ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ · ИКИ РАН

# Спутниковые карты землепользования России

что доступно и насколько им можно доверять

**А.В. Кашницкий**

kashnitskii@d902.iki.rssi.ru

Институт космических исследований РАН

XXIV конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» · Москва, ноябрь 2026



ВВЕДЕНИЕ

# Зачем нужны карты землепользования

01

## Оценка состояния территории

Экологическая ситуация, изменения территории, охрана природы, планирование использования земель

02

## Мониторинг деградации земель

Изменения наземного покрова — один из индикаторов, наряду с продуктивностью земель и запасами почвенного углерода

03

## Кадастр парниковых газов

Сектор ЗИЗЛХ: ежегодные площади шести категорий земель и переходы между ними; карты дают пространственно явный учёт (МГЭИК)

Нужны регулярные, сопоставимые по годам и проверяемые данные — для каждого региона

ВВЕДЕНИЕ

# Шесть категорий землепользования МГЭИК

Категории учёта, а не типы покрова. Эти цвета — на всех картах и диаграммах лекции

Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006, т. 4

## Лесные земли

Древесная растительность, отвечающая пороговым критериям леса, принятым в национальном кадастре

## Возделываемые земли

Пашня и обрабатываемые земли, включая агролесомелиорацию ниже порогов леса

## Луга и пастбища

Сенокосы и пастбища, не относящиеся к возделываемым землям; растительность ниже порогов леса

## Водно-болотные угодья

Земли, покрытые или насыщенные водой весь год или его часть: водоёмы, реки, болота, торфяники

## Поселения

Вся обустроенная территория, включая транспортную инфраструктуру и населённые пункты

## Прочие земли

Открытые грунты, скалы, льды и неуправляемые земли, не вошедшие в другие пять категорий

ВВЕДЕНИЕ

# Наземный покров и землепользование

Со спутника виден покров, а учёт требует категорий использования

| Объект | Что видно на снимке | Категория учёта |
|---|---|---|
| Свежая вырубка или гарь | трава, открытый грунт | лесные земли |
| Залежь, пар | трава, кустарник | возделываемые земли |
| Городской парк | древесная растительность | поселения |
| Тундра, оленьи пастбища | травы, кустарнички, мхи | луга и пастбища или прочие земли |
| Пойма, заливной луг | вода весной, трава летом | водно-болотные угодья или луга |

Перевод легенды покрова в категории учёта — первый источник неопределённости

ВВЕДЕНИЕ

# План лекции

01

## Обзор картографических продуктов

От 1 км до 10 м: год издания, исходные данные, метод, классы, период, обновление, точность

02

## Сравнение карт для регионов России

7 источников, 6 классов МГЭИК, 89 регионов, 2001–2025 гг.: расхождения между источниками и между годами

03

## От категорий к вероятностям

Продукты о частоте наблюдения типов поверхности по данным Sentinel-2

01

# Обзор картографических продуктов

Глобальные и национальные карты наземного покрова: что из них применимо для России

📖 Обзор дополняет презентацию прошлого года и статью: Мятлев и др., 2026

Ссылка на презентацию с обзором, 2025 Ссылка на статью

1 км – 100 м · карты ИКИ РАН · 30 м: глобальные и национальные · 10 м · независимые оценки точности · динамика продуктов

01 · ОБЗОР

# Критерии отбора картографических продуктов

Наиболее подходящие и информативные продукты отбирались по трём критериям

01

## Открытый доступ

Предпочтение — продуктам **с открытым доступом:** свободное использование и распространение данных

02

## Шесть классов

Продукт содержит информацию о категориях землепользования, **соответствующих шести классам**

03

## Охват территории

Покрытие **территории России или соизмеримых по размеру стран** с сопоставимыми классами ландшафтного покрова

### Собственные легенды продуктов

У каждого продукта своя, зачастую более детальная легенда, и её классы не всегда строго соответствуют шести категориям. Но в большинстве случаев нужные классы получаются простой переклассификацией или агрегацией

01 · ОБЗОР

# Рассмотренные особенности картографических продуктов

Восемь характеристик — это столбцы таблиц на следующих слайдах

01

## Год издания

Когда продукт опубликован и какая версия используется

02

## Исходные данные

Спутник и сенсор, размер пикселя

03

## Метод

Алгоритм классификации и обучающая выборка

04

## Легенда

Число классов и их смысл: покров или использование

05

## Период

Одна дата, ряд лет или оперативные обновления

06

## Обновление

Выходят ли новые годы и сопоставимы ли версии

07

## Точность

Как, где и по какой выборке оценена

08

## Территория

Основной вопрос — охватывает ли всю Россию?

01 · ОБЗОР

# От 1 км к 10 м: эволюция глобальных карт

Пиксель меньше в 100 раз по стороне и в 10 000 раз по площади



## 1 км

1990-е

IGBP DISCover
GLC2000

## 500–230 м

2000-е

MODIS MCD12Q1
карты ИКИ РАН

## 300–100 м

2008–2019

GlobCover
ESA CCI / C3S
CGLS-LC100

## 30 м

с 2013 г.

Global Forest Change
GlobeLand30
GLC_FCS30D
GLAD

## 10 м

с 2019 г.

FROM-GLC10
ESA WorldCover
Esri LULC
Dynamic World

Квадраты — условный размер пикселя, логарифмическая шкала

РАЗРЕШЕНИЕ

AVHRR → MODIS → MERIS, PROBA-V → Landsat → Sentinel-2

ЧАСТОТА

Разовые карты → ежегодные ряды → обновление почти в реальном времени

01 · ОБЗОР

# Карты низкого разрешения: 1 км – 100 м

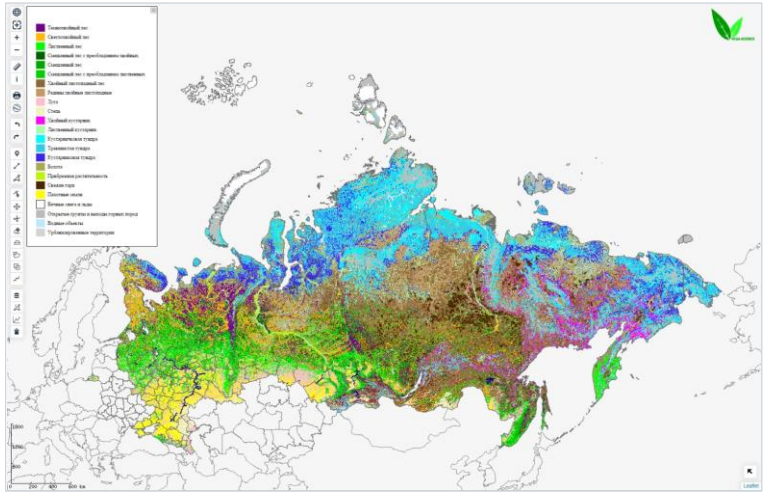
Восемь продуктов: от разовых карт 1990-х до ежегодных рядов

| Продукт | Год изд. | Данные | Пиксель | Период | Частота | Классы | Метод | Точн., % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CORINE (Европа) | 1990 | Landsat, SPOT, Sentinel-2 | 100 м | 1990–2018 | раз в 6 лет | 44 | визуальное дешифрирование | ≥ 85 |
| IGBP DISCover | 1997 | NOAA AVHRR | 1 км | 1992–1993 | — | 17 | кластеризация без обучения | 67 |
| GLC2000 | 2003 | SPOT-4 VGT | 1 км | 2000 | — | 22 | с обучением и без | 69 |
| GlobCover | 2008 | Envisat MERIS | 300 м | 2005, 2009 | — | 22 | кластеризация по спектру и сезонности | 73 |
| ESA CCI LC / C3S | 2010 | MERIS, PROBA-V и др. | 300 м | с 1992 г. | ежегодно | 22 | базовая карта + обнаружение изменений | 71 |
| MODIS MCD12Q1 | 2010 | Terra, Aqua MODIS | 500 м | 2001–2024 | ежегодно | 9–17 | деревья решений / случайный лес | 74–75 |
| CGLS-LC100 | 2015 | PROBA-V | 100 м | 2015–2019 | ежегодно | 23 | случайный лес | 80 |
| ИКИ РАН (Сев. Евразия) | 2016 | Terra, Aqua MODIS | 230 м | 2001–2024 | ежегодно | 23 | LAGMA, адаптивная к региону | — |

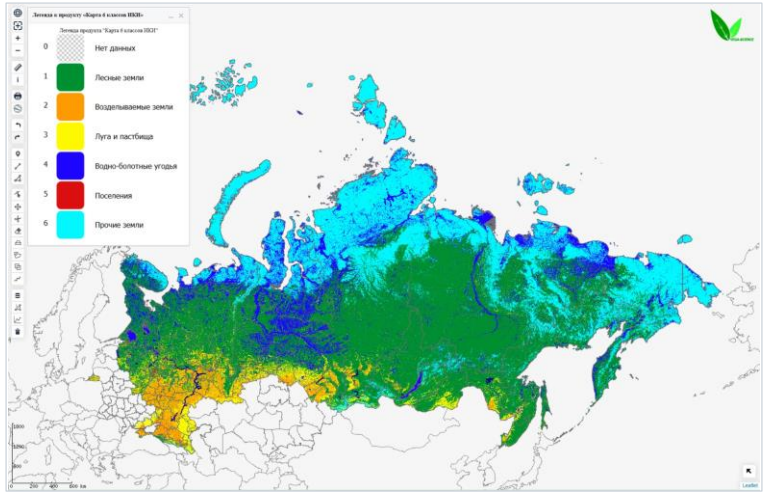
Точность — общая (overall accuracy) по оценкам разработчиков. Для CORINE — требование к точности, оно выполнено. Все продукты бесплатны

# Карты наземного покрова ИКИ РАН

Ежегодные карты по MODIS — основной отечественный ряд в нашем сравнении



Исходная легенда — 23 класса




Шесть классов МГЭИК

**230 м**
MODIS (Terra, Aqua)

**2001–2024**
ежегодно, версия 72

**23 класса**
локально-адаптивная классификация LAGMA

**+ пашня**
отдельные карты пахотных земель

Барталев С.А. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016

01 · ОБЗОР

# Глобальные карты 30 м

Семь продуктов на основе архива Landsat: от бинарных карт леса до 35 классов

| Продукт | Год изд. | Данные | Период | Частота | Классы | Метод | Точн., % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Global Forest Change | 2013 | Landsat | 2000–2024 | ежегодно | лес: потери и прирост | деревья решений | 87–88* |
| GlobeLand30 | 2015 | Landsat, HJ-1 | 2000, 2010, 2020 | раз в 10 лет | 10 | пиксели + объекты + знания | 80–86 |
| AGLC 2000–2015 | 2021 | Landsat | 2000–2015 | ежегодно | 10 | случайный лес | 76 |
| GLAD GLCLUC | 2022 | Landsat | 2000–2020 | раз в 5 лет | 5 вариантов + подклассы | деревья решений, CNN, регрессия | > 85* |
| GLAD GLCLU 2019 | 2022 | Landsat | 2019 | — | 14 | ансамбли деревьев, U-Net | 78 |
| GLC_FCS30D | 2023 | Landsat | 1985–2022 | ежегодно; до 2000 г. — раз в 5 лет | 35 | классификация рядов + согласование во времени | 81 |
| SBTN Natural Lands | 2024 | Landsat, Sentinel-2 | 2020 | — | 20 (природные или нет) | наложение готовых карт по правилам | 91* |

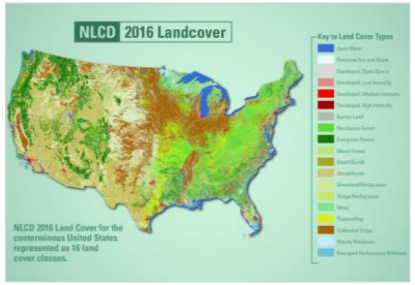
* — точность по отдельным вариантам (GFC, GLCLUC) или для двух классов «природное / нет» (SBTN)

01 · ОБЗОР

# Национальные системы 30 м

Ежегодные ряды, детальные классы культур, открытый доступ

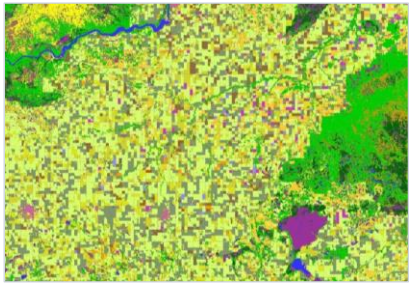
| Система | Страна | Год изд. | Период | Частота | Классы | Метод | Точн., % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NLCD (USGS) | США | 2001 | 1985–2023 | ежегодно с 2024 г.; ранее раз в 2–3 года | 16–20 | деревья решений | 80 |
| CDL (USDA NASS) | США | 2008 | 1997–2024 | ежегодно | ≈ 130 (культуры) | деревья решений | 81 |
| ACI (AAFC) | Канада | 2009 | 2009–2023 | ежегодно | 73 | деревья решений | 85 |
| LCMS (USFS) | США | 2012 | 1985–2024 | ежегодно | 14 и 6 | случайный лес, ансамбли | 79 |
| CLCD (Ун-т Ухани) | Китай | 2021 | 1985–2025 | ежегодно | 9 | случайный лес | 79 |



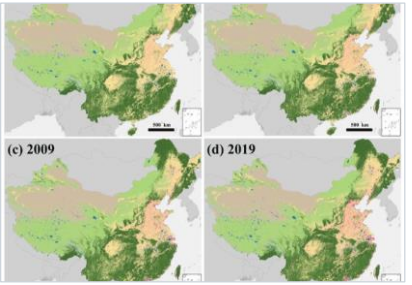

NLCD, США




LCMS, США



ACI, Канада




CLCD, Китай

Россию эти системы не покрывают, но показывают, как может быть устроен регулярный мониторинг

