

Анализ динамики застройки г. Ереван на основе нейросетевых алгоритмов распознавания и классификации разновременных данных дистанционного зондирования

Скударь М.К., Медведев А.А., Курамагомедов Б.М.

- Национальный исследовательский университет, Высшая школа экономики
- Институт географии РАН
- Центр Эколого-ноосферных исследований НАН РА

Актуальность и новизна

Актуальность

- Существующие архивы кадастровой информации и планировочной информации для большинства городов не дают возможность производить оценку динамики застройки с точностью до каждого строения и в основном охватывают период в несколько десятилетий.
- Разновременные архивы аэрокосмической информации позволяют производить анализ за большой период времени и восстановить историческую хронологию и морфологию городской застройки.

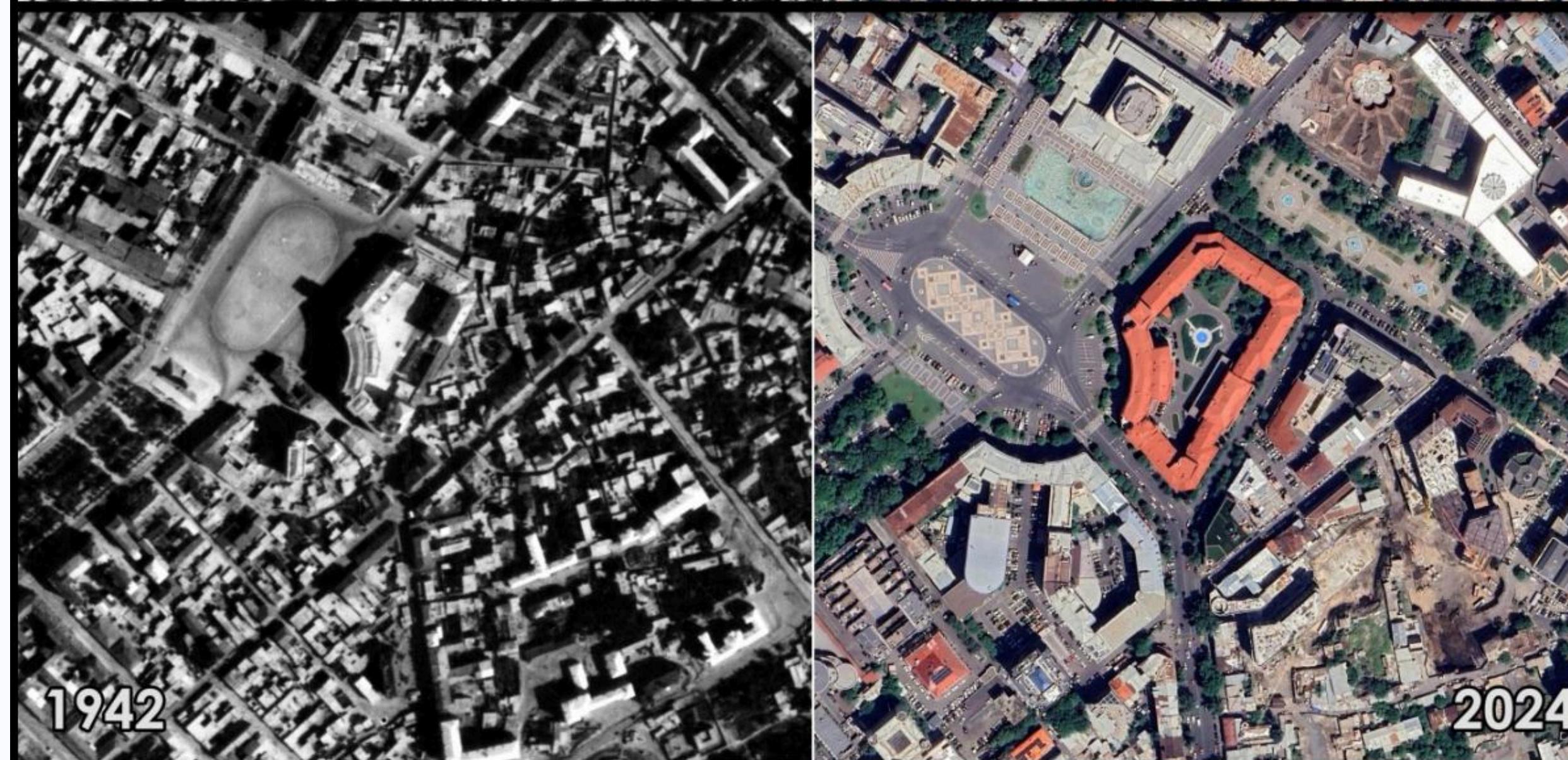
Проблема

Архивные космические снимки и аэрофотоснимки присутствуют в недостаточном количестве, со значительными искажениями из-за применяемой аппаратуры, разным пространственным разрешением и непрямым углом съемки.

Научная новизна

Применение нейросетевых алгоритмов распознавания и классификации на длинной хронологии с 1942 по 2024 годы на разных типах данных дистанционного зондирования с разным пространственным разрешением и углом съемки.

Объект исследования – г. Ереван (Армения)

