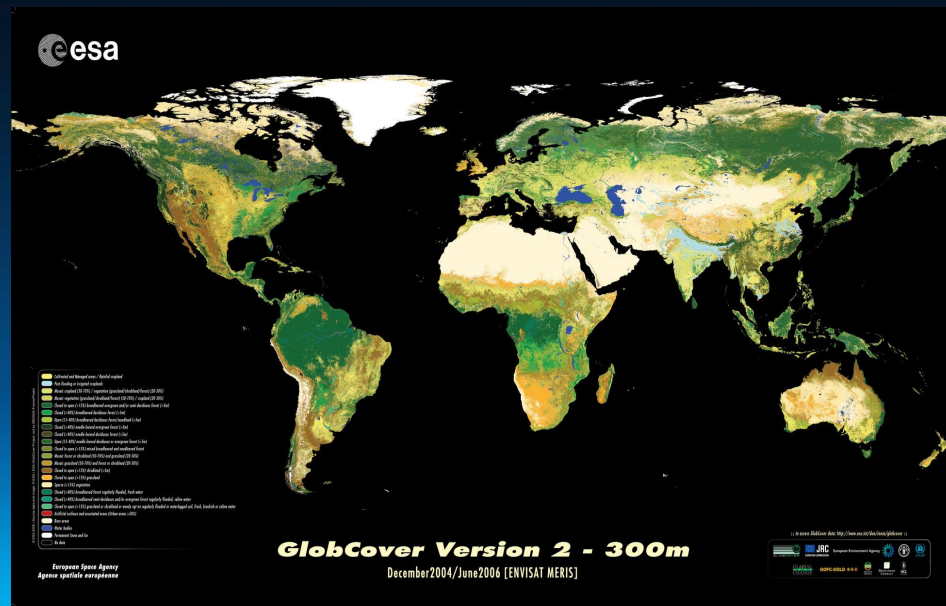
- Разрешение: 500 м; средняя точность: 75%
- 13 различных наборов данных и классификация по 6 схемам: IGBP, UMD, LAI, BGC, PFT, LCCS
- Ежегодные свежие данные с 2001 г.



GlobCover

European Space Agency, 2008

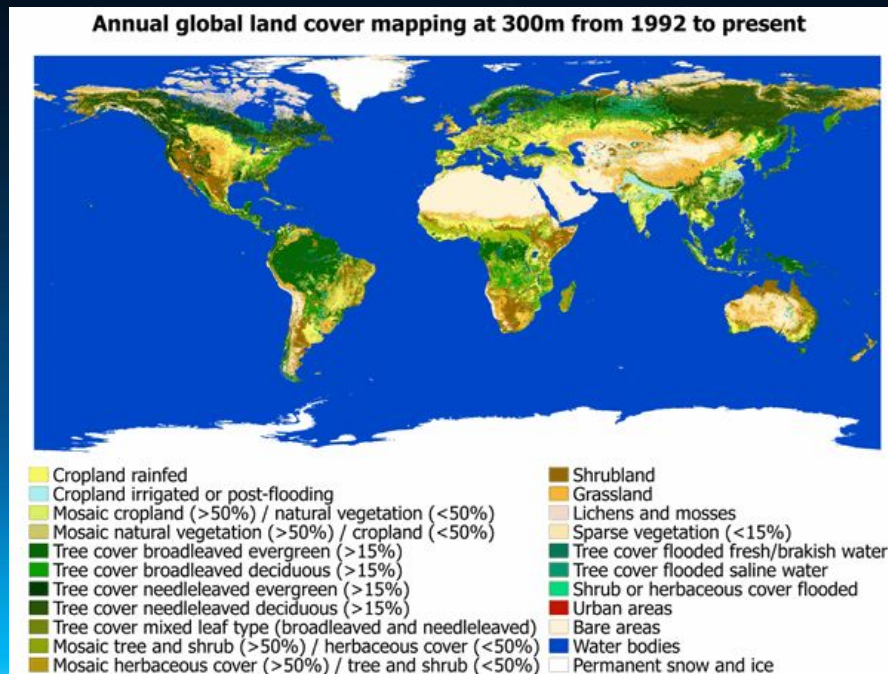
- Разрешение: 300 м; средняя точность: 67%
- Данные Envisat-MERIS
- Обусловлена низкой плотностью данных и ограничениями
- 22 класса по системе Land Cover Classification System (LCCS)



Global Land Cover

Climate Change Initiative (European Space Agency), 2010

- Разрешение: 300 м; средняя точность: 71%
- Данные спутников MERIS, AVHRR, PROBA-V, Sentinel
- 22 класса по системе LCCS
- Ежегодно обновляется с 1992 г.



Карты ИКИ РАН (2016)

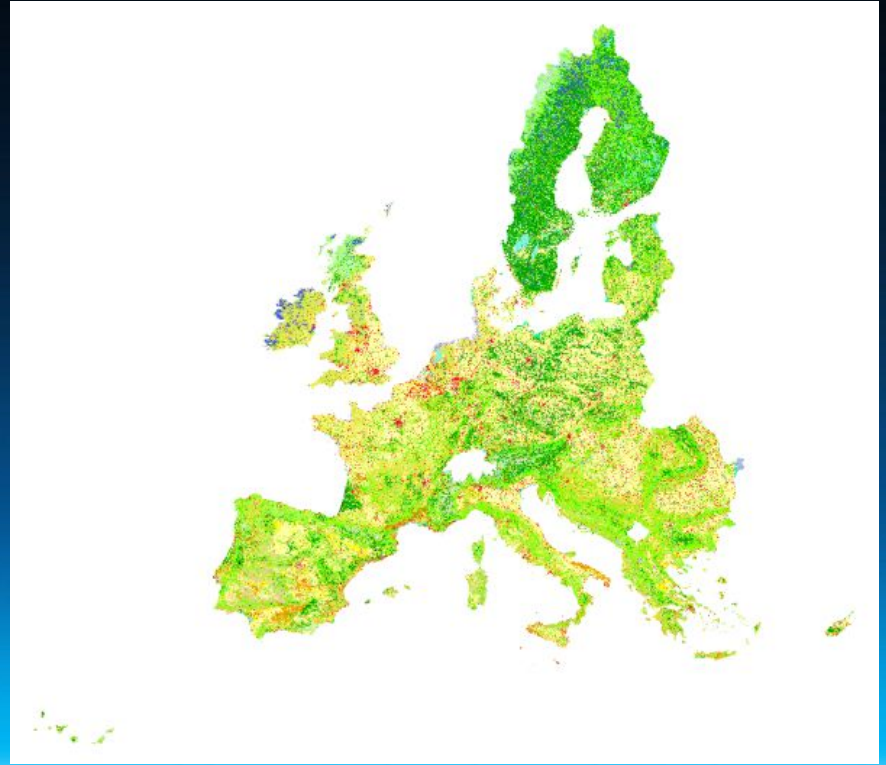
- Разрешение: 230 м
- Данные MODIS Terra/Aqua
- 23 класса
- Локально-адаптивная классификация на основе метода случайных лесов
- Ежегодно обновляется
- Благодаря данному продукту были проведены работы по оценке запаса древесины, динамике лесного покрова и др.