01 · ОБЗОР

# Глобальные карты 10 м

WorldCover, Esri LULC и Dynamic World — те три карты, которые мы сравниваем

| | FROM-GLC10 | ESA WorldCover | Esri LULC | Dynamic World |
|---|---|---|---|---|
| Разработчик | Ун-т Цинхуа | ЕКА, VITO и др. | Impact Observatory, Esri | Google, WRI |
| Год издания | 2019 | 2021, 2022 | 2021 | 2022 |
| Данные | Sentinel-2 | Sentinel-1, Sentinel-2 | Sentinel-2 | Sentinel-2 |
| Период | 2017 | 2020, 2021 | 2017–2024 | с 2015 г. |
| Обновление | нет | нет | ежегодно | каждая сцена, 2–5 дней |
| Классы | 10 | 11 | 9 | 9 + вероятности |
| Метод | случайный лес, выборка 2015 г. | градиентный бустинг CatBoost | нейросеть U-Net | полносвёрточная нейросеть |
| Точность, % | 73 | 74 и 77 | > 75 | ≈ 74 |

Точность — заявленная разработчиками

Dynamic World — единственный продукт с вероятностями классов и обновлением по каждой сцене

В Esri LULC нет класса кустарников: «rangeland» объединяет травы и кустарники

WorldCover — самый детальный из трёх и в независимых оценках чаще всего лучший

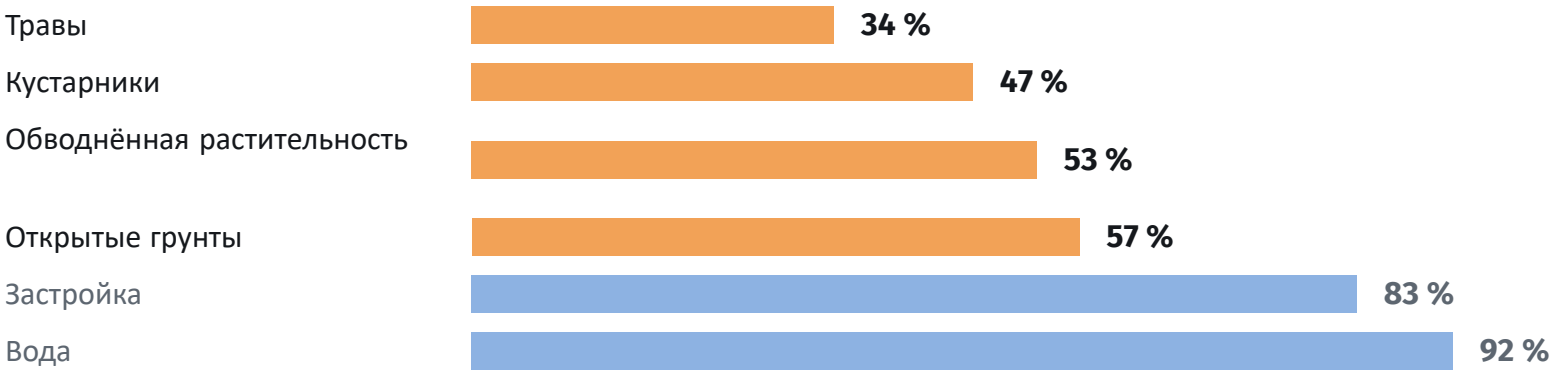
01 · ОБЗОР

# Независимые оценки 10-метровых карт

Даже порядок карт по точности зависит от того, где и как проверять

| Работа | Территория и эталон | Dynamic World | Esri LULC | ESA WorldCover |
|---|---|---|---|---|
| Разработчики | собственные выборки | ≈ 74 | > 75 | 74–77 |
| Venter et al., 2022 | мир: экспертная разметка 409 фрагментов | 72 | 75 | 65 |
| Venter et al., 2022 | Европа: точки LUCAS 2018 | 66 | 63 | 71 |
| Xu et al., 2024 | мир: стратифицированная выборка | 2-е место | 73,4 | 83,8 |
| Wang Y. et al., 2024 | Китай | — | 49,8 | 62,7 |
| Kerner et al., 2024 | 8 стран Африки, только пашня (F-мера) | 0,34 | 0,43 | 0,65 |

ТОЧНОСТЬ ПО КЛАССАМ, СРЕДНЕЕ ТРЁХ КАРТ · VENTER ET AL., 2022




Общая точность, %; для Африки — F-мера класса «пашня». Цветом — лучшая карта в строке. Для России репрезентативной независимой проверки нет

01 · ОБЗОР

# Что появилось за последние годы

Продукты, которых не было в исходном обзоре

## Copernicus LCM-10

10 м · 2020

Глобальная карта по Sentinel-1 и Sentinel-2, вышла в июне 2025 г.; годы 2021–2025 ожидаются в 2026 г.

## ESA WorldCereal

10 м · 2021

Глобальные сезонные карты посевов, основных культур и орошения

## ESA CCI HRLC

10 и 30 м · 1990–2019

Карты для трёх регионов, в том числе севера Сибири, со слоями неопределённости

## Global Pasture Watch

30 м · 2000–2022

Ежегодные карты культурных и естественных лугов с вероятностями классов

## AlphaEarth Foundations

10 м · 2017–2024

Не карта, а ежегодные «эмбеддинги» Google DeepMind: 64 признака на пиксель для классификации по малым выборкам

## Для России

Новые продукты детальнее, но их пригодность для наших территорий всё равно нужно проверять

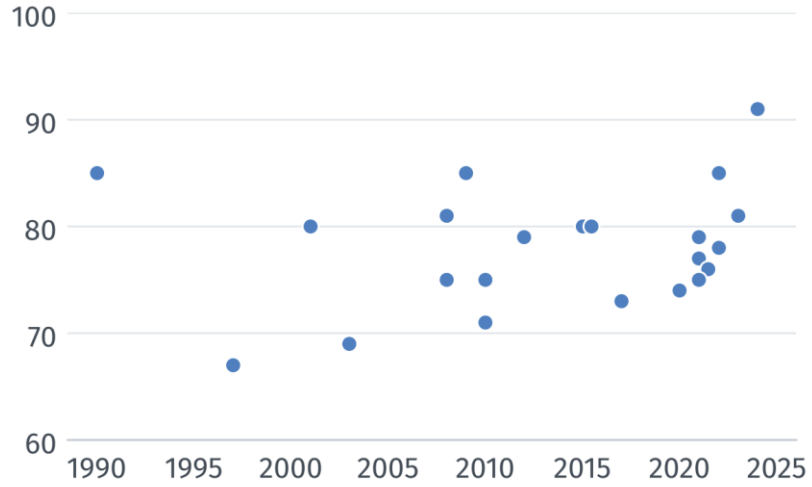
01 · ОБЗОР

# Разрешение, точность, год издания

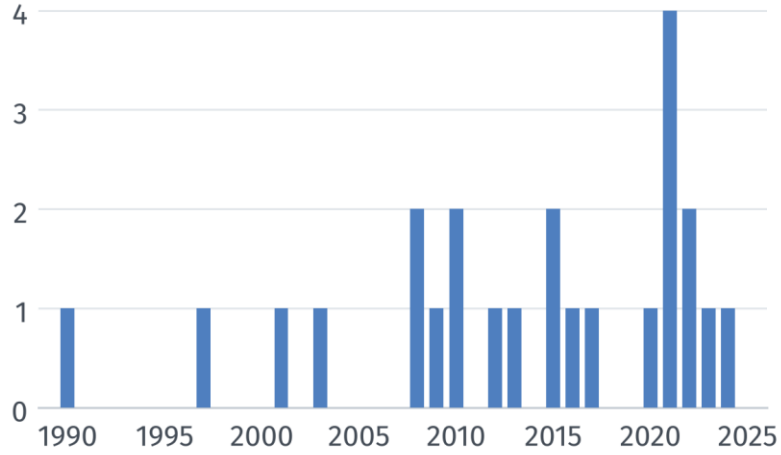
Пиксель уменьшился в 100 раз, заявленная точность выросла с 67–69 до 76–81 %

По данным обзора Мятлева и др.; точность — заявленная разработчиками

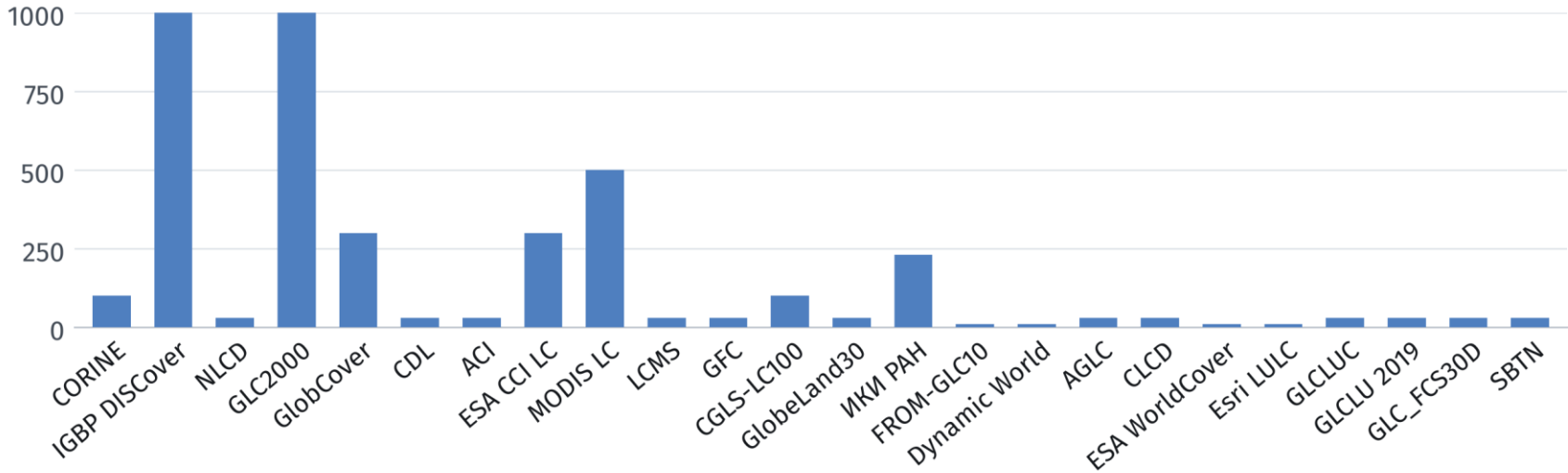
ЗАЯВЛЕННАЯ ТОЧНОСТЬ, % · ПО ГОДУ ИЗДАНИЯ




ЧИСЛО ПРОДУКТОВ ПО ГОДУ ИЗДАНИЯ

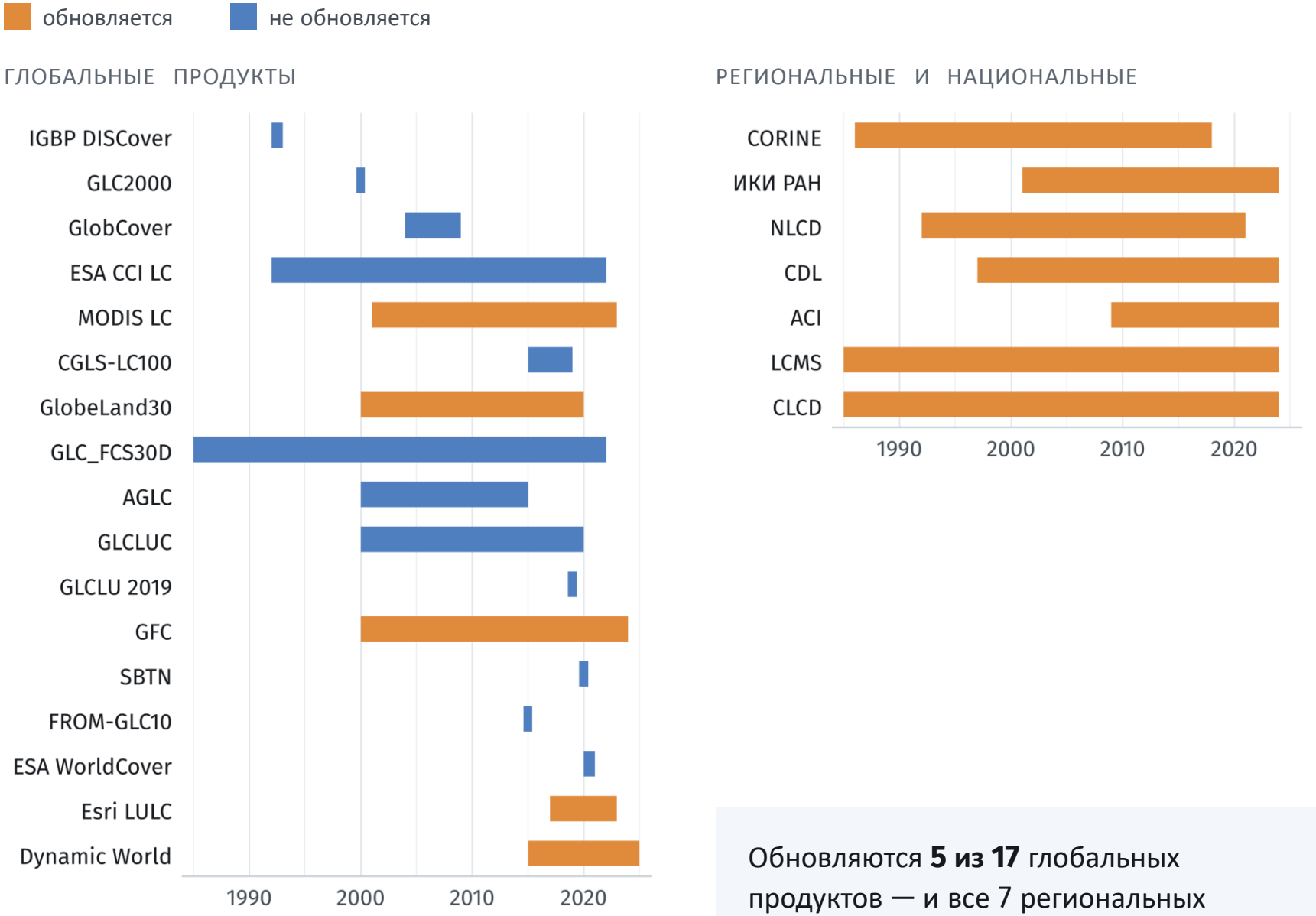



РАЗМЕР ПИКСЕЛЯ, М · ПРОДУКТЫ В ХРОНОЛОГИЧЕСКОМ ПОРЯДКЕ



# Временной охват продуктов и обновление

Длинные ряды — по AVHRR, MODIS и Landsat; 10-метровые начинаются только с 2015–2017 гг.