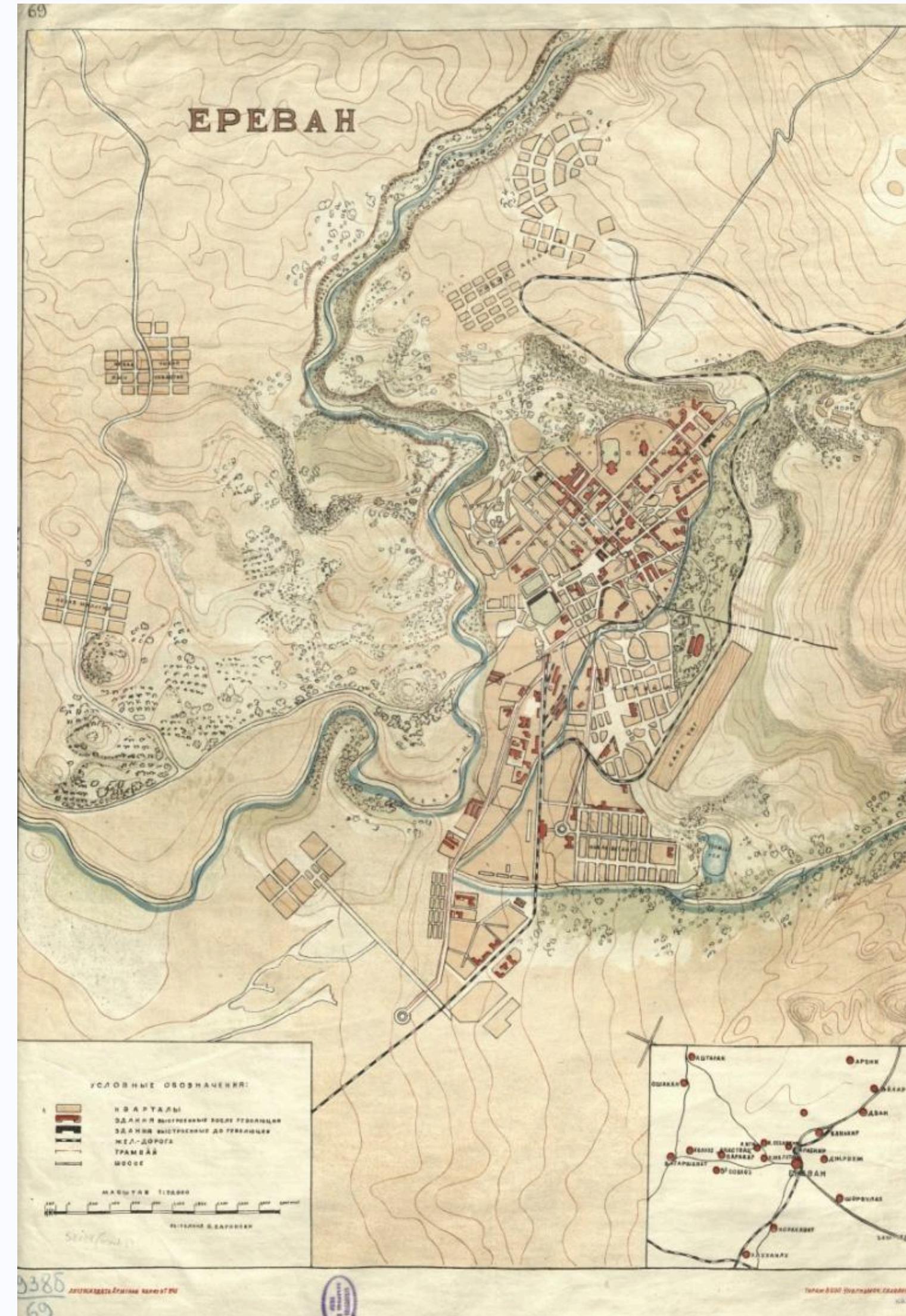


Крупномасштабная актуальная кадастровая информация и планировочная информация сохранилась лишь для