CORINE Land Cover

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

- Общоевропейская 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



Flemish Institute for Technological
Research, Copernicus Programme, 2015

-
- a**
- b**
- c**
- d**
- e**
- f**
- g**
- Legend**
- Evergreen needleleaf closed forest
 - Deciduous needleleaf closed forest
 - Evergreen broadleaf closed forest
 - Deciduous broadleaf closed forest
 - Mixed closed forest type
 - Subtropical closed forest type
 - Evergreen needleleaf open forest
 - Deciduous needleleaf open forest
 - Evergreen broadleaf open forest
 - Deciduous broadleaf open forest
 - Mixed open forest type
 - Subtropical open forest type
 - Shrubland
 - Herbaceous vegetation
 - Cropland
 - Bare / sparse vegetation
 - Snow & ice
 - Permanently water bodies
 - Intermittent wetland
 - Lichen & mosses
- Discrete Map**
- Cover Layers**
- 100% Tree
- 100% Grass

Название	Год издания	Система ДЗЗ	ПР, м	Территория	Временной период	Обновл. (период.)	Кол-во классов	Модель	Точность, %
<i>CORINE Land Cover</i>	1990	Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-8 (в прошлом использовались Landsat-5,7, SPOT-4,5, IRS P6, RapidEye)	100	Европа	1986-2018	6 лет	44	Computer Assisted Photointerpretation (CAPI)	85
<i>IGBP-DISCover</i>	1997	NOAA-AVHRR	1000	Глобальная	1992–1993	-	17	Unsupervised Classification	67
<i>GLC2000</i>	2003	SPOT-VEGETATION	1000	Глобальная	2000	-	21	Supervised and Unsupervised Classifications	69
<i>GlobCover</i>	2008	Envisat-MERIS	300	Глобальная	2004-2009	-	22	Spectro-Temporal Classification	67
<i>CCI Land Cover</i>	2010	MERIS, AVHRR, PROBA-V, Sentinel-2,3	300	Глобальная	1992-2020	1 год	22	Spectro-Temporal Classifications	71
<i>MODIS Land Cover</i>	2010	MODIS (Terra, Aqua)	500	Глобальная	2001-2022	1 год	9-17	Decision Tree	75
<i>CGLS-LC100</i>	2015	PROBA-V	100	Глобальная	2015-2019	-	23	Random Forest	80
<i>Карты ИКИ РАН</i>	2016	MODIS (Terra, Aqua)	230	Северная Евразия	2001-2023	1 год	23	LAGMA	?

Обзор работ

Данные высокого пространственного
разрешения (30 м)

National Land Cover Database

U.S. Geological Survey, 2001

- Данные о растительном покрове США, основанные на Landsat (разрешение 30 м), начиная с 1992 года и доступные в свободном доступе
- 16-20 классов растительного покрова по согласованной методологии США
- Обновляются раз в пару лет
- Используются методы контролируемой классификации и “деревья решений”



Cropland Data Layers

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

- Ежегодная карта пахотных земель США, начиная с 2008 года
- Разрешение 30 м на основе Landsat, в свободном доступе
- Подробные классы сельскохозяйственных культур (более 100 классов), высокая точность (81%)
- Контролируемая классификация и алгоритмы машинного обучения (Decision Tree, Random Forest)



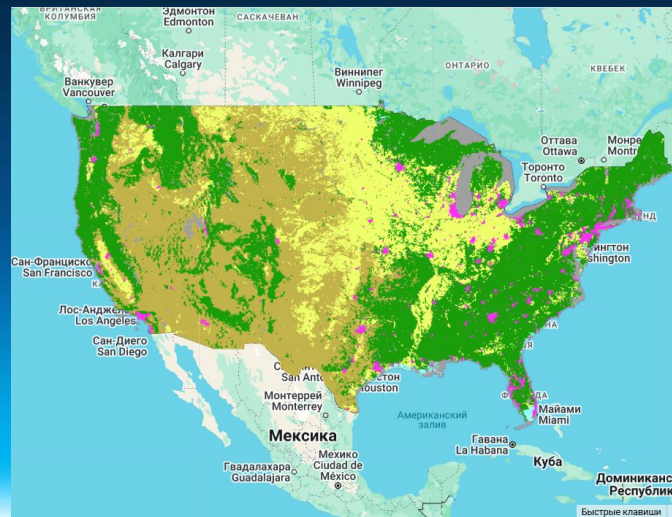
Landscape Change Monitoring System

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

- Сервис по отслеживанию изменений и беспорядков лесов США
- Спутниковые данные: Landsat и Sentinel, начиная с 1985 года