Обновляются **5 из 17** глобальных продуктов — и все 7 региональных

По данным обзора Мятлева и др.

01 · ОБЗОР

# Общие тенденции

Рост разрешения и сложности методов не гарантирует, что карты согласуются между собой

| | |
|---|---|
| **Разрешение** | 1 км → 300 м → 30 м → 10 м за 25 лет; точность растёт медленнее разрешения |
| **Частота** | Разовые карты → ежегодные ряды → классификация каждой сцены (Dynamic World) |
| **Методы** | Деревья решений → случайный лес и бустинг → свёрточные нейросети → модели-основы и эмбеддинги |
| **Открытость** | Бесплатные Landsat и Sentinel, облачные платформы (Google Earth Engine, Copernicus Data Space), открытые лицензии |
| **Неопределённость** | Вероятности классов (Dynamic World, Global Pasture Watch) и слои неопределённости (ESA CCI HRLC) |

02

# Сравнение карт для территории России

7 источников · 6 классов МГЭИК · 89 регионов (до 2022 г. — 85) · 2001–2025 гг.

источники и легенды · Россия в целом · регионы и классы · проблемные территории · ряды по годам · итоги

02 · СРАВНЕНИЕ

# Что сравнивали

Семь источников, приведённых к шести классам МГЭИК; единица сравнения — регион

| Источник | Пиксель | Годы | Классы |
|---|---|---|---|
| ИКИ РАН, наземный покров (версия 72) | 230 м | 2001–2024 | все 6 |
| ИКИ РАН, пахотные земли | MODIS | 2005–2023 | только пашня |
| Dynamic World | 10 м | 2016–2024 | 9 → 6, наиболее частый класс за сезон |
| Esri LULC | 10 м | 2017–2024 | 9 → 6 |
| ESA WorldCover | 10 м | 2020–2021 | 11 → 6 |
| Росстат | регион | 2001–2024 | все 6 до 2021 г.; затем лес, ВБУ, поселения |
| Экспертные оценки | регион | отдельные годы | пашня, 7 регионов |

**Консенсус 10 м** — 2020–2021 гг.: класс, на котором сходятся хотя бы две из трёх 10-метровых карт; если расходятся все три — класс WorldCover

89 регионов, до 2022 г. — 85

02 • СРАВНЕНИЕ

# Приведение легенд к шести классам

Кустарники и тундры у WorldCover, DW и ИКИ — «прочие земли», у Esri — «луга и пастбища»

| Класс МГЭИК | ESA WorldCover | Esri LULC | Dynamic World | ИКИ РАН |
|---|---|---|---|---|
| Лесные земли | Tree cover | Trees | Trees | все типы лесов |
| Возделываемые | Cropland | Crops | Crops | пахотные земли |
| Луга и пастбища | Grassland | Rangeland: травы и кустарники | Grass | луга, степи |
| Водно-болотные | Water, Herbaceous wetland | Water, Flooded vegetation | Water, Flooded vegetation | болота, водные объекты |
| Поселения | Built-up | Built area | Built | урбанизированные территории |
| Прочие | Shrubland, Moss and lichen, Bare, Snow and ice | Bare ground, Snow and ice, Clouds | Shrub and scrub, Bare, Snow and ice | кустарники, тундры, гари, снега, открытые грунты |

Цветом выделены ячейки, где часть расхождений заложена уже в легендах

02 · СРАВНЕНИЕ

# Технология сопоставления

Обработка автоматизирована (Python, GDAL); согласованные карты доступны в «Вега-Science»

1

## Данные

Выгрузка карт по охвату региона из архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

2

## Геометрия

Проекция UTM или LAEA, обрезка по границе, сетка 10 м

3

## Легенды

Переклассификация в 6 классов МГЭИК

4

## Производные карты

Совпадение всех трёх и любых двух 10-м карт, консенсус, переходы между годами

5

## Статистика

Доли классов по регионам и годам, разности, графики, слои для ГИС

Карты ИКИ остаются в своём разрешении 230 м; 10-метровые карты сводятся к общей сетке

Для каждого региона и года строятся карты, диаграммы, тепловые карты и ряды по годам

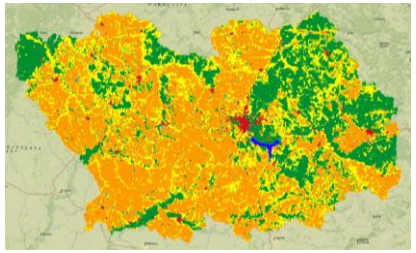
02 · СРАВНЕНИЕ

# Пензенская область во всех картах

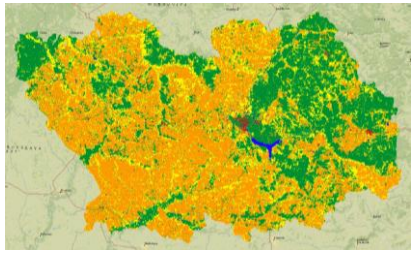
Общая картина похожа, детали различаются; такой набор карт построен для всех регионов

- Лесные земли
- Возделываемые
- Луга и пастбища
- Водно-болотные
- Поселения
- Прочие земли

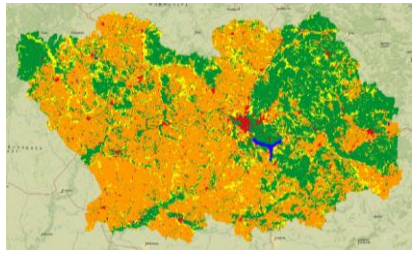
## ИСХОДНЫЕ КАРТЫ В ШЕСТИ КЛАССАХ



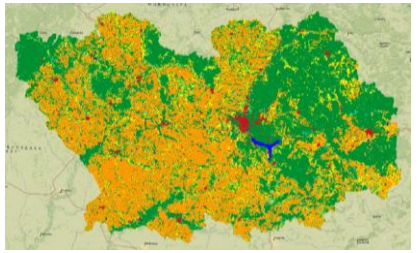
ИКИ РАН, 230 м



ESA WorldCover

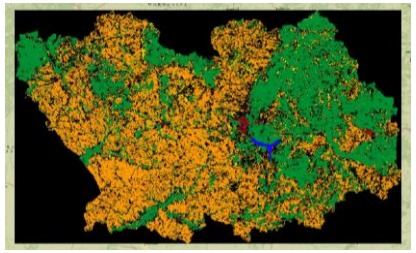


Esri LULC

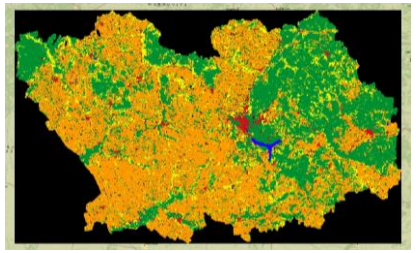


Dynamic World

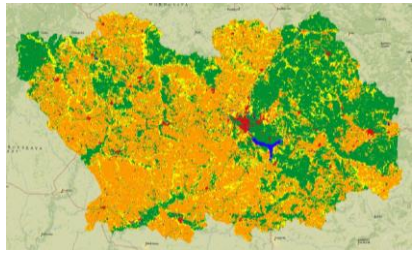
## ПРОИЗВОДНЫЕ КАРТЫ ПО ТРЁМ 10-МЕТРОВЫМ



Совпадают все три



Совпадают хотя бы две



Консенсус 10 м

Чёрное на карте совпадений — хотя бы одна карта не согласна с остальными

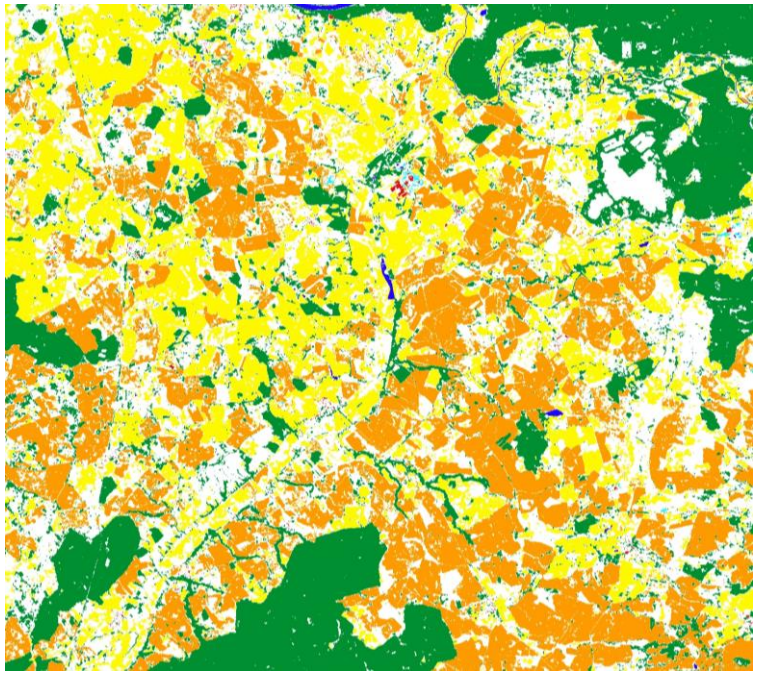
02 · СРАВНЕНИЕ

# Совпадение площадей и совпадение пикселей

Все дальнейшие цифры — по площадям, то есть нижние оценки расхождений



Снимок в естественных цветах



Совпадают все три 10-м карты; белое — расхождение

## Расхождение по площадям

$$\Sigma \, |pA - pB|$$

A: лес 60 %, луга 40 %; B: лес 50 %, луга 50 % → 10 + 10 = 20 %

Сумма модулей разностей долей шести классов, % площади региона; пиксели могут не совпасть и при равных площадях

