

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ КАРТЫ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ПО ДАННЫМ ДЗЗ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Мятлев Алексей Алексеевич (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 настоящем исследовании разработана технология создания карты типов землепользования территории на основе данных Sentinel-2. В качестве тестового региона выбраны Московская область и город Москва. Карта создана на основе созданной вручную обучающей выборки с помощью методов машинного обучения. В качестве признаков использовались разновременные композитные изображения за летний и зимний периоды.

Актуальность работы

- Полученные в работе методы и результаты картографирования могут найти применение в области государственного управления и планирования.
- Результаты исследования необходимы для оценки значений площадей ежегодных преобразований между категориями землепользования в интересах расчёта выбросов и поглощений парниковых газов в секторе землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ). Такие оценки необходимы, в частности, для формирования климатической отчётности и выполнения положений принятого Россией Парижского соглашения об изменении климата.
- Результаты исследования позволят получать более точные и объективные карты категорий землепользования, что в свою очередь позволит уточнить имеющуюся информацию о выбросах и поглощениях парниковых газов.

Обзор работ в области ландшафтного картографирования по данным ДЗЗ

Был проведен подробный обзор существующих решений в области ландшафтного картографирования по данным ДЗЗ (представлен в отдельном докладе). В результате обзора был сделан следующий основной вывод:

Для решаемой задачи существующие решения не подходят по нескольким причинам:

- качество и точность карт, доступных научному сообществу, не всегда соответствует требованиям;
- многие из этих карт имеют низкое пространственное разрешение;
- требуется учёт региональной специфики и особенностей территории;
- нет универсальной модели машинного обучения, и отсутствуют четкие технические характеристики алгоритмов для их воспроизведения, что заставляет разрабатывать собственный метод.