Land Cover

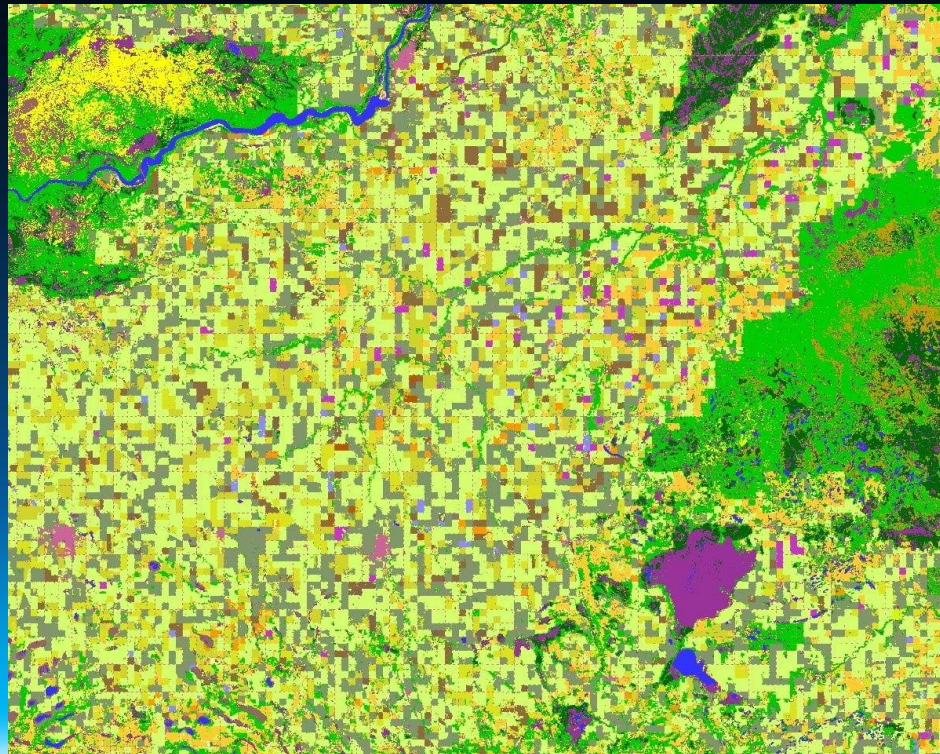


Land Use

Annual Crop Inventory

Agriculture and Agri-Food Canada, 2009

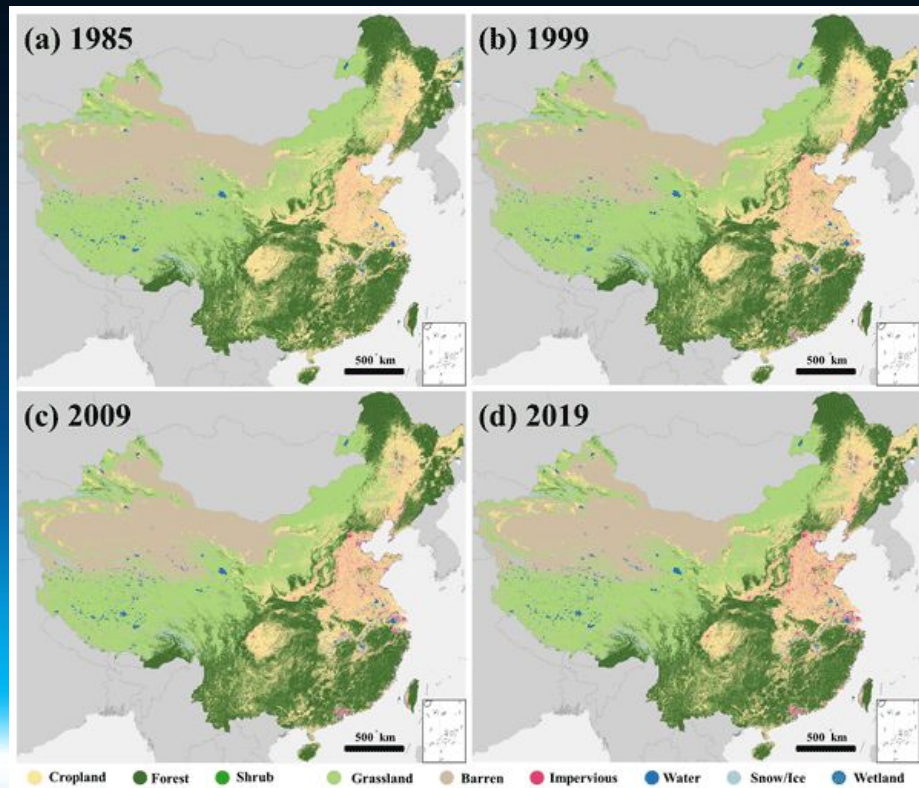
- Ежегодные карты сельскохозяйственных культур для южных регионов Канады с разрешением 30 м
- В разные времена использовались различные данные спутников. В последней версии: Landsat-8,9, Sentinel-2, RADARSAT
- 73 класса сельскохозяйственных культур и растительного покрова, которые обновляются ежегодно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



China Land Cover Dataset

Wuhan University (China), 2021

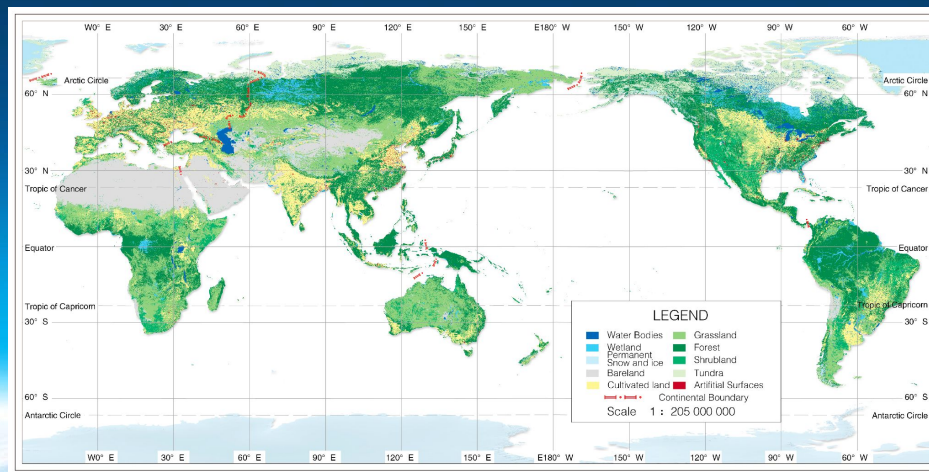
- Разрешение: 30 м
- Средняя точность: 79%
- 9 классов, специализированные для территории Китая
- Данные: Landsat
- Модель обработки: Random Forest