02 · СРАВНЕНИЕ

# Россия в целом: доли классов, 2021 г.

Леса — 49–60 %, луга и пастбища — 8–33 %: разброс карт до 400 млн га




% площади; 1 п.п. ≈ 17 млн га. Разброс карт — между ИКИ, DW, Esri и WorldCover

02 • СРАВНЕНИЕ

# Диаграммы для каждого региона и года

Строятся автоматически для любого региона и года; внизу — площади в гектарах

**39 % и 24 %**

Алтайский край, лес: DW и ИКИ с Росстатом

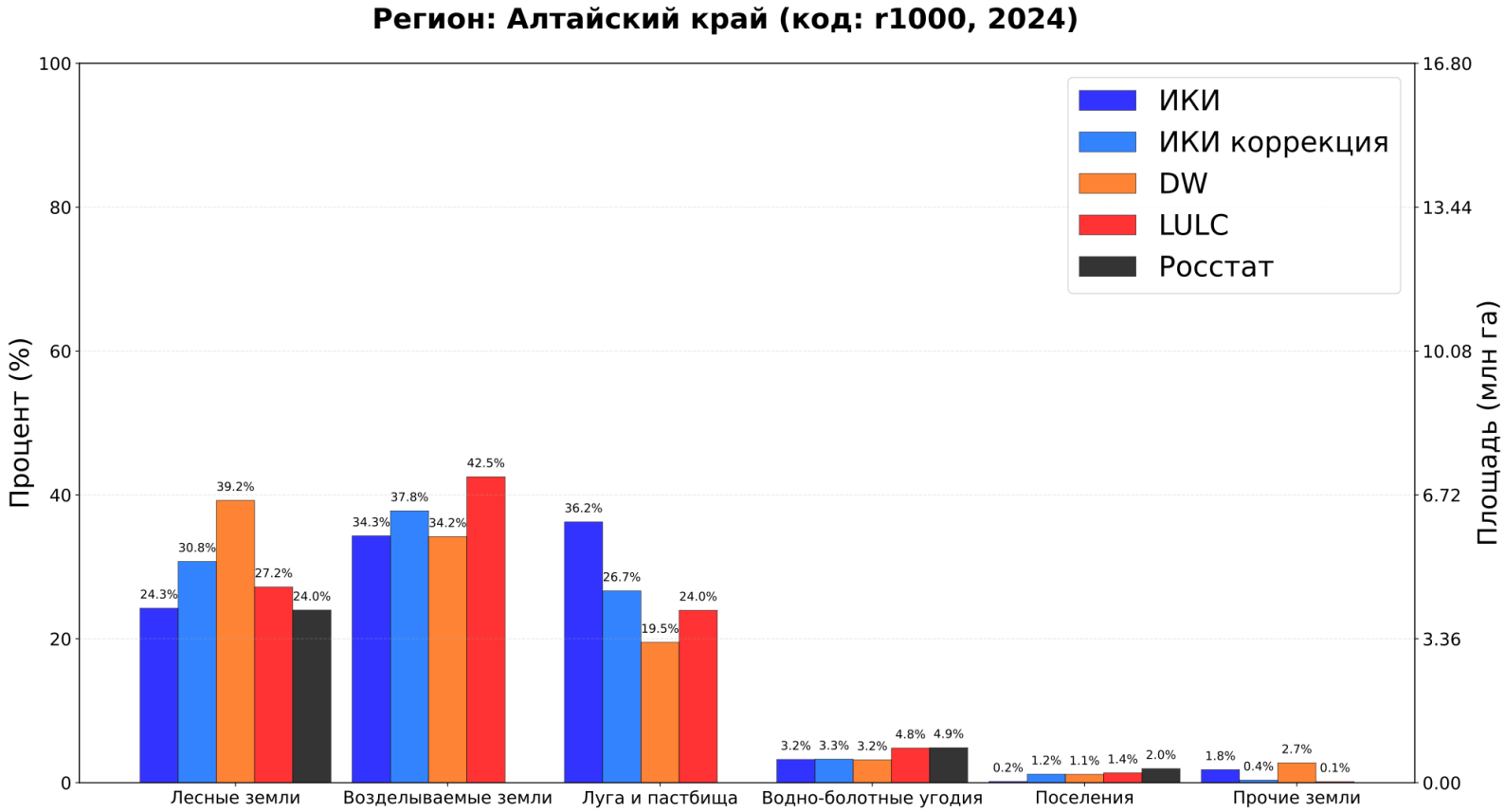
**42,5 % и 34 %**

пашня: Esri и остальные карты

**36 % и 20 %**

луга и пастбища: ИКИ и DW

Росстат с 2022 г. даёт только лес, водно-болотные угодья и поселения




Площадь классов в Га

| Класс | ИКИ | ИКИ коррекция | DW | LULC | Росстат |
|---|---|---|---|---|---|
| Лесные земли | 4,075,255 | 5,166,420 | 6,591,048 | 4,571,186 | 4,030,300 |
| Возделываемые земли | 5,762,858 | 6,348,552 | 5,746,567 | 7,143,969 | - |
| Луга и пастбища | 6,089,964 | 4,480,283 | 3,276,046 | 4,026,018 | - |
| Водно-болотные угодия | 541,255 | 547,060 | 532,334 | 806,952 | 817,300 |
| Поселения | 28,265 | 197,596 | 192,422 | 227,157 | 328,100 |
| Прочие земли | 302,567 | 60,253 | 461,747 | 24,883 | - |

Общая площадь: 16,800,165 га
Площадь рассчитана без территориальных вод

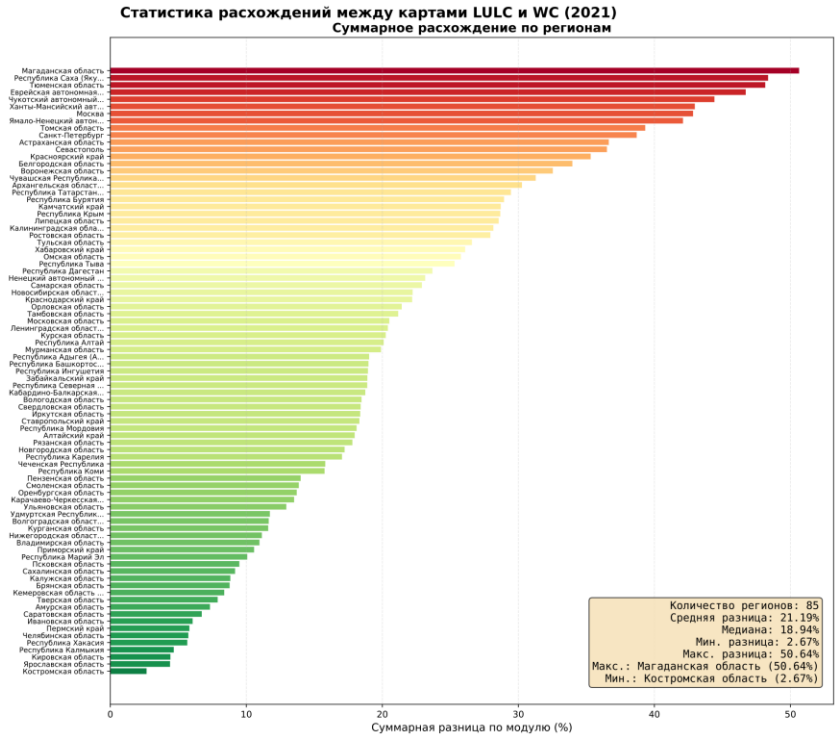
02 · СРАВНЕНИЕ

# Суммарное расхождение по регионам, 2021 г.

Сильнее всего расходятся север и Дальний Восток, а также крупные города

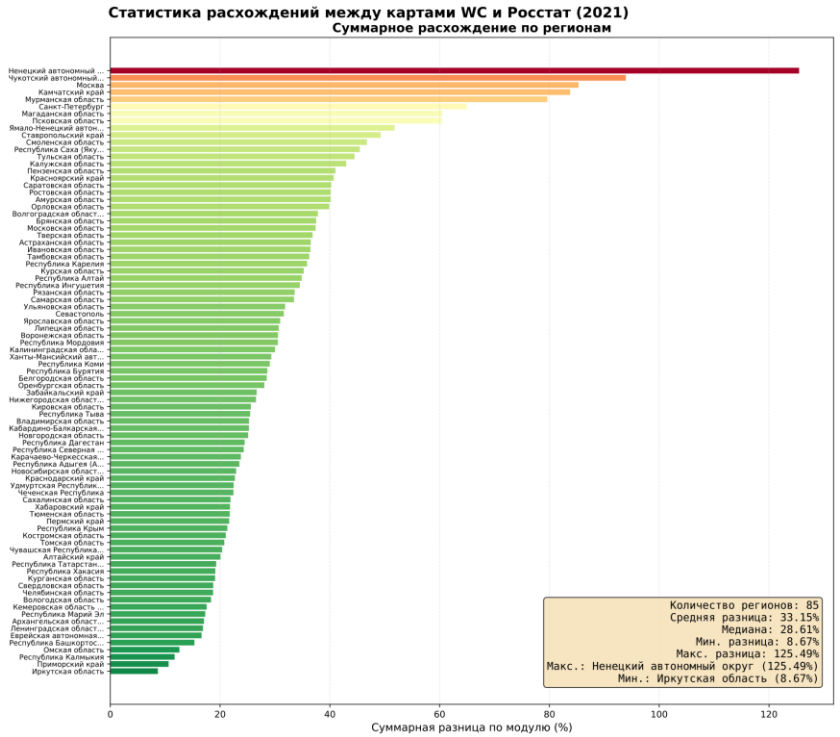
Сумма модулей разностей долей шести классов, %

## ESRI LULC - WORLDCOVER




**21 %** в среднем; от 3 % (Костромская) до 51 % (Магаданская)

## WORLDCOVER - РОССТАТ

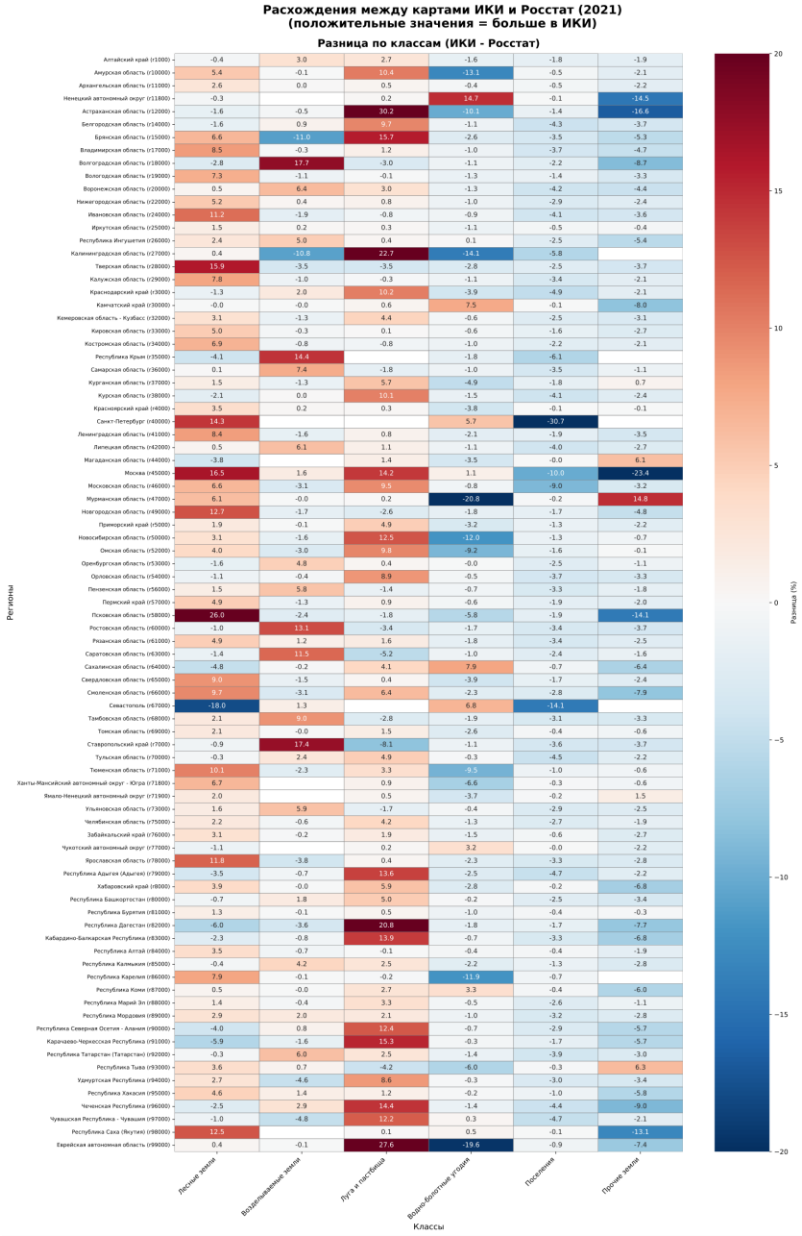



**33 %** в среднем; в Ненецком АО — больше 100 %

02 · СРАВНЕНИЕ

# Систематические различия: ИКИ РАН – Росстат

2021 г., п.п. площади региона: красное — больше по ИКИ, синее — больше по Росстату




**Поселения:** по ИКИ меньше во всех регионах — Санкт-Петербург −31, Севастополь −14, Москва −10

**Водно-болотные угодья:** по ИКИ меньше в 74 регионах — Мурманская −21, ЕАО −20

**Лесные земли:** по ИКИ больше в 56 регионах — Псковская +26, Москва +17, Тверская +16

**Луга и пастбища:** по ИКИ больше в 64 регионах — Астраханская +30, ЕАО +28, Калининградская +23

**Пашня:** по ИКИ больше в степных регионах — Волгоградская +18, Ставропольский край +17

Такие тепловые карты построены для всех пар источников и всех лет

02 · СРАВНЕНИЕ

# Тепловые карты: 10-метровые карты между собой

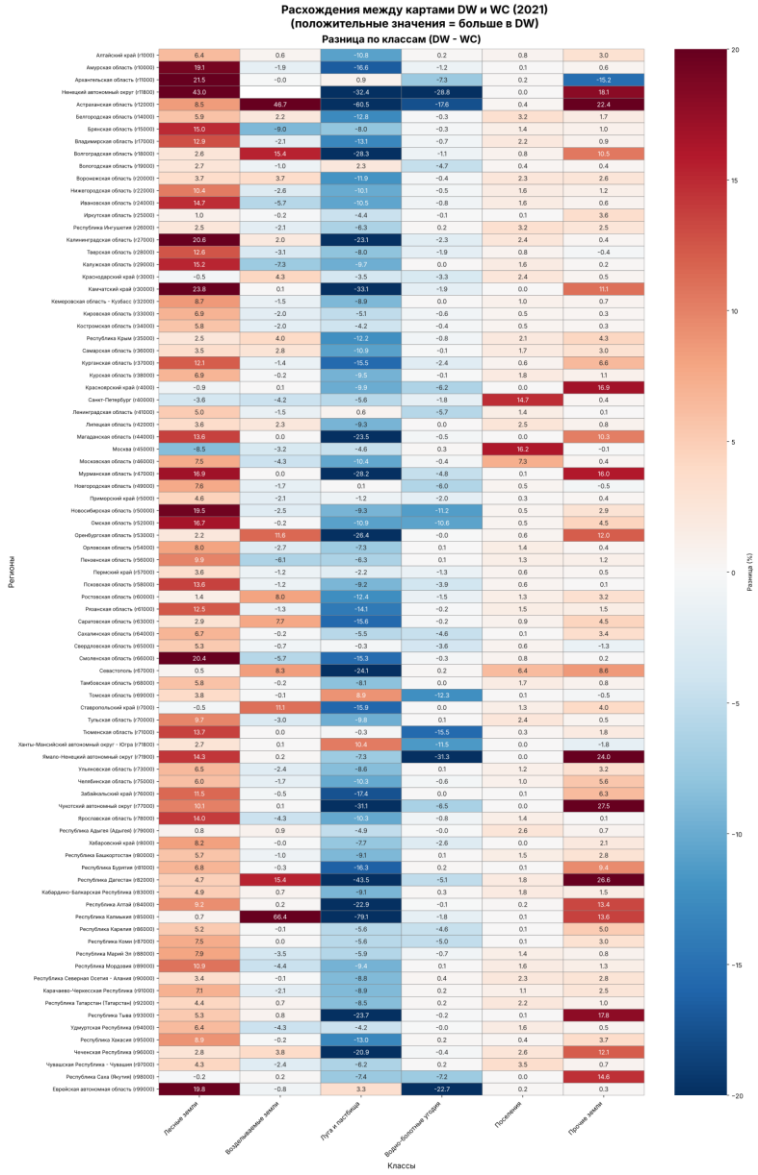
2021 г., п.п. площади региона; красное — больше по DW или Esri, синее — больше по WorldCover