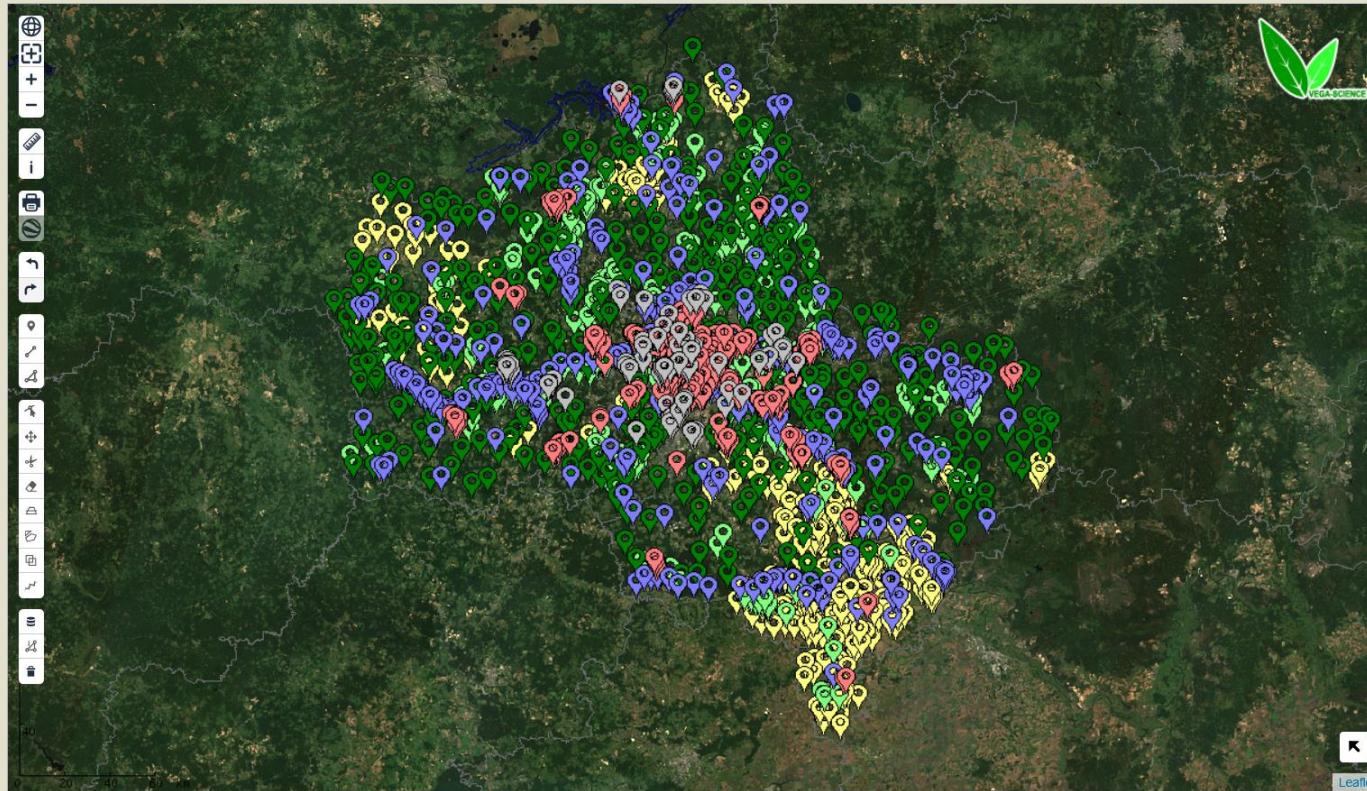
Композитные изображения

Использовались безоблачные сезонные композиты, созданные на основе частоты детектирования типа земной поверхности, по данным серии *Sentinel-2*, которые хранятся в архивах ЦКП ИКИ-Мониторинг (Кашницкий и др., 2022) – двух типов: **ежегодные за сезон вегетации 2023 г.** и **зимние за снежный период 2023-2024 гг.**

Название	Периоды	Годы	Продукты
Композитные изображения по данным с атмосферной коррекцией			
Ежегодный за сезон вегетации	С 1 мая по 30 сентября	2019-2024	Blue, Green, Red, Nir (10м) SWIR1, SWIR2 (20м)
Ежемесячный	Каждый месяц с марта по ноябрь с первого до последнего числа месяца	2019-2024	Blue, Green, Red, Nir (10м) SWIR1, SWIR2 (20м)
Ежесезонный	Весенний (с 1 марта по 31 мая) Летний (с 1 июня по 31 августа) Осенний (с 1 сентября по 30 ноября)	2019-2024	Blue, Green, Red, Nir (10м) SWIR1, SWIR2 (20м)
Снежный (зимний)	С 1 января по 31 марта С 1 декабря по 31 декабря	2019-2024	Blue, Green, Red, Nir (10м) SWIR1, SWIR2 (20м)

Кашницкий А.В., Лупян Е.А. Ежемесячные и сезонные продукты по данным спутников серии *Sentinel-2* в архивах ЦКП ИКИ-Мониторинг: текущее состояние, технология создания и возможности доступа // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – М.: ИКИ РАН. – 2024. – С. 105. URL: http://conf.rse.geosmis.ru/files/pdf/22/10596_Kashnitskii_IKI2024_s2_v2.pdf.

Создание обучающей выборки



Категории землепользования:

1. лесные земли (400)
2. возделываемые земли (300)
3. пастбища (300)
4. водно-болотные угодья (300)
5. поселения (300)
6. прочие земли (100)

Разработка программного кода

1. Подготовка и интеграция геопространственных данных

Считывание и согласование многомерных растровых данных (признаков), а также создание растровой карты меток классов путем растеризации векторных обучающих данных.

2. Подготовка данных для машинного обучения

Формирование обучающей выборки и ее разделение на обучающий и тестовый наборы.

3. Моделирование и оптимизация

Обучение и настройка моделей классификации с подбором гиперпараметров.