GlobeLand30

National Geomatics Center of China, 2015

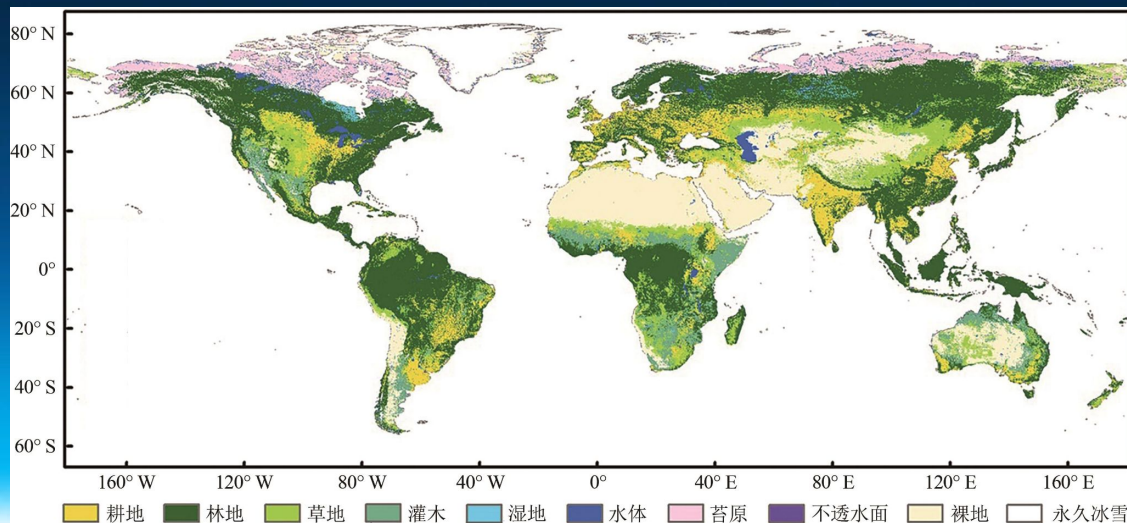
- Пространственное разрешение: 30 м, временной период: 2000-2010-2020 годы, глобальный охват
- Данные снимков Landsat (TM, ETM+, OLI) и Huanjing 1
- 10 типов растительного покрова
- Классификация на основе пикселей и объектов, основанная на знаниях (ПОК)
- Точность: 80%



Annual Global Land Cover

IGSNRR (Chinese Academy of Sciences), 2021

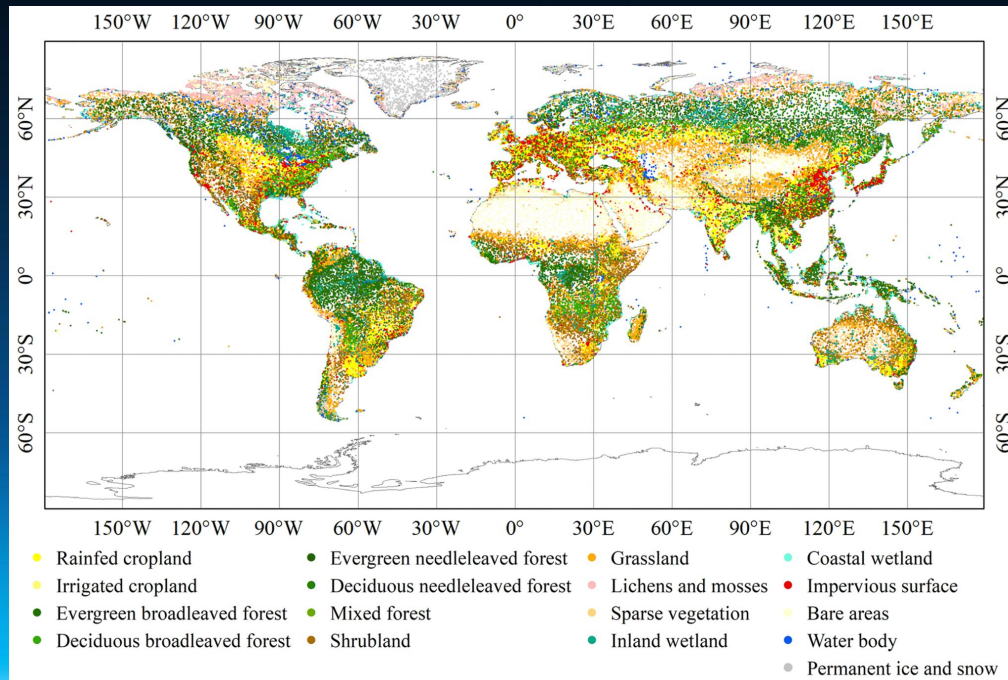
- Ежегодные глобальные карты растительного покрова за 2000-2015 гг., фиксация межгодовой динамики растительного покрова
- Разрешение: 30 м
- 10 основных классов
- Включает "уровень достоверности" для каждого пикселя