**DW:** больше леса (79 регионов) и прочих земель (78), меньше лугов (78)

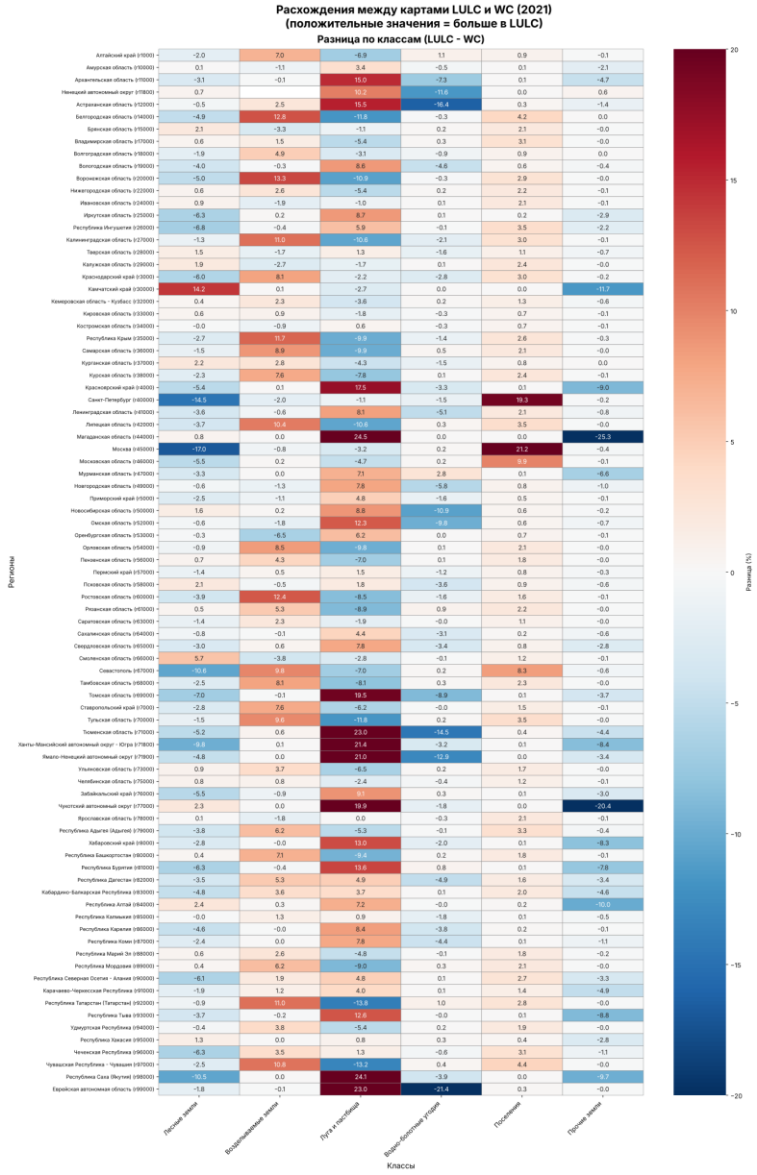
**Esri:** больше пашни (57) и поселений (все регионы), меньше прочих земель (81): кустарники уходят в «луга»

**Пашня по DW:** Калмыкия +66, Астраханская +47 п.п.

DYNAMIC WORLD - WORLDCOVER




ESRI LULC - WORLDCOVER

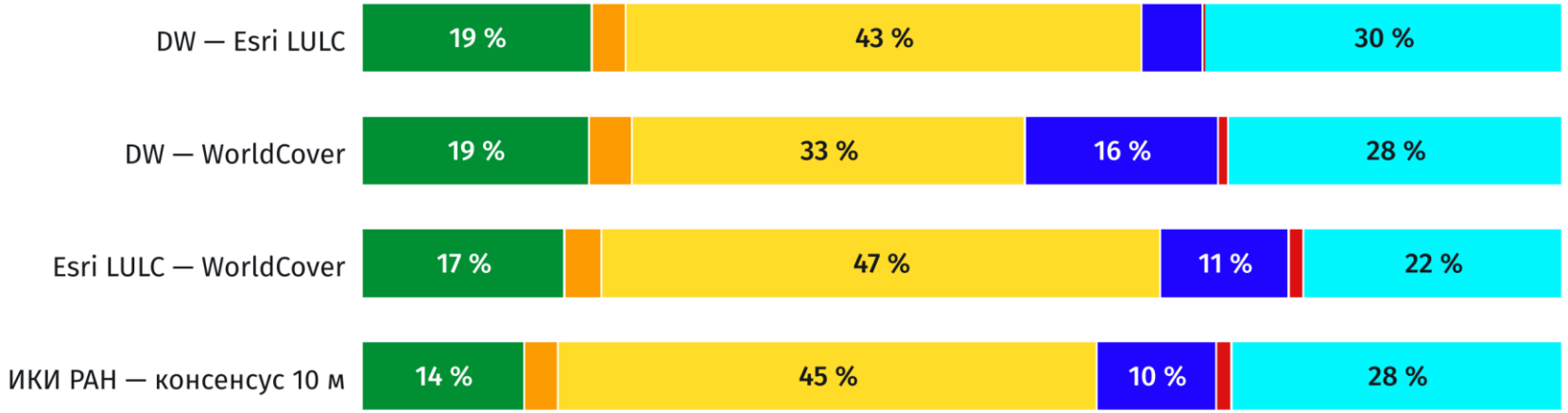


02 · СРАВНЕНИЕ

# Какие классы дают расхождения

Главный вклад — луга и пастбища и прочие земли; в относительном выражении — ещё и поселения

ВКЛАД КЛАССОВ В РАСХОЖДЕНИЕ ПАРЫ КАРТ · РОССИЯ, 2021 Г.




ВО СКОЛЬКО РАЗ РАЗЛИЧАЮТСЯ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ КЛАССА

| ×1,5 | ×1,5 | ×3,2 | ×1,9 | ×10 | ×8,6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Лесные земли | Пашня | Луга и пастбища | Водно-болотные | Поселения | Прочие земли |

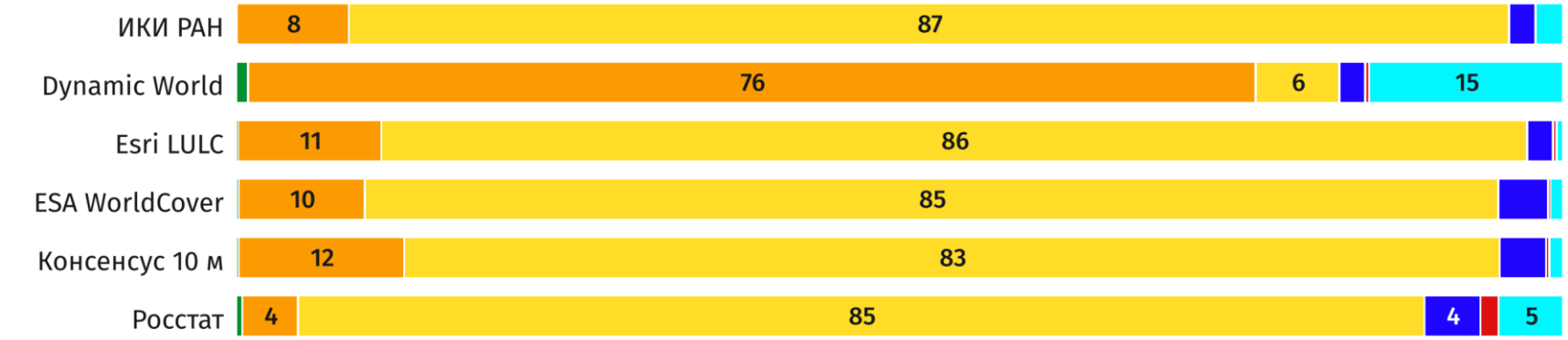
Внизу — медиана по регионам, где класс занимает не менее 2 %; сравниваются ИКИ, DW, Esri и WorldCover

02 • ПРОБЛЕМНЫЕ ЗОНЫ

# Засушливые районы: степь или пашня?

Dynamic World принимает сухую степь за пашню

## Республика Калмыкия




Пашня по Dynamic World — **76 %** территории, по остальным источникам — 4–12 %; луга и пастбища — 83–87 % у всех, кроме DW

## Астраханская область




Пашня по DW — **49 %**, прочие — 24 %; водно-болотные угодья — от 5 % (ИКИ) до 24 % (WorldCover)

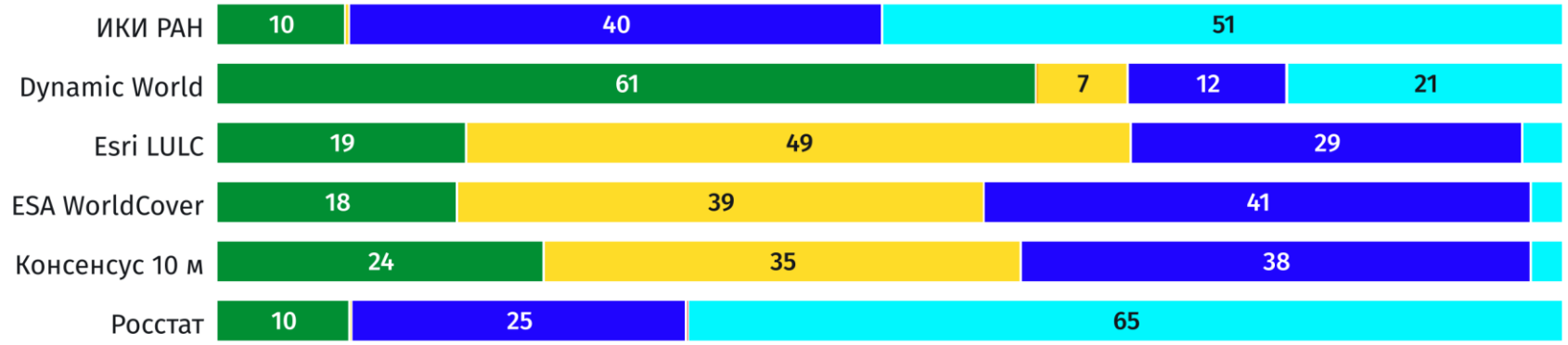
- Лесные земли
- Возделываемые
- Луга и пастбища
- Водно-болотные
- Поселения
- Прочие земли

2021 г.; числа — % площади региона

# Тундра и болота

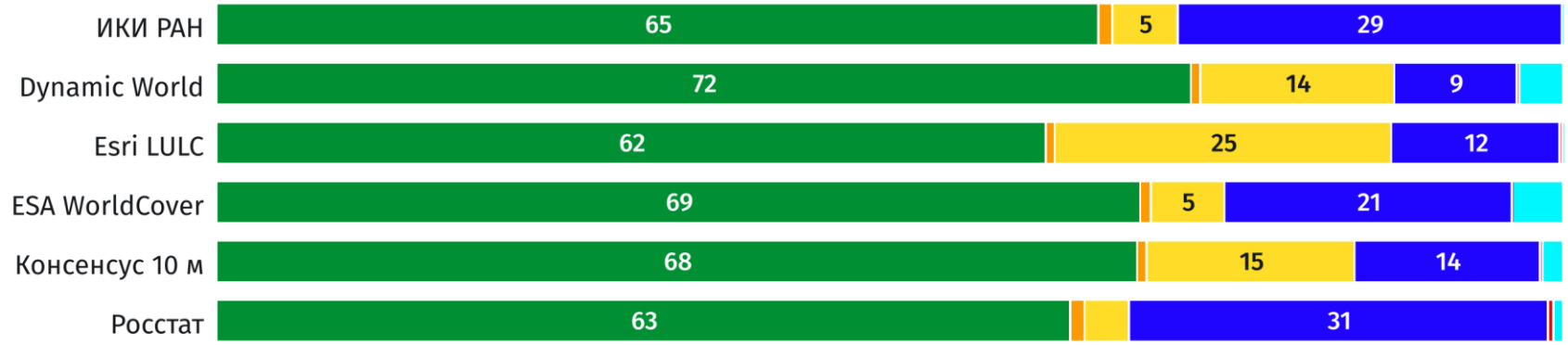
Тундра попадает то в лес, то в луга, то в прочие земли; открытые болота — в луга и лес

## Ненецкий автономный округ




Лес — от 10 % (ИКИ, Росстат) до **61 %** (DW); луга — от 0 до 49 %; прочие — от 2 до 65 %: тундра попадает в разные классы

## Томская область




Водно-болотные угодья — от 9 % (DW) до **31 %** (Росстат); луга — от 5 % (ИКИ, WorldCover) до 25 % (Esri)

- Лесные земли
- Возделываемые
- Луга и пастбища
- Водно-болотные
- Поселения
- Прочие земли