4. Оценка качества

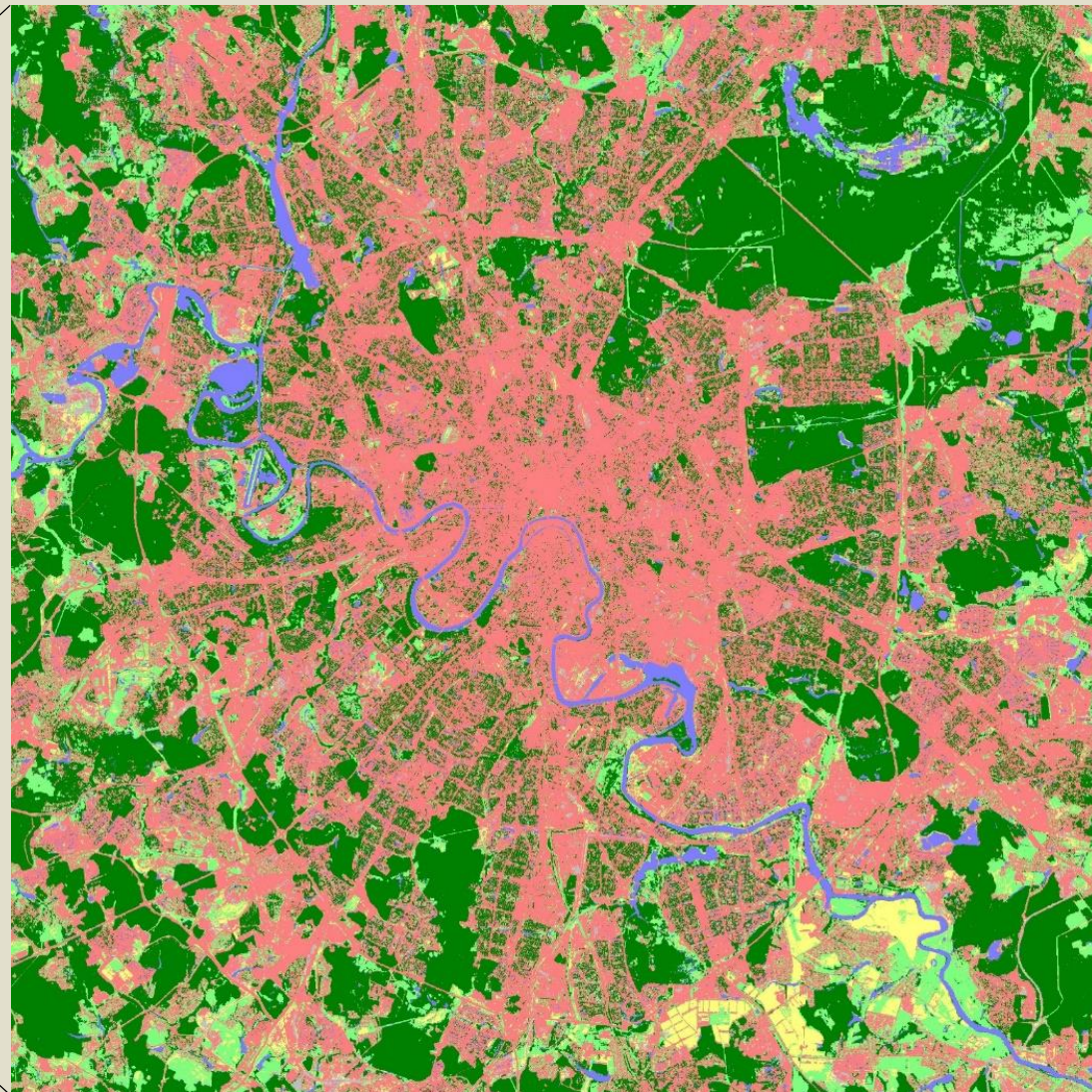
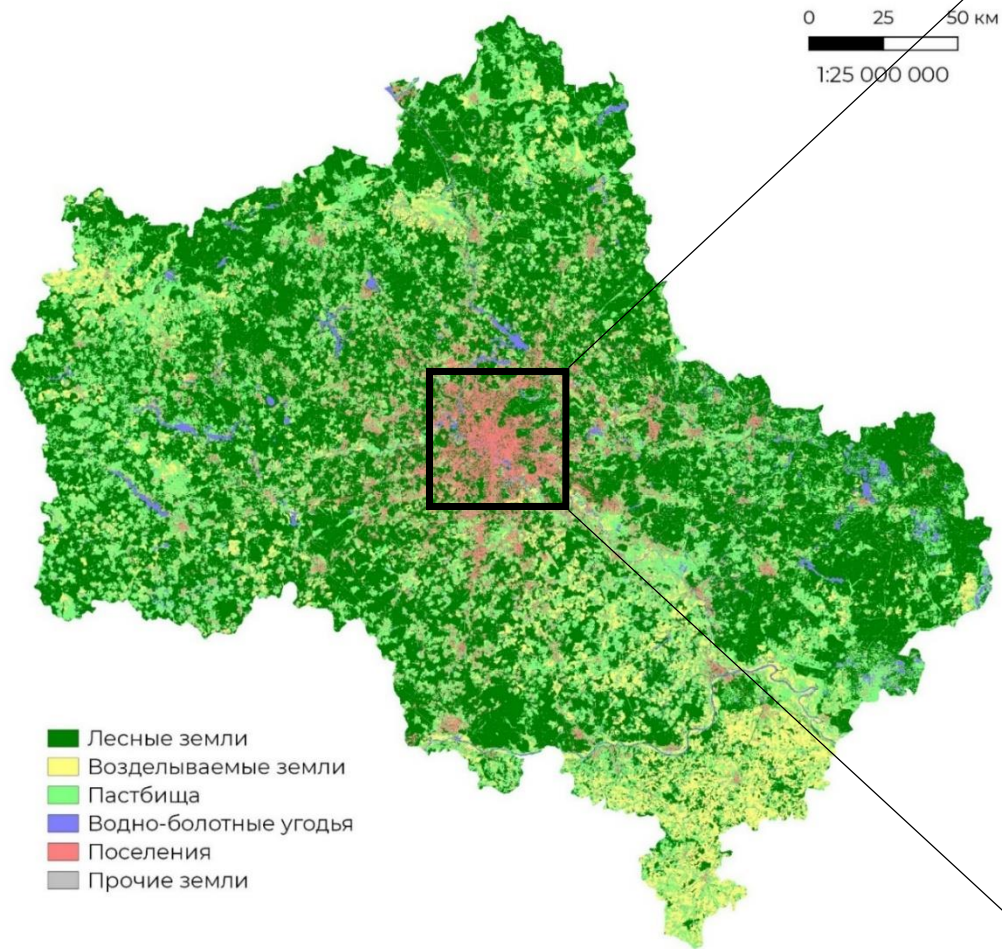
Проведение предсказаний на тестовой выборке и оценка производительности моделей с использованием стандартных метрик.