GLC_FCS30D

Nanjing University (China), 2023

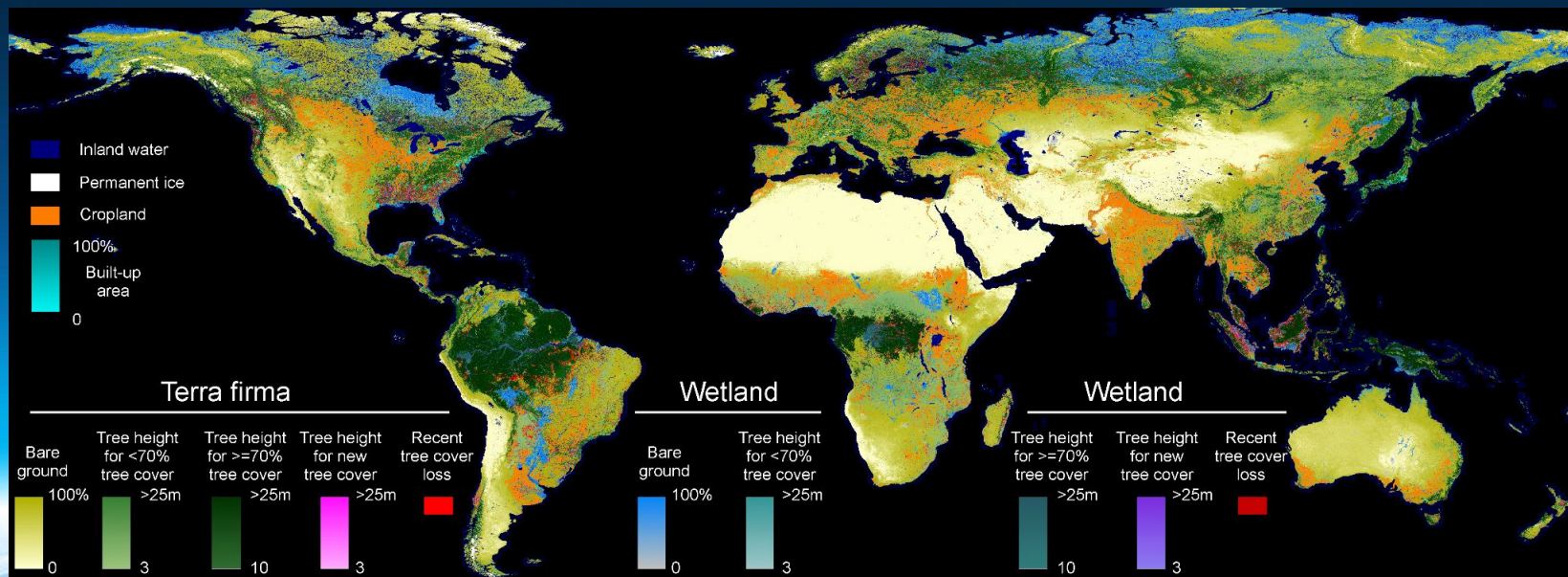
- Разрешение: 30 м; средняя точность: 81% для базовой классификации и 73% для LCCS;
- 35 классов;
- динамическая, т.е. позволяет анализировать изменения за период с 1985 по 2022 год
- до 2000 года обновлялась раз в 5 лет, после - ежегодно



Global Land Cover and Land Use

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

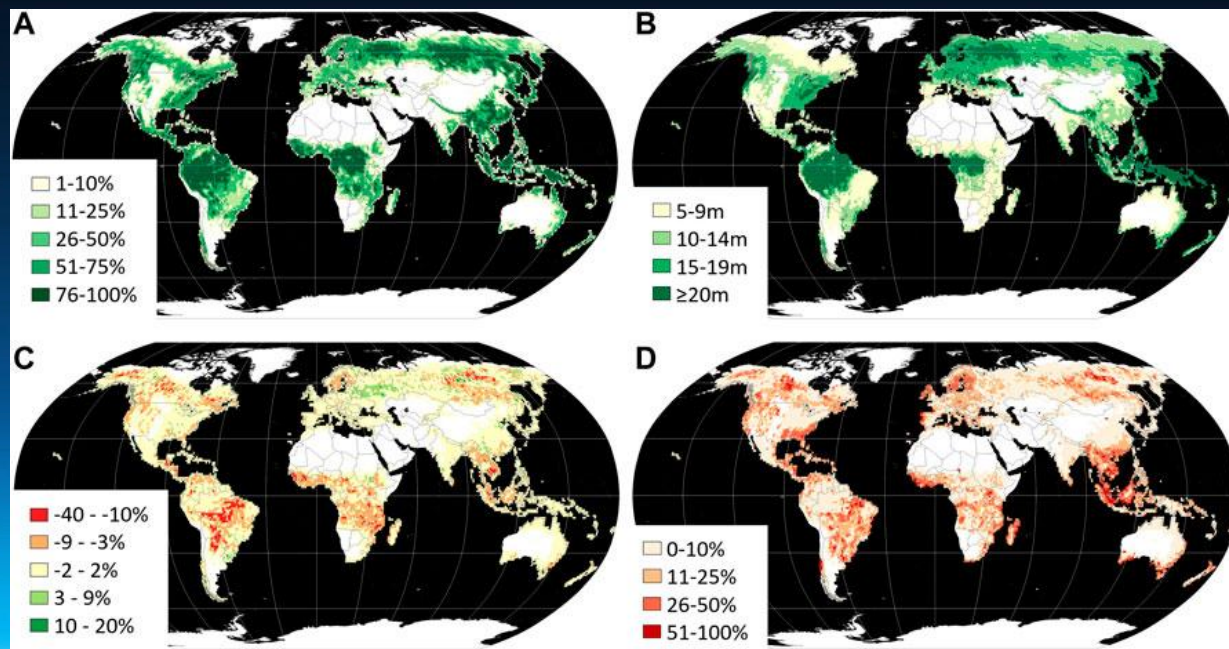
- Разрешение: 30 м; средняя точность: 78%; 19 классов; данные за 2019 г.
- Разработана для глобального анализа землепользования, а также охраны природы (Сыграла ключевую роль в сокращении вырубки лесов бассейна Амазонки!)



Global Land Cover and Land Use Change

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

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

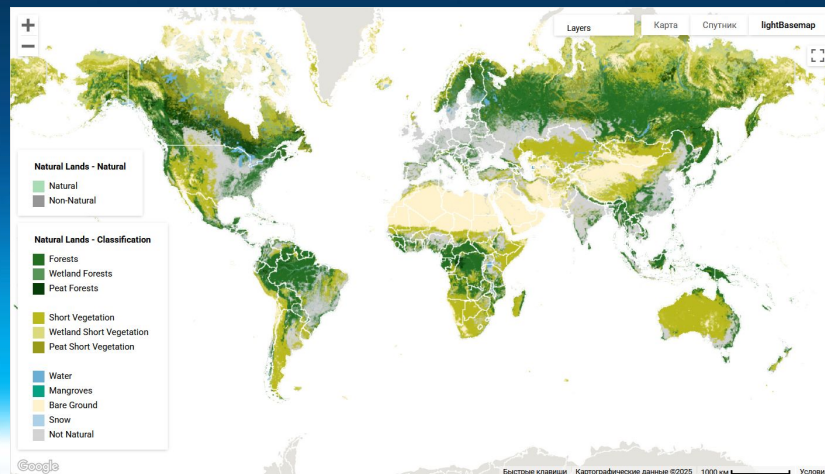
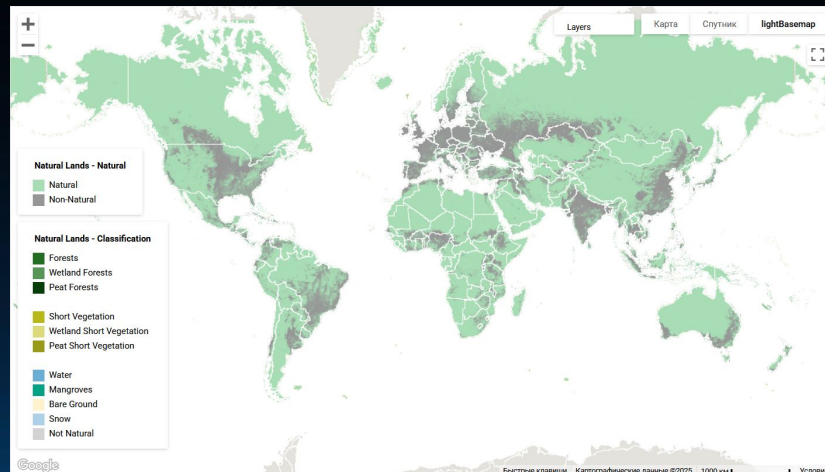