постсоветского периода и охватывает лишь последние 25 лет.

Генеральные планы



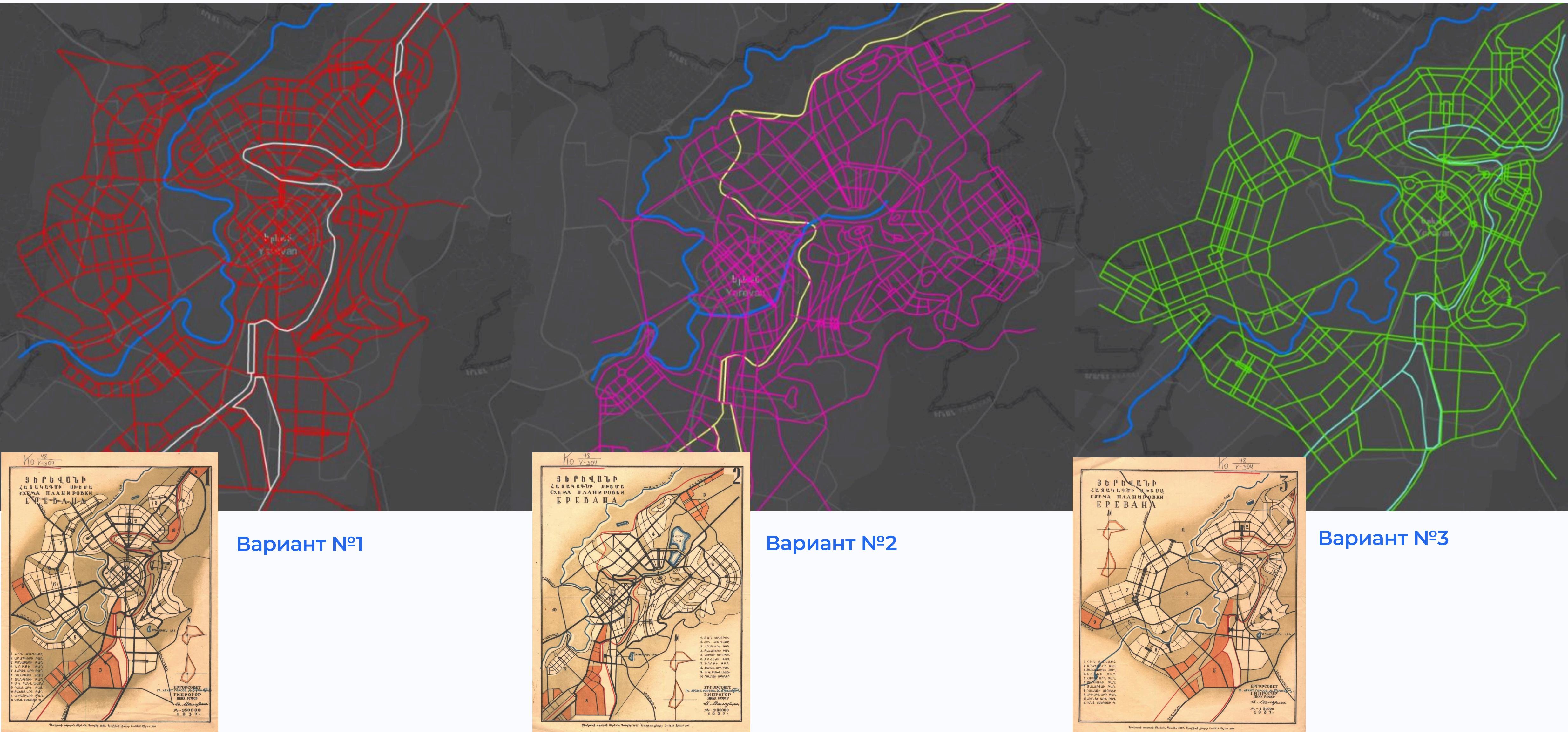
Генеральный план 1933 г.