2021 г.; числа — % площади региона

# Агрорегионы и города

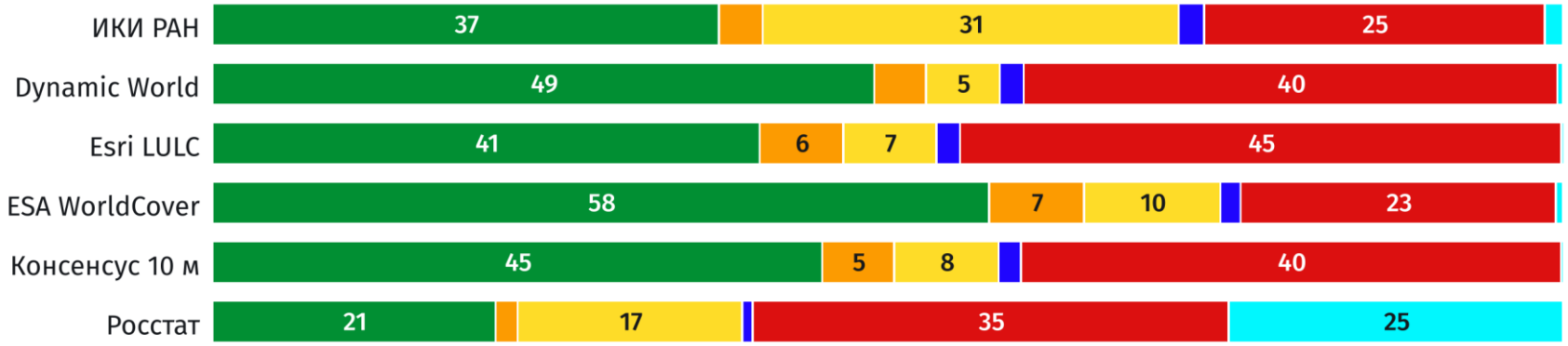
Лесополосы и городская зелень: разрешение и различие покрова и использования

## Курская область




Лес — 6–8 % (ИКИ, Росстат) против **17–26 %** на 10-м картах: лесополосы и овраги; луга — 35 % по ИКИ против 7–16 %

## Москва




Поселения — от 23 % (WorldCover) до **45 %** (Esri); лес — от 21 % (Росстат) до 58 % (WorldCover): городская зелень

- Лесные земли
- Возделываемые
- Луга и пастбища
- Водно-болотные
- Поселения
- Прочие земли

2021 г.; числа — % площади региона

02 · СРАВНЕНИЕ

# Пашня: сравнение с экспертными оценками

Даже для «простого» класса ошибки в несколько п.п. площади региона — обычное дело

| Регион, год | Эксперт | ИКИ РАН | ИКИ, пашня | DW | Esri | WorldCover | Росстат |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Пензенская, 2023 | 40,1 | 40,5 | 41,3 | 36,8 | 49,2 | — | — |
| Пензенская, 2024 | 40,1 | 40,5 | — | 42,2 | 49,4 | — | — |
| Московская обл., 2024 | 8,8 | 8,8 | — | 8,6 | 14,0 | — | — |
| Калужская, 2024 | 7,4 | 10,9 | — | 5,4 | 10,2 | — | — |
| Амурская, 2024 | 3,4 | 2,7 | — | 3,8 | 3,8 | — | — |
| Хакасия, 2021 | 1,8 | 5,0 | 2,4 | 3,6 | 3,8 | 3,8 | 3,7 |
| Томская, 2021 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 1,1 |

% площади региона; экспертная оценка — ручная разметка. Цветом — завышение на 5 п.п. и более

Esri завышает пашню на 5–9 п.п. в Пензенской и Московской областях

DW «скачет» по годам: 37 % и 42 % в Пензенской области в 2023 и 2024 гг.

Знак ошибки зависит от карты и региона: в Хакасии все источники выше эксперта

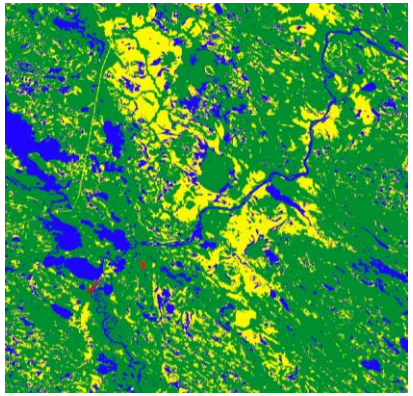
02 · СРАВНЕНИЕ

# Карты ИКИ РАН и консенсус 10-метровых карт

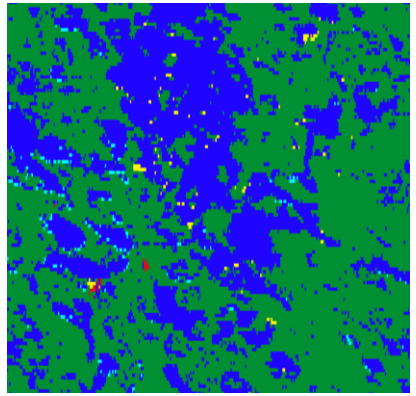
Сильнее всего ИКИ и консенсус расходятся по лугам и пастбищам

Консенсус 10 м — не эталон: у него свои проблемы в тундре и засушливых районах

## Заболоченная территория

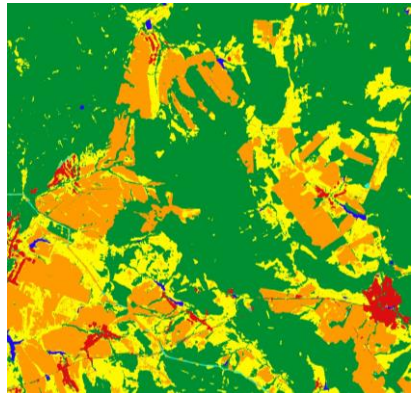


Консенсус 10 м

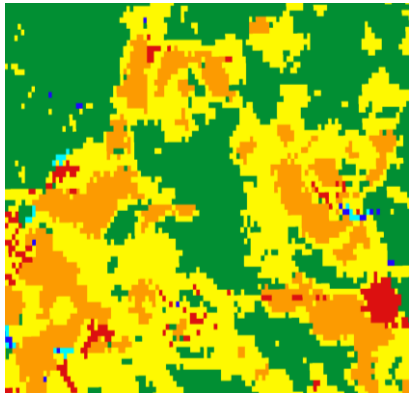


ИКИ РАН, 230 м

## Сельскохозяйственный район



Консенсус 10 м



ИКИ РАН, 230 м

**Регионов, где площадь класса по ИКИ отличается от консенсуса на 50 % и более** — из числа регионов, где класс занимает не менее 5 % площади

| 57 / 85 | 4 / 6 | 8 / 16 | 10 / 32 | 9 / 82 | 3 / 52 |
|---|---|---|---|---|---|
| Луга и пастбища | Поселения | Прочие земли | Водно-болотные | Лесные земли | Пашня |

02 · РЯДЫ ПО ГОДАМ

# Ряды по годам: Россия в целом

Расхождения не только между источниками, но и между годами одного источника

**+8,8 п.п.**

лес по DW с 2016 на 2017 г. — около 150 млн га

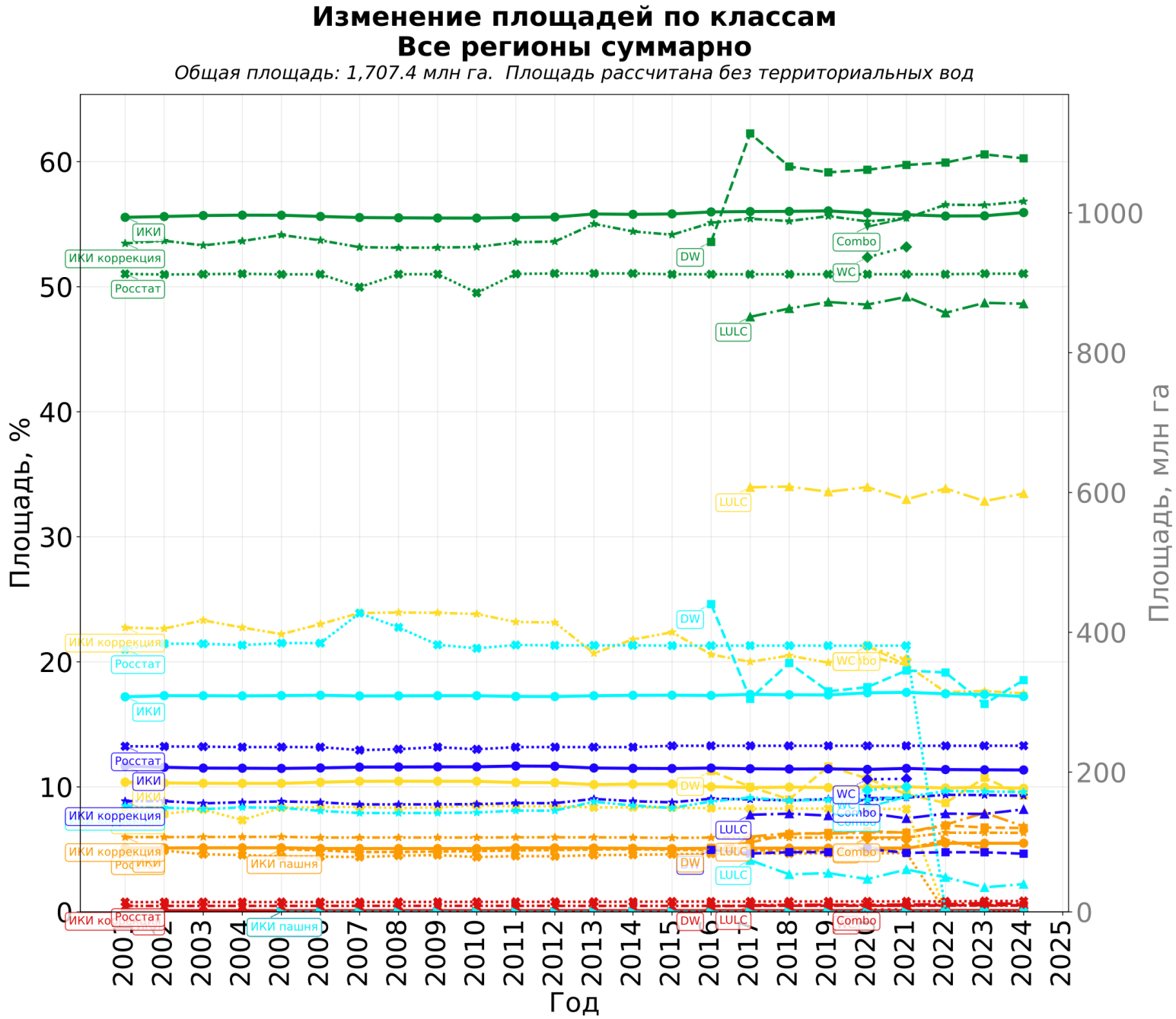
**55–56 %**

лес по ИКИ во все 24 года

**33–34 %**

луга по Esri: стабильно, но втрое больше, чем у других

Esri за 2023 г. — без Красноярского края



02 · РЯДЫ ПО ГОДАМ

# Ряды по годам: Алтайский край

Скачок одной карты за год сопоставим с расхождением между разными картами

**54 %**

пашня по Esri в 2023 г.; в 2022 и 2024 гг. — 44 и 43 %

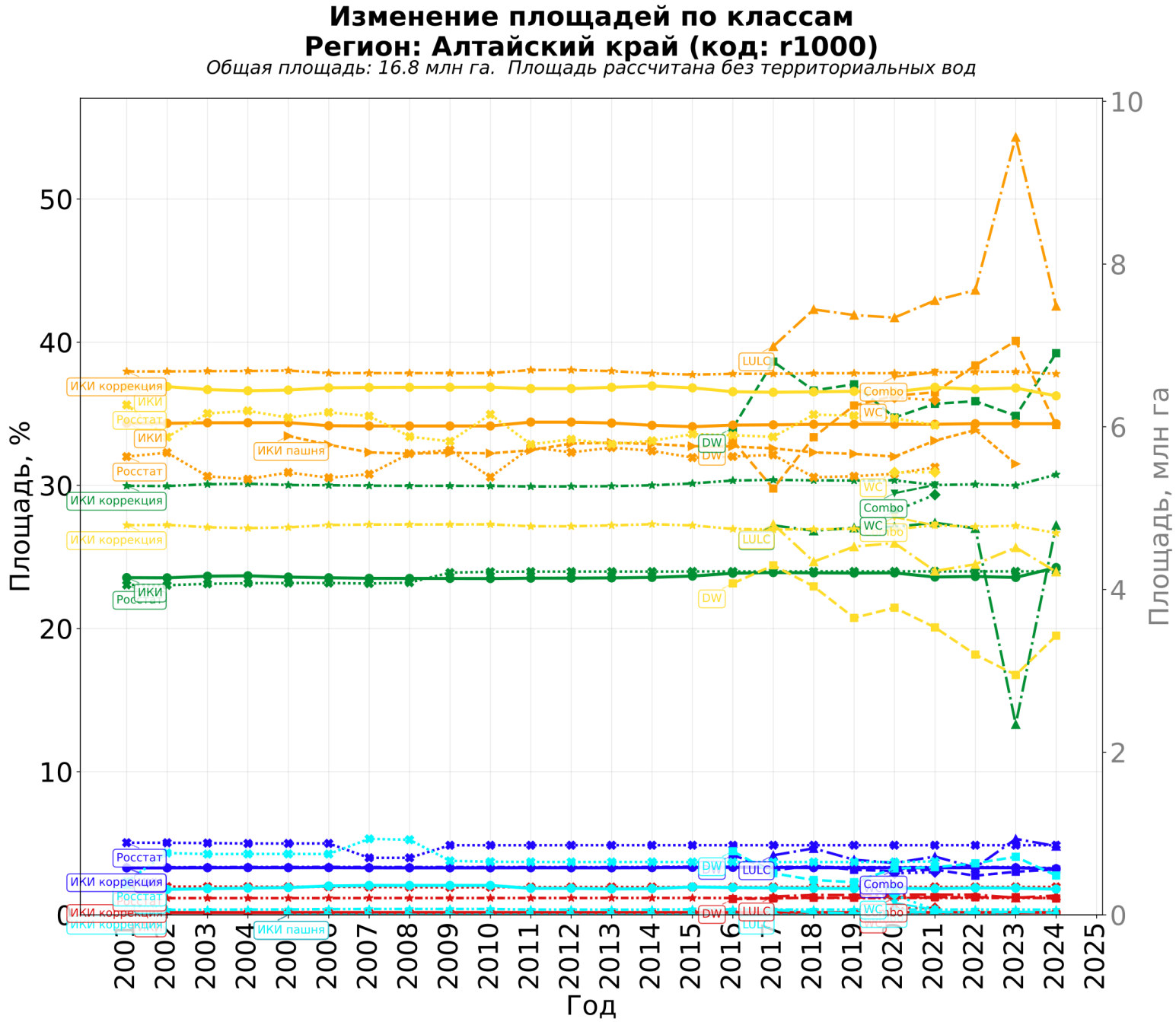
**13 %**

лес по Esri в 2023 г.; в соседние годы — 27 %

**24 → 17 %**

луга по DW за 2017–2023 гг.