Площадь, структура и динамика лесов

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>USGS NLCD</i>	2001	Landsat-4,5,7,8	30	США	1992-2021	2-3 года	2019 - 20 2021 - 16	Decision Tree	91
<i>USDA NASS CDL</i>	2008	Landsat-8,9, Sentinel-2	30	США	1997-2024	1 год	133	Decision Tree (с 2024 г. - Random Forest)	81
<i>AAFC Annual Crop Inventory</i>	2009	Landsat-8,9, Sentinel-2, RCM (в прошлом использовались AWiFS, DMC, Gaofen-1, Landsat-5, SPOT, RADARSAT-2)	30	Канада	2009-2023	1 год	73	Decision Tree	85
<i>USFS LCMS</i>	2012	Landsat-4,5,7,8,9, Sentinel-2	30	США	1985-2023	1 год	LC - 14, LU - 6	Random Forest, Ensemble of CART Models	79
<i>GlobeLand30 (GLC30)</i>	2015	Landsat-4,5,7, Huanjing 1	30	Глобальная	2000-2020	10 лет	10	Pixel-Object- Knowledge (POK)- based Approach	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>GLAD GLC_LUC</i>	2022	Landsat composite	30	Глобальная	2000-2020	-	5 + подклассы	Decision Tree, CNN, Regression Models	85
<i>GLAD GLCLU</i>	2022	Landsat composite	30	Глобальная	2019	-	14	Bagging Decision Tree Ensembles, U-Net CNN	78
<i>GLC_FCS30D</i>	2023	Landsat composite	30	Глобальная	1985-2022	1 год	35	Spatiotemporal Classification (Temporal- Consistency Optimization)	81
<i>SBTN Natural Lands Map</i>	2024	Sentinel and Landsat composites	30	Глобальная	2020	-	11	Series of Overlays and Decision Rules	91

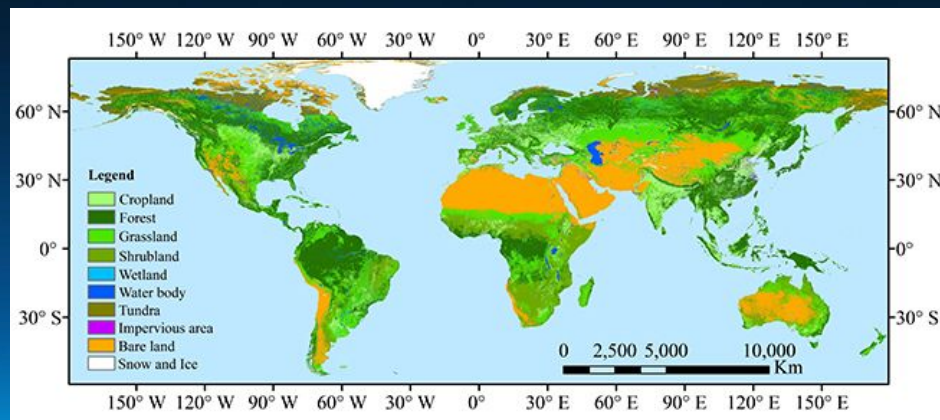
Обзор работ

Данные детального
пространственного разрешения (10 м)

GlobeLandCover10 (FROM-GLC10)

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

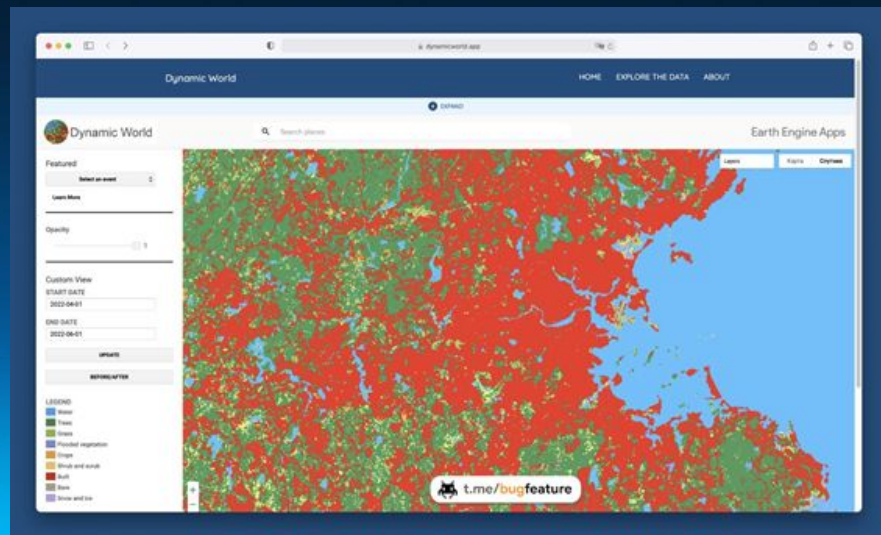
- Растительный покров Земли с ПР 10 м на основе Sentinel-2
- Классификация 10 основных типов РП
- Опубликован в 2017 г. за 2015 г., пока единственный экземпляр, но планируются ежегодные обновления
- Универсальный метод классификации на основе глубокого обучения