5. Финальная картографическая продукция

Создание итоговой карты классификации (использование блочной обработки для эффективного управления памятью) и сохранение результата.

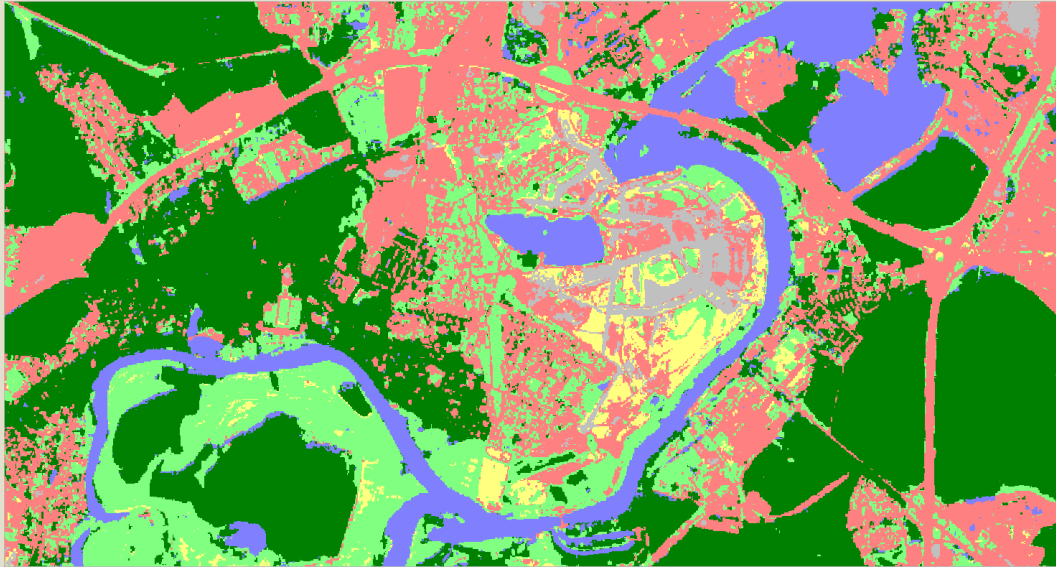
Результаты

Карта категорий землепользования Московского региона за 2023 г.



Сравнение методов

Random Forest



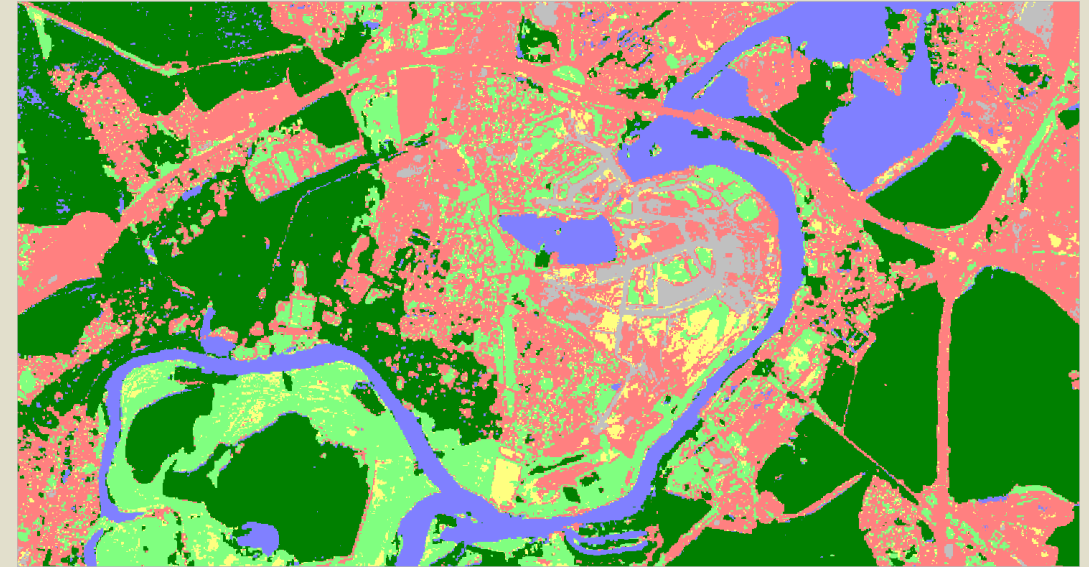
Матрица ошибок:

```
[[115  0  1  0  0  0]
 [  0 77 12  0  0  0]
 [  1 11 76  0  1  0]
 [  1  0  0 87  1  0]
 [  0  2  0  1 84  1]
 [  0  5  0  0  5 19]]
```

Отчет о классификации:

	precision	recall	f1-score	support
1	0.98	0.99	0.99	116
2	0.81	0.87	0.84	89
3	0.85	0.85	0.85	89
4	0.99	0.98	0.98	89
5	0.92	0.95	0.94	88
6	0.95	0.66	0.78	29
accuracy			0.92	500
macro avg	0.92	0.88	0.90	500
weighted avg	0.92	0.92	0.92	500