Площадь края — 16,8 млн га; 1 п.п. ≈ 170 тыс. га



02 · РЯДЫ ПО ГОДАМ

# Ряды по годам: Пензенская область

Пашня растёт в статистике и части карт, но уровни разные

**40,1 %**

пашня по экспертным данным, 2023–2024 гг.; у Esri — 49 %

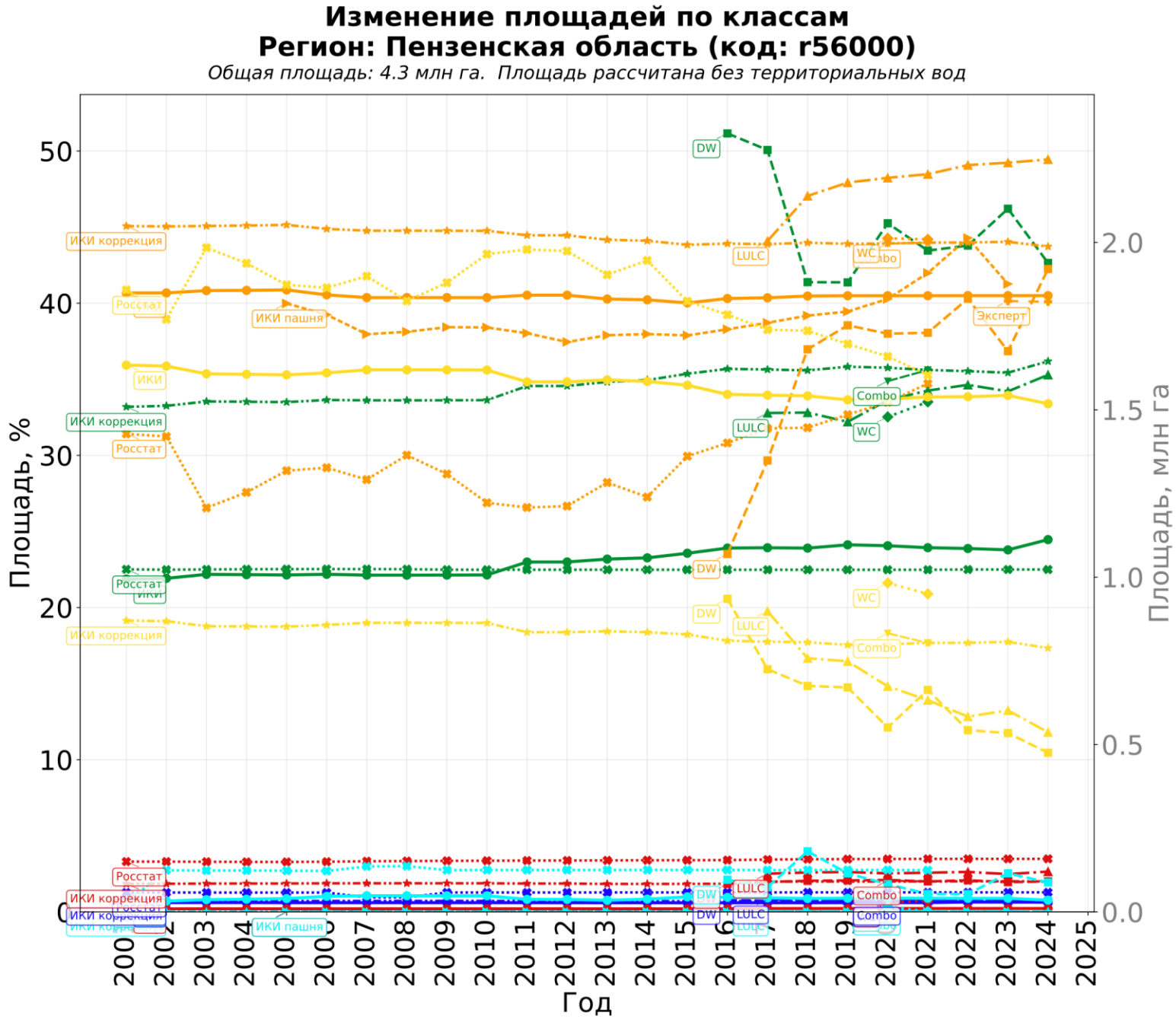
**27 → 35 %**

пашня по Росстату, 2012–2021 гг.

**23 и 41–46 %**

лес: ИКИ и Росстат против DW; у Esri и WorldCover — 32–35 %

Площадь области — 4,3 млн га; 1 п.п. ≈ 43 тыс. га



02 · РЯДЫ ПО ГОДАМ

# Ряды по годам: Камчатский край

Лес и прочие земли у Dynamic World за один год меняются на 13–22 п.п.

**+22 п.п.**

прочие земли по DW с 2017 на 2018 г.; лес — минус 21 п.п.

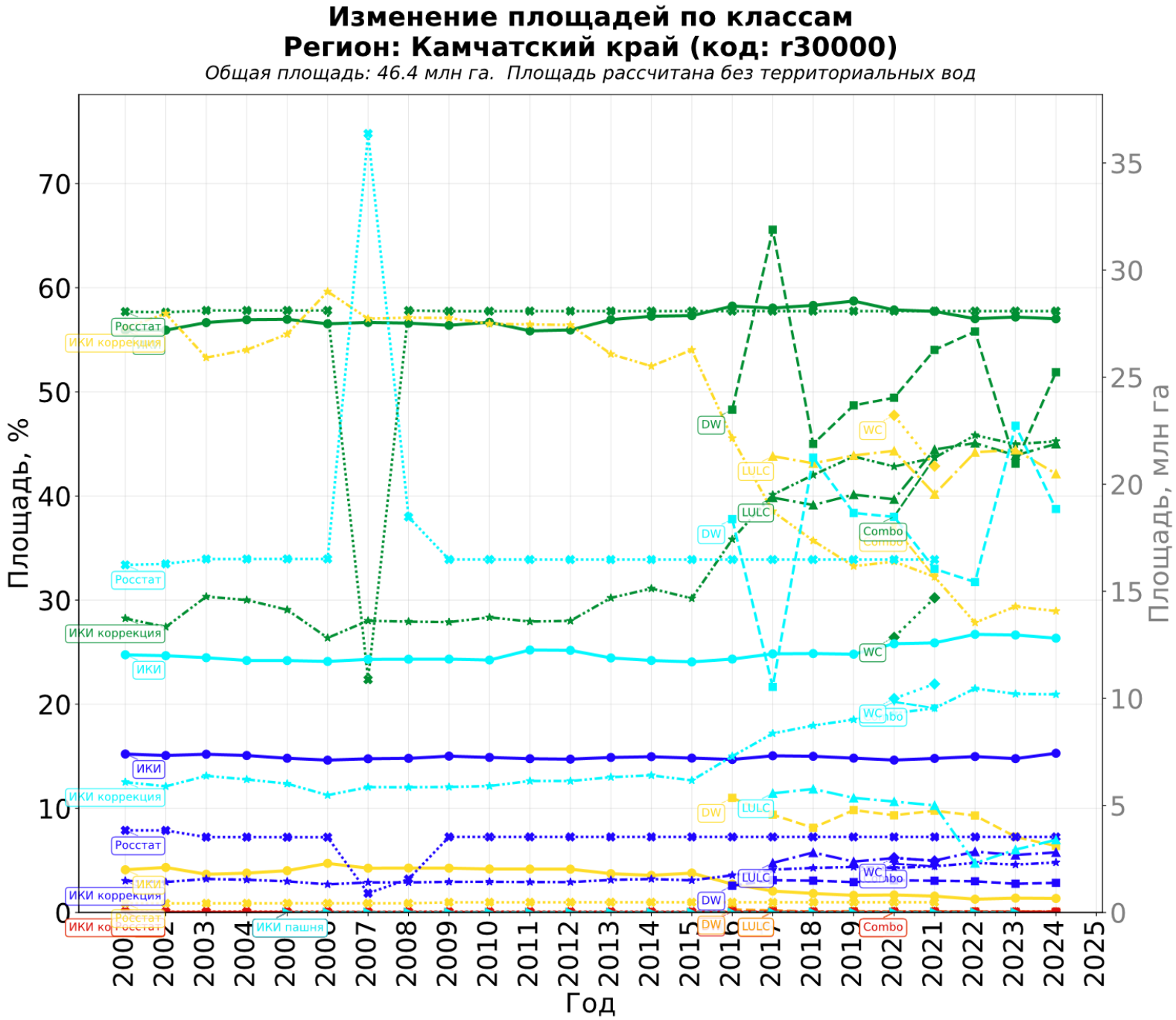
**26–58 %**

лес в 2020–2021 гг.: от WorldCover до ИКИ и Росстата

**15 и 3–6 %**

водно-болотные угодья: ИКИ и десятиметровые карты

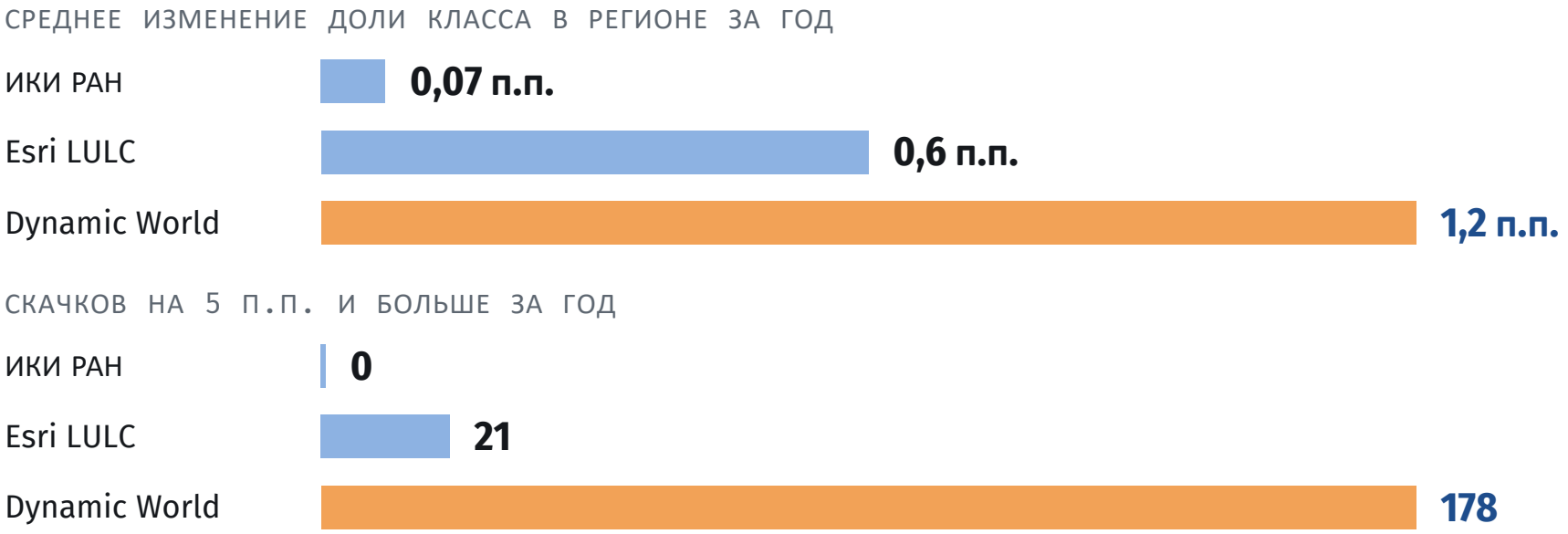
Площадь края ≈ 46 млн га; 1 п.п. ≈ 460 тыс. га



02 · РЯДЫ ПО ГОДАМ

# Межгодовые скачки в ежегодных картах

Разность двух ежегодных карт — ещё не изменения на местности




КРУПНЕЙШИЕ СКАЧКИ

| Источник | Регион | Класс | Годы | п.п. |
|---|---|---|---|---|
| Dynamic World | Камчатский край | прочие земли | 2017→2018 | +22 |
| Dynamic World | Чукотский АО | прочие земли | 2019→2020 | +16 |
| Esri LULC | Алтайский край | лес | 2022→2023 | −14 |
| Esri LULC | Ненецкий АО | прочие земли | 2019→2020 | −13 |

89 регионов × 6 классов × 7 пар соседних лет, 2017–2025 гг.