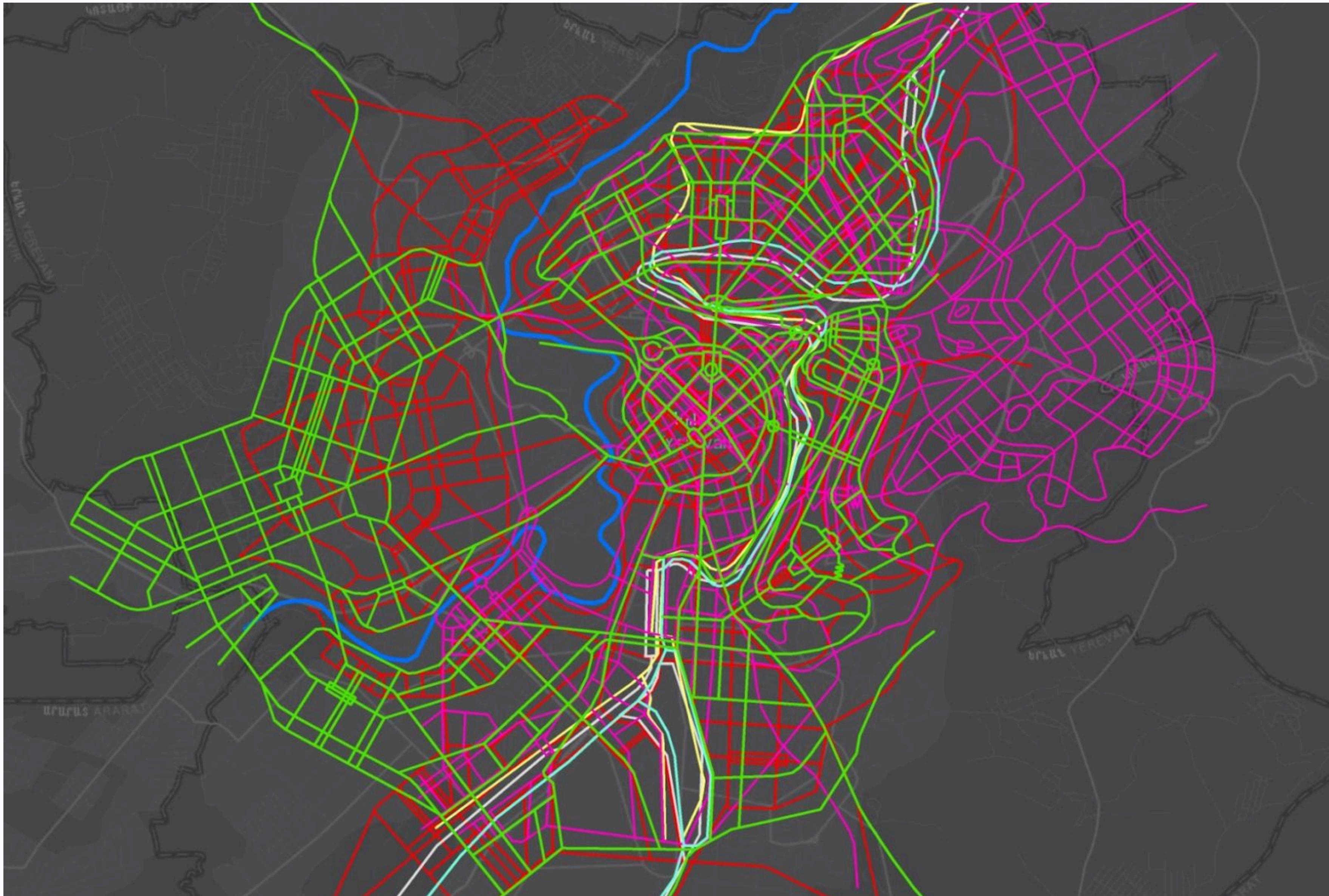
План г. Ереван 1938 г.