Decision Tree



Матрица ошибок:

```
[[114  0  1  0  1  0]
 [  0 72 13  0  3  1]
 [  1 10 75  0  3  0]
 [  0  0  0 87  2  0]
 [  0  2  0  1 81  4]
 [  0  6  0  0  3 20]]
```

Отчет о классификации:

	precision	recall	f1-score	support
1	0.99	0.98	0.99	116
2	0.80	0.81	0.80	89
3	0.84	0.84	0.84	89
4	0.99	0.98	0.98	89
5	0.87	0.92	0.90	88
6	0.80	0.69	0.74	29
accuracy			0.90	500
macro avg	0.88	0.87	0.88	500
weighted avg	0.90	0.90	0.90	500

Аналитика результатов

Структура типов землепользования
в Московском регионе в 2023 г.

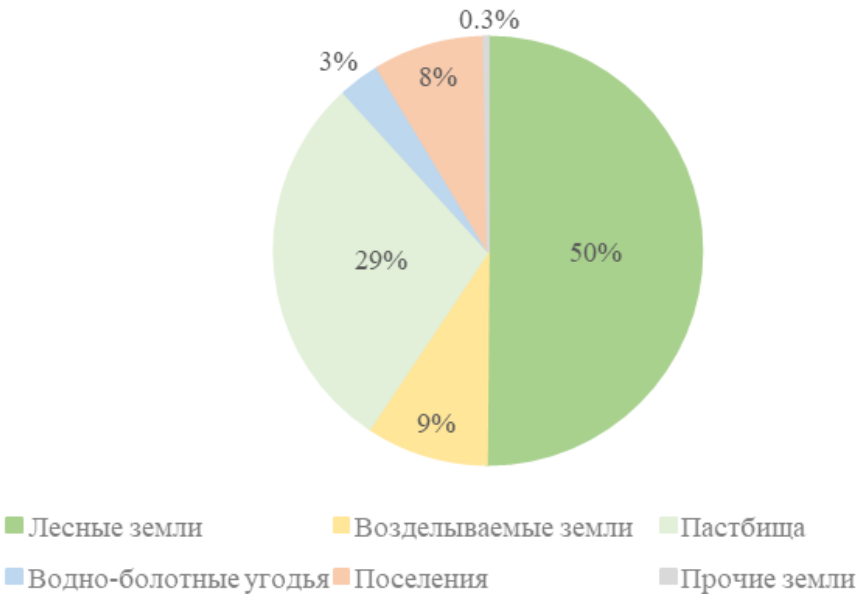


Диаграмма и статистика распределения
площадей по классам землепользования

id	Класс	Площадь, км²
1	Лесные земли	23 535
2	Возделываемые земли	4337
3	Пастбища	13 564
4	Водно-болотные угодья	1461
5	Поселения	3920
6	Прочие земли	135
	ВСЕГО	46 952

Заключение

- Создана региональная карта категорий землепользования по данным ДЗЗ высокого разрешения с точностью классификации 92% на основе методов машинного обучения.
- Создана репрезентативная обучающая выборка на основе экспертного дешифрирования, обеспечивающая надёжность моделей.
- Разработанные методы и инструменты могут быть масштабированы на другие временные периоды для мониторинга изменений землепользования.
- Планируется дополнение и расширение исследования:
 - *включение дополнительных данных и индексов,*
 - *(возможно) улучшение обучающей выборки,*
 - *оптимизация алгоритмов для повышения точности классификации,*
 - *сравнение результатов с другими существующими решениями.*

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ КАРТЫ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ПО ДАННЫМ ДЗЗ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Мятлев Алексей Алексеевич (ФКИ МГУ)
Кашницкий Александр Витальевич (ИКИ РАН)

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