Dynamic World

World Resources Institute, Google, 2020

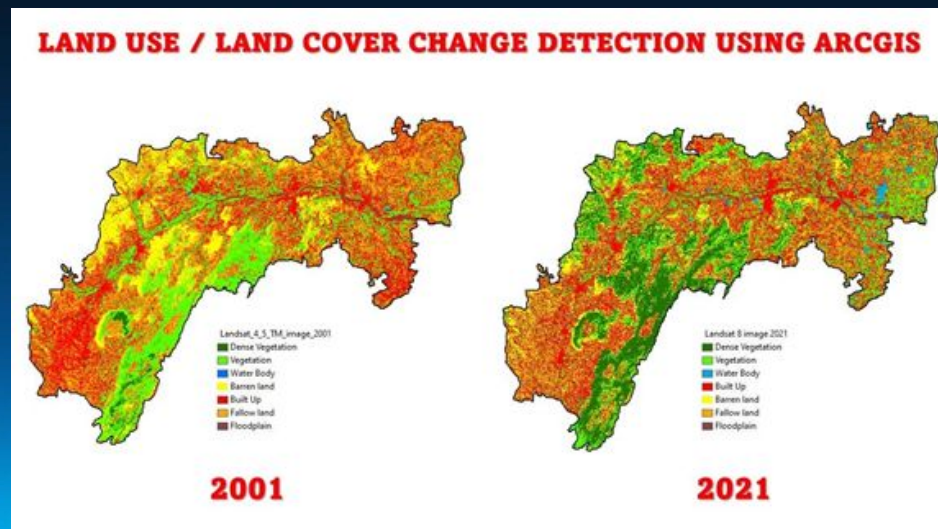
- Данные о растительном покрове планеты в режиме реального времени (начиная с 2015 года)
- Бесплатное пользование с помощью облачной платформы Earth Engine
- На основе Sentinel-2, разрешение 10 м
- 9 классов растительного покрова
- Временной ансамбль модели CNN с глубоким обучением
- Предоставляет вероятности классов, показывает неопределенность



ESRI Land Use Land Cover

Impact Observatory, Microsoft, Esri, 2021

- Глобальный растительный покров, созданный в 2020 г. и ежегодно обновляемый
- Коммерческий продукт, доступный бесплатно через ArcGIS Living Atlas (полная интеграция с платформой ArcGIS)
- Спутниковые снимки Sentinel-2 (10 м)
- 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
- В свободном доступе
- 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	1 год	9	Convolutional Neural Network - UNet	75
<i>ESA WorldCover</i>	2021	Sentinel-1,2	10	Глобальная	2020-2021	-	11	Gradient Boosting Decision Tree (CatBoost)	77