- Первые генеральные планы города создавались еще с 1920-х годов прошлого века, но никто не соответствовали реальным границам города и типам его застройки.
- В 1937 году было 3 варианта генеральных планов, но город начал расти и развиваться во всех направлениях, а не по одному из вариантов.
- ДЗЗ с архивными данными даёт реальную картину хронологии застройки, включая типы застройки.

Варианты Генерального плана 1937 г.

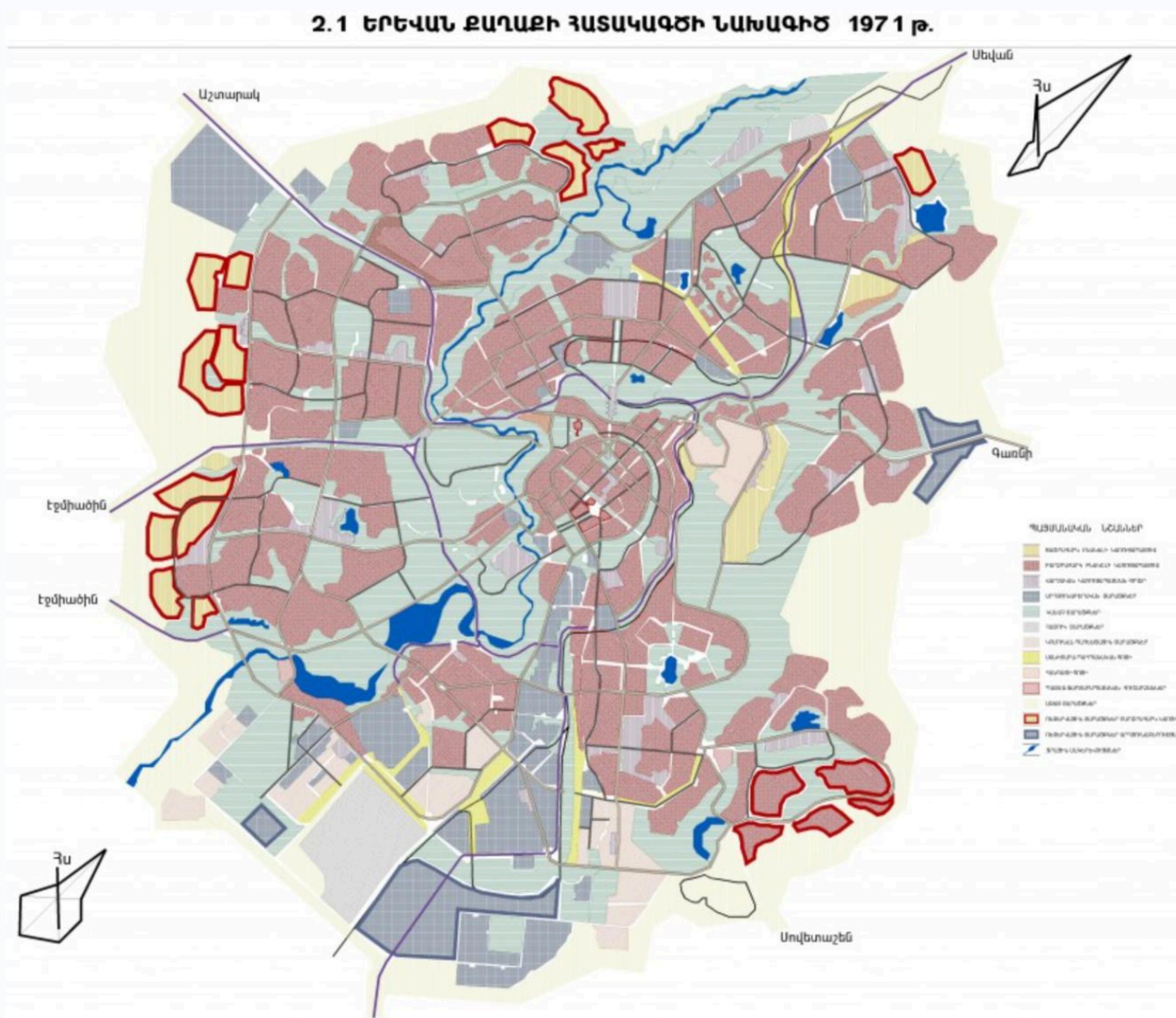


Комбинация вариантов Генерального плана 1937 г.