02 · ИТОГИ

# Итоги сравнения

Карты расходятся и между собой, и от года к году

**48**

регионов, где суммарное расхождение хотя бы одной пары 10-метровых карт — 30 % и более (78 % площади страны)

**×3**

разброс площади лугов и пастбищ между картами; для прочих земель — ×8,6, для поселений — ×10

**≥ 50 %**

различие площади класса между ИКИ и консенсусом 10-м карт — в каждом третьем случае; по лугам — в 57 регионах

**22 п.п.**

скачок доли класса в регионе за один год у одного источника; в среднем у DW — 1,2 п.п. в год, у ИКИ — 0,07

## Засушливые районы, тундры, болота

наиболее проблемные территории; в агрорегионах и городах — лесополосы и городская зелень

## Ни одна карта не эталон

нужны проверочные данные по России и оценка неопределённости площадей

03

# От категорийных карт к вероятностным

Продукты о частоте наблюдения типов поверхности по данным Sentinel-2

категория или частота · архив частотных продуктов · что они дают

# Категория или частота?

Категорийная карта сводит сезон к одному классу, частотный продукт сохраняет доли

Безоблачные наблюдения одного пикселя за сезон — условный пример: заливной луг



апрель: снег  май: половодье  июнь–август: луг  сентябрь: распахали  октябрь: снег




Анимация: переходы классов в течении сезона, Sentinel-2, «Вега-Science»

## Категорийная карта

Один класс — «луга», наиболее частый за сезон

## Частотный (вероятностный) продукт

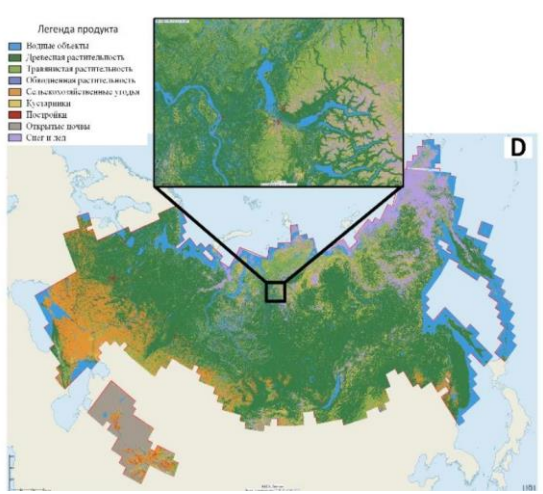
| Луга 50 % | ВБУ 20 % | Снег 20 % | Пашня 10 % |
|---|---|---|---|

Доли наблюдений каждого класса (луга — 50 %, пашня — 10 %) и число безоблачных наблюдений — 20

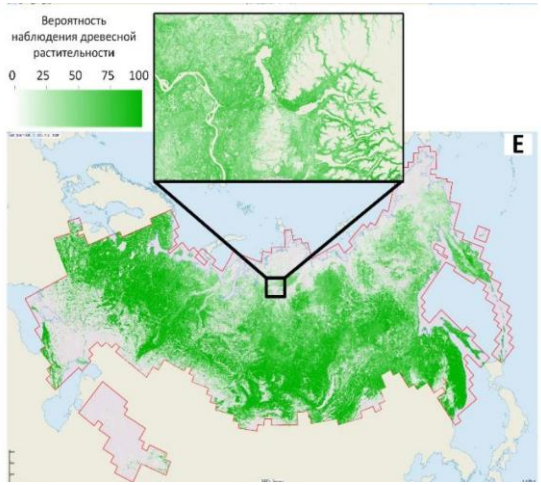
03 · ВЕРОЯТНОСТИ

# Архив частоты наблюдения типов поверхности

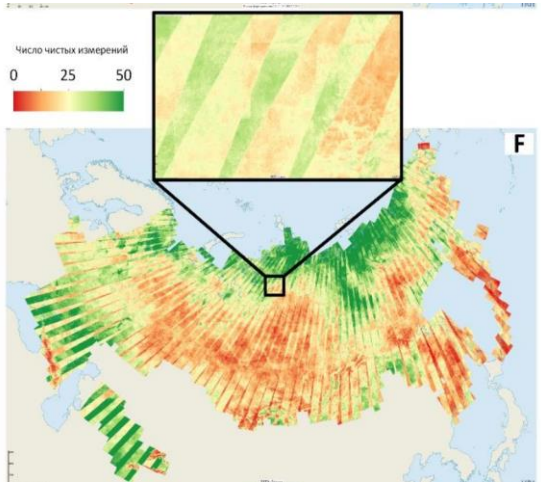
Для каждого пикселя — доля безоблачных наблюдений каждого класса и их число




Наиболее частый класс (Dynamic World)




Доля наблюдений «древесной растительности», %




Число безоблачных наблюдений

Кашницкий А.В., Лупян Е.А. Архив информационных продуктов о частоте наблюдения типов поверхности на основе данных Sentinel-2, 2025. Пример — май–сентябрь 2024 г.

**2016–2024**
несколько сезонов каждого года

**Sen2Cor и DW**
20 м и 10 м; 5 и 9 классов

**18 млн км²**
Северная Евразия, 2439 тайлов

**Вега-Science**
доступ к архиву

03 · ВЕРОЯТНОСТИ

# Что дают частотные продукты

Явный учёт изменчивости и неопределённости там, где категорийные карты расходятся сильнее всего



## Пороги вместо одного класса

Постоянная вода, устойчивый лес — класс в большинстве наблюдений; порог выбирается под задачу



## Диапазон площадей

Площадь класса при разных порогах — оценка неопределённости вместо одного числа



## Динамичные территории

Поймы и зоны затопления, поля с севооборотом, используемые и неиспользуемые сельхозземли



## Контроль качества

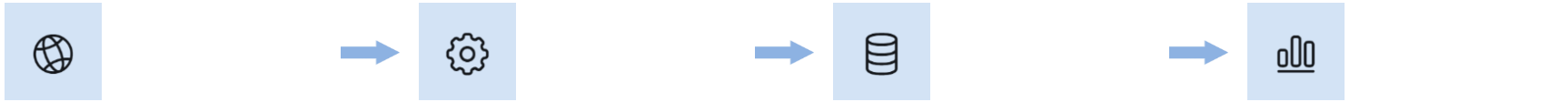
Число безоблачных наблюдений показывает, где оценке можно доверять

Частотные продукты не заменяют карты, но делают изменчивость и ошибки исходных классификаций видимыми

03 · ПЕРСПЕКТИВЫ

# Эмбеддинги вместо готовых карт

Не класс, а признаки каждого пикселя: карту в своей легенде строят по небольшой выборке



**Снимки за год**

Sentinel-1 и -2, Landsat, лидар и другие данные

**Модель-основа**

обучена один раз на данных со всей Земли

**Эмбеддинг**

64 числа на каждый пиксель 10 м, каждый год

**Своя карта**

небольшая выборка и простой классификатор — любая легенда

ЧТО УЖЕ ДОСТУПНО

| Продукт | Кто, год | Данные и доступ |
|---|---|---|
| AlphaEarth Foundations | Google DeepMind, 2025 | 10 м, 64 признака, ежегодно 2017–2024; Earth Engine, CC-BY 4.0 |
| TESSERA | Кембриджский ун-т, 2025 | Sentinel-1 и -2, 10 м, 128 признаков; открытые модель и код |
| Prithvi-EO-2.0, Clay | NASA и IBM; Clay | открытые модели-основы для дообучения под свою задачу |

## Для России

Карту можно строить сразу в категориях учёта по своей выборке — без переклассификации чужих легенд

Но проверочные данные всё равно нужны, а согласованность эмбеддингов по годам ещё предстоит проверить

Эмбеддинг — сжатое описание всех наблюдений пикселя за год; похожие участки дают близкие векторы

ВЫВОДЫ

# Заключение

Прежде чем считать площади по карте, сравните её хотя бы с одним-двумя другими источниками

1. Открытых карт много: от 1 км до 10 м, ежегодные ряды, вероятности классов; растут разрешение и частота, повсеместно — машинное обучение

2. Для России карты существенно расходятся — и между собой, и от года к году: в 48 регионах суммарное расхождение долей классов между 10-метровыми картами — 30 % и более

3. Главные источники неопределённости — луга и пастбища, тундры и кустарники, пашня в засушливых районах, поселения; часть расхождений заложена в легендах

4. Ни одна карта не эталон: нужны проверочные данные по России, согласование легенд с категориями учёта, оценка неопределённости площадей

5. Возможные перспективы — вероятностные (частотные) продукты и эмбеддинги: пороги, диапазоны площадей, карты в своей легенде

ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ · ИКИ РАН

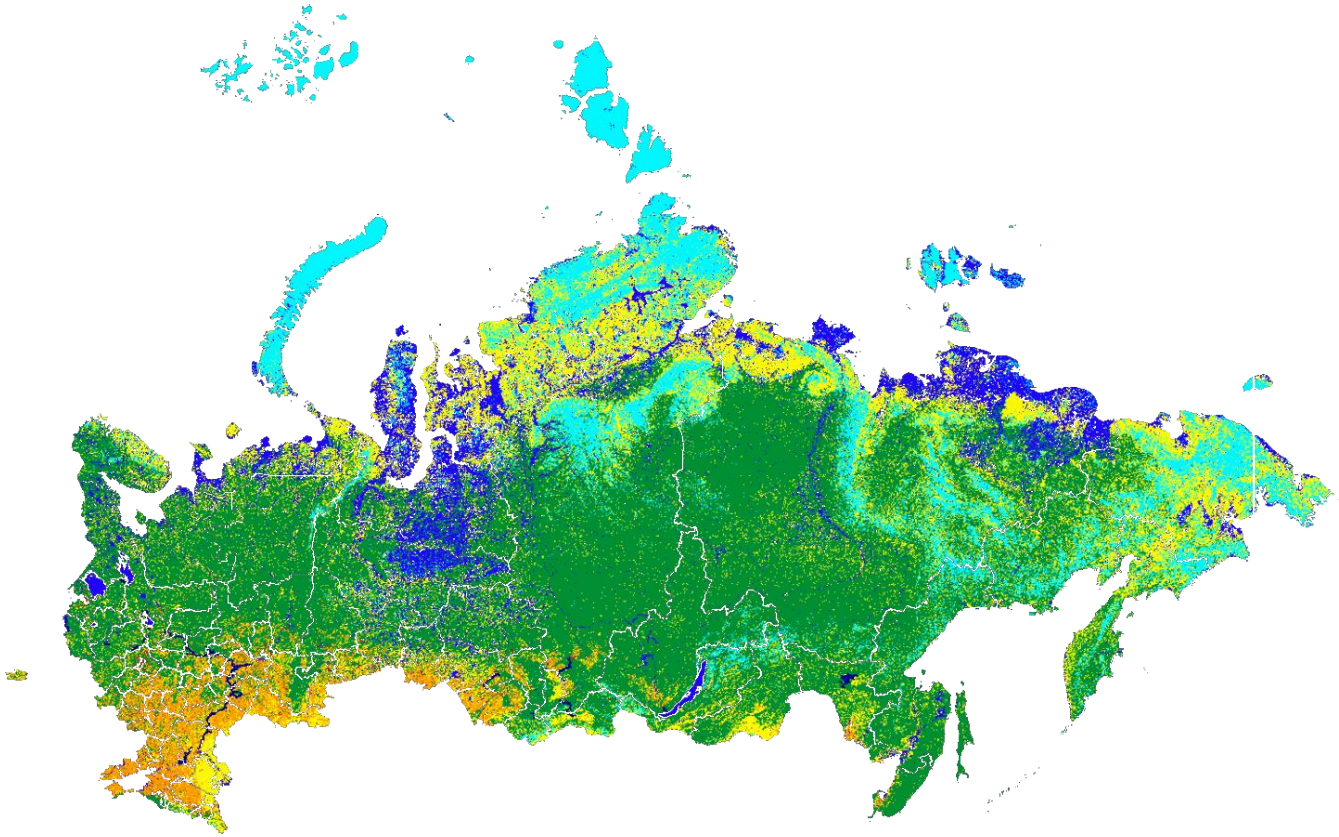
# Спасибо за внимание

**А.В. Кашницкий**

Институт космических исследований РАН

kashnitskii@d902.iki.rssi.ru

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация № 126031818938-6). Получение и обработка спутниковых данных выполнены с использованием ЦКП «ИКИ-Мониторинг».



ДЛЯ СПРАВКИ

# Литература


Мятлев А.А., Колобахин М.Ю., Кашницкий А.В. Обзор работ в области картографирования типов землепользования территории России по данным ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2026. Т. 23. № 3. С. 25–43.

Барталев С.А. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016.

Кашницкий А.В., Лупян Е.А. Архив информационных продуктов о частоте наблюдения типов поверхности на основе данных спутников Sentinel-2 и возможности его применения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 2. С. 335.

IPCC. 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: AFOLU.

Hansen M.C. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. 342.

Gong P. et al. Stable classification with limited sample… (FROM-GLC10) // Science Bulletin. 2019. 64(6).

Potapov P. et al. The global 2000–2020 land cover and land use change dataset… // Frontiers in Remote Sensing. 2022. 3.

Zhang X. et al. GLC_FCS30D… // Earth System Science Data. 2024. 16.

Zanaga D. et al. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. Zenodo, 2022. Karra K. et al. Global land use / land cover with Sentinel-2 and deep learning // IGARSS 2021.

Venter Z.S. et al. Global 10 m land use land cover datasets: a comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover // Remote Sensing. 2022. 14(16): 4101.

Xu P. et al. Comparative validation of recent 10 m-resolution global land cover maps // Remote Sensing of Environment. 2024. 311: 114316.

Wang Z., Mountrakis G. Accuracy assessment of eleven medium resolution global and regional land cover land use products // Remote Sensing. 2023. 15(12): 3186.

Wang Y. et al. Evaluation of six global high-resolution global land cover products over China // Int. J. Digital Earth. 2024. 17(1).

Kerner H. et al. How accurate are existing land cover maps for agriculture in Sub-Saharan Africa? // Scientific Data. 2024.

Parente L. et al. Annual 30-m maps of global grassland class and extent (2000–2022) // Scientific Data. 2024.

Brown C.F. et al. Dynamic World… // Scientific Data. 2022. 9: 251.

Brown C.F. et al. AlphaEarth Foundations… // arXiv:2507.22291. 2025.