Аналитика

ИП, М

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

0

1990

1997

2001

2003

2003

2003

2003

2009

2010

2010

2012

2015

2015

2016

2017

2020

2021

2021

2021

2021

2022

2022

2023

2024

Corine
Land
Cover

IGBP-
DISC
Cover

USGS
NLCD

GLC2
000

USDA
NASS
CDL

Glob
Cover

AAFC
Annual
Crop
Inventory

CCI
Land
Cover

MODIS
Land
Cover

USFS
LCMS

GlobeLand
30

CGLS
+
LC10

Капы
ПРК
ПАК

GlobeLand
30

Dyna
mic
World

CLCD

AGLC

ESRI
LULC

ESA
World
Cover

GLC
U

GLC
LUC

GLC
F33

SBTN
Natural
Land
Map

1000

1000

300

300

500

100

230

10

10

30

30

10

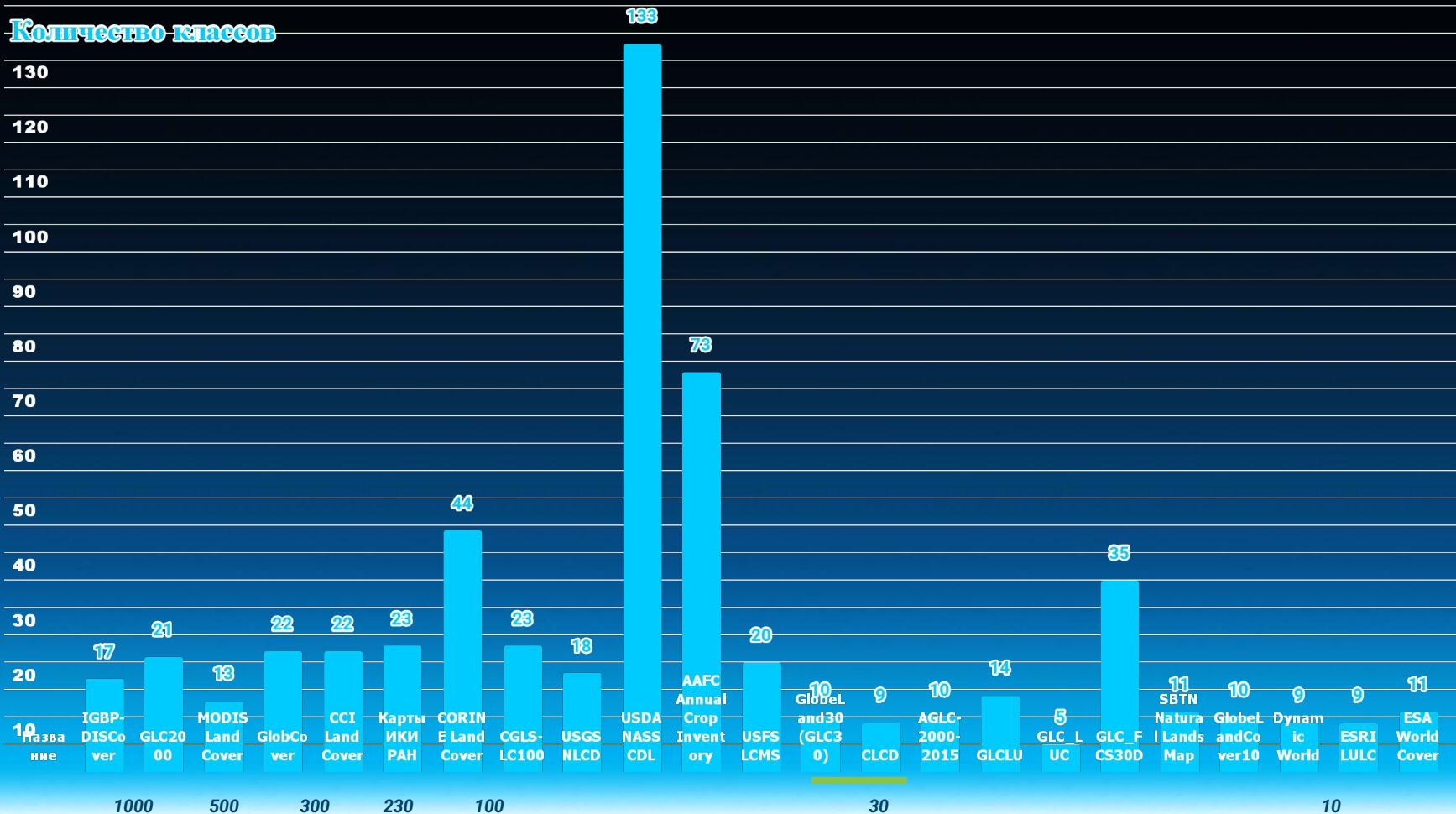
30

30

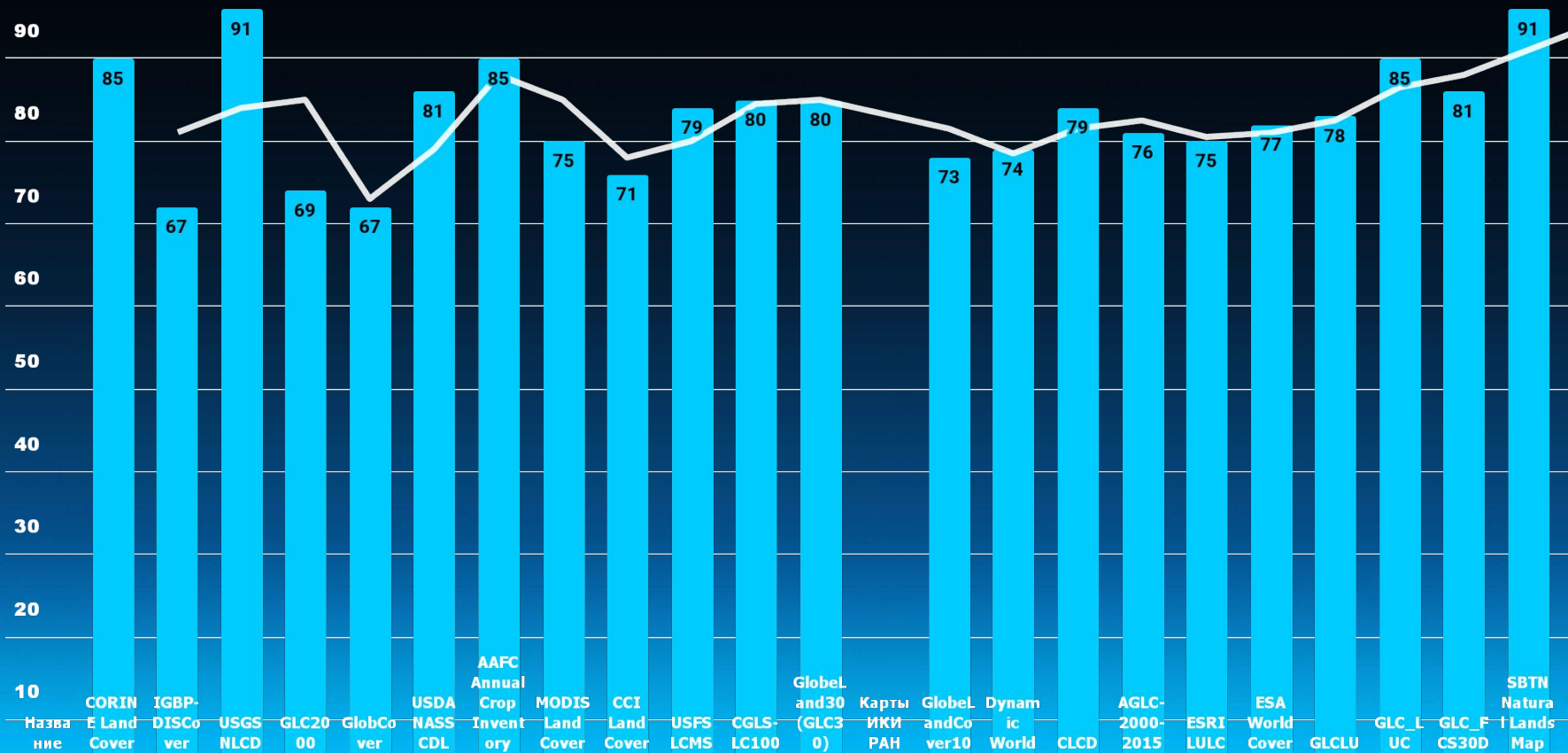
30

30

Количество классов



Ср. точность, %



Заключение

В ходе исследования были проанализированы продукты ландшафтного картографирования на основе данных ДЗЗ, с акцентом на глобальные и региональные решения, сопоставимые с Россией. Рассматривались классы ландшафтного покрова и типы землепользования, а также возможность применения различных алгоритмов машинного обучения, актуальность и обновляемость данных.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

- Многие наборы данных начали формироваться в 1990-х годах, однако их активное развитие произошло в первое десятилетие XXI века. Была тенденция на уменьшение пространственного разрешения и увеличение территориального охвата. Начиная с 2010-х годов, акцент был сделан на применение более точных моделей и использование усовершенствованных методов и алгоритмов.
- 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

Для нашей задачи существующие решения не подходят по нескольким причинам:

- Необходимо выделить всего 6 основных классов.
- Исследование проводится на данных высокого пространственного разрешения для России, что требует учета специфики данных и высокой точности.
- Нет универсальной модели машинного обучения и отсутствуют четкие технические характеристики алгоритмов для их воспроизведения, что заставляет разрабатывать и обучать собственный метод.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо самостоятельно освоить методологию создания карт землепользования, опираясь на существующий мировой опыт и обзор.

Готовы ответить на ваши вопросы!

Мятлев А.А: +7 (903) 735-73-53 | aamyat@mail.ru
Колобахин М.Ю: +7 (996) 623-29-00 | ursus.lore@gmail.com
Кашницкий А.В.: kashnizky@gmail.com

МГУ имени М.В.Ломоносова, 2025