Хронология развития застройки г. Ереван за последние 100 лет

2.1 ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔԻ ՀԱՏԱԿԱԳԾԻ ՆԱԽԱԳԻԾ 1971 թ.



- 1922 год - бурное развитие промышленности и увеличение жилого фонда,
 - 1924 год - А. Таманян разработал генплан, предполагающий периметральную систему градостроительства
 - 1950 год - присоединение соседних поселков, массовое жилищное строительство развивалось на периферии со свободной и линейной застройкой кварталов
 - 1971 год - разработан генплан, в центре города началось строительство многоэтажных жилых домов до 1980 года
 - В постсоветские годы началась неконтролируемая застройка центра зданиями разной этажности

Космические снимки и архивные аэрофотоснимки

1942 - аэрофотоснимок



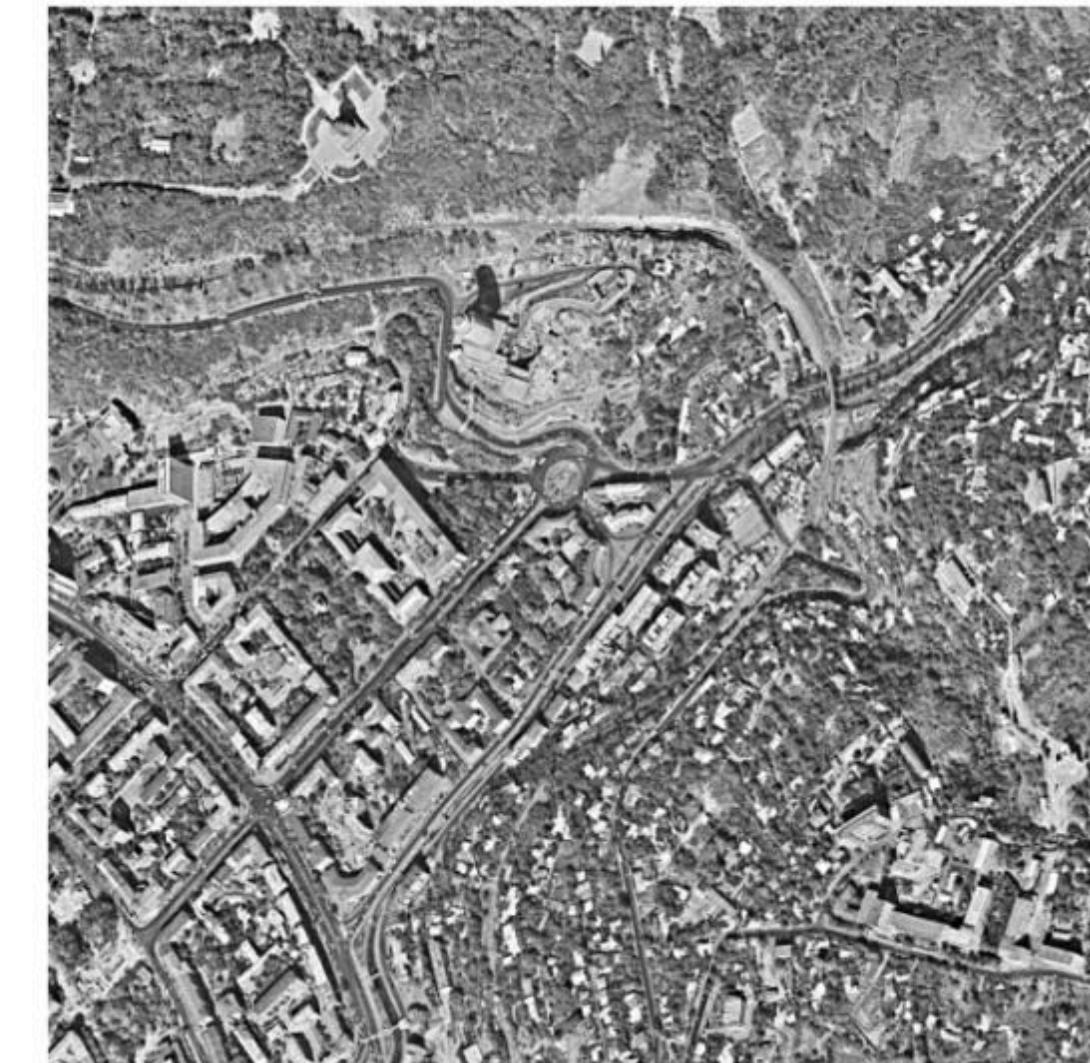
1967 - Corona



1971 - Corona



1983 - Corona



2005 - OrbView-3



2017 - PlanetScope



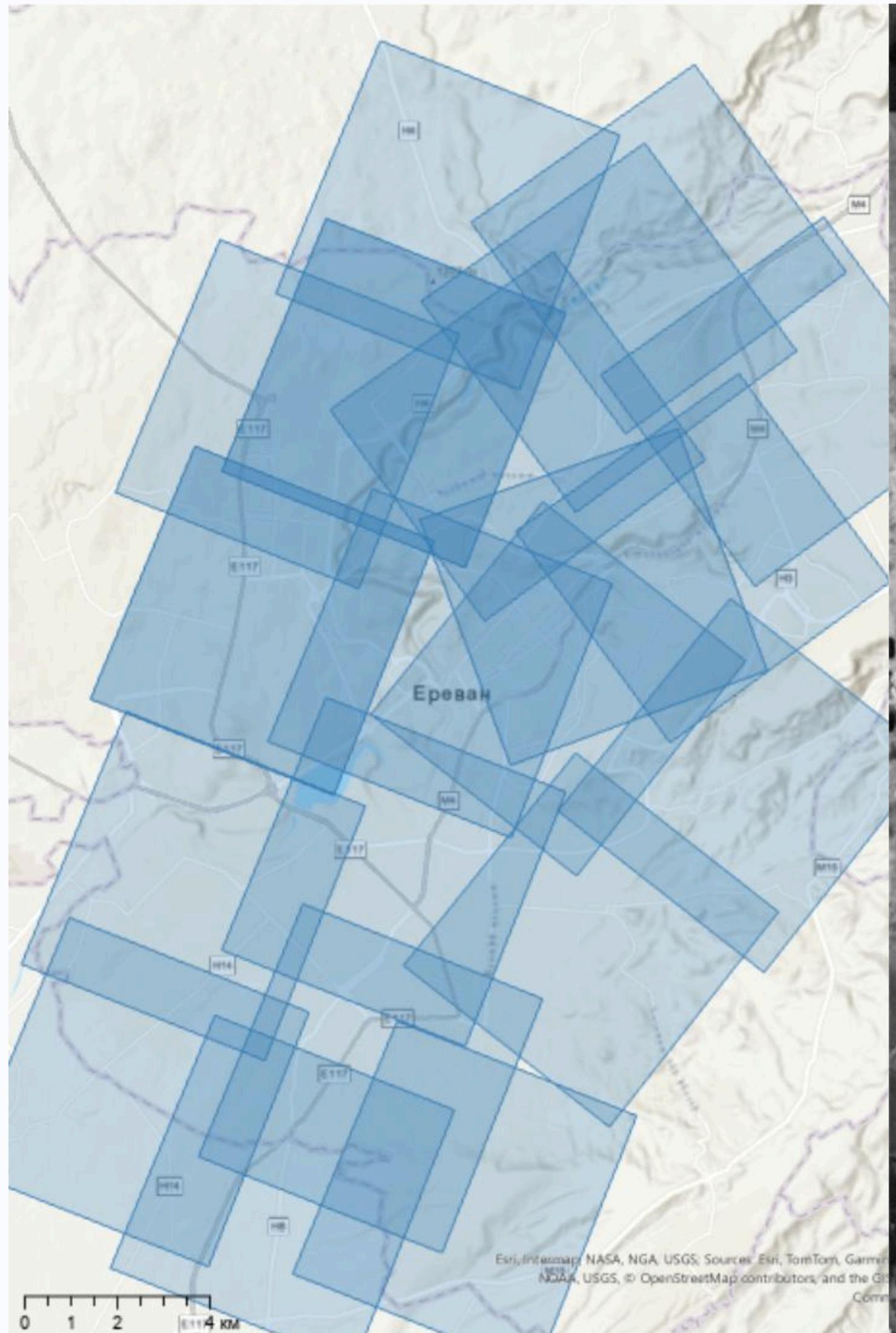
2023 - WorldView-3



2024 - PlanetScope



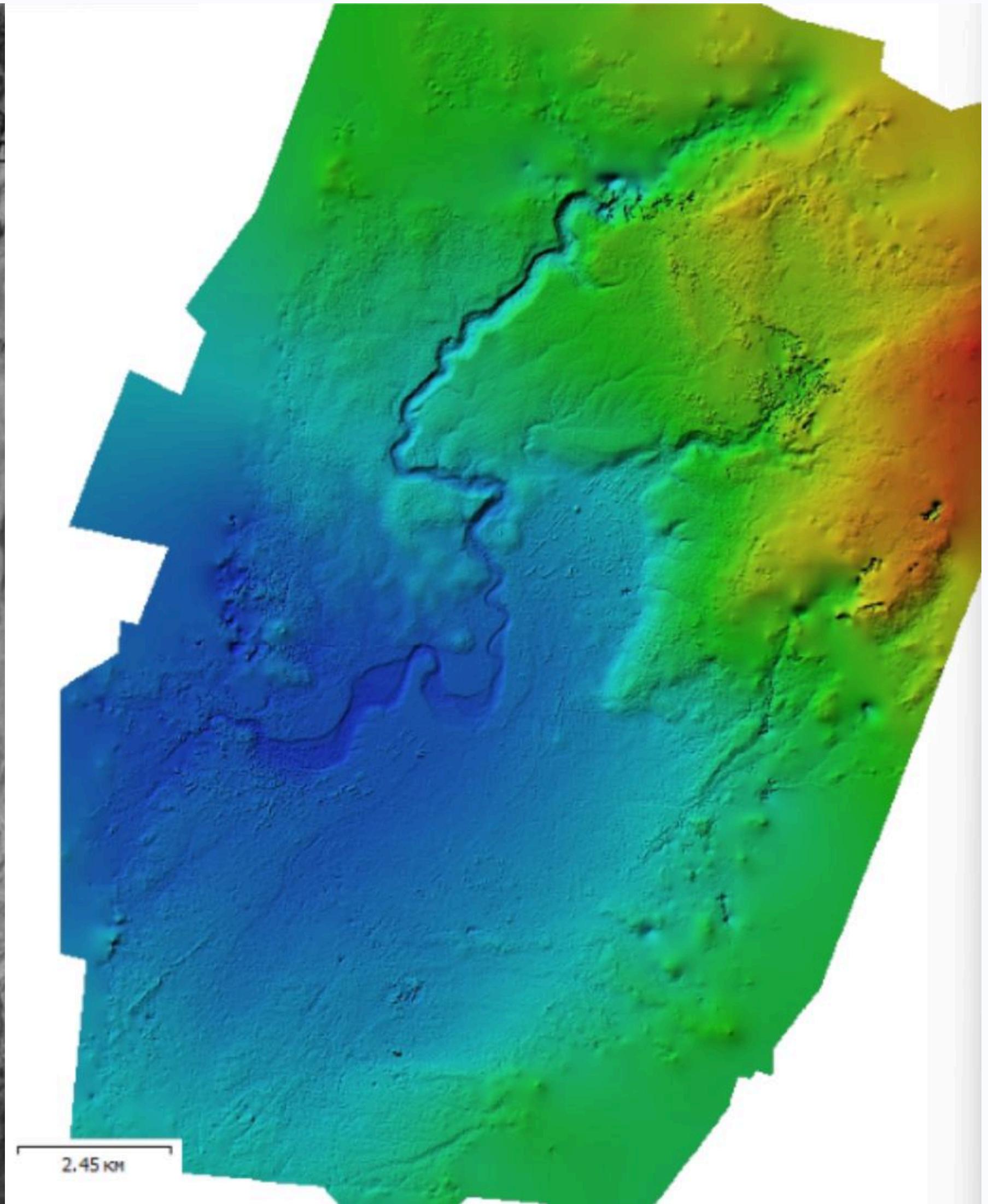
Материалы аэрофотосъемки 1942 г.



Покрытие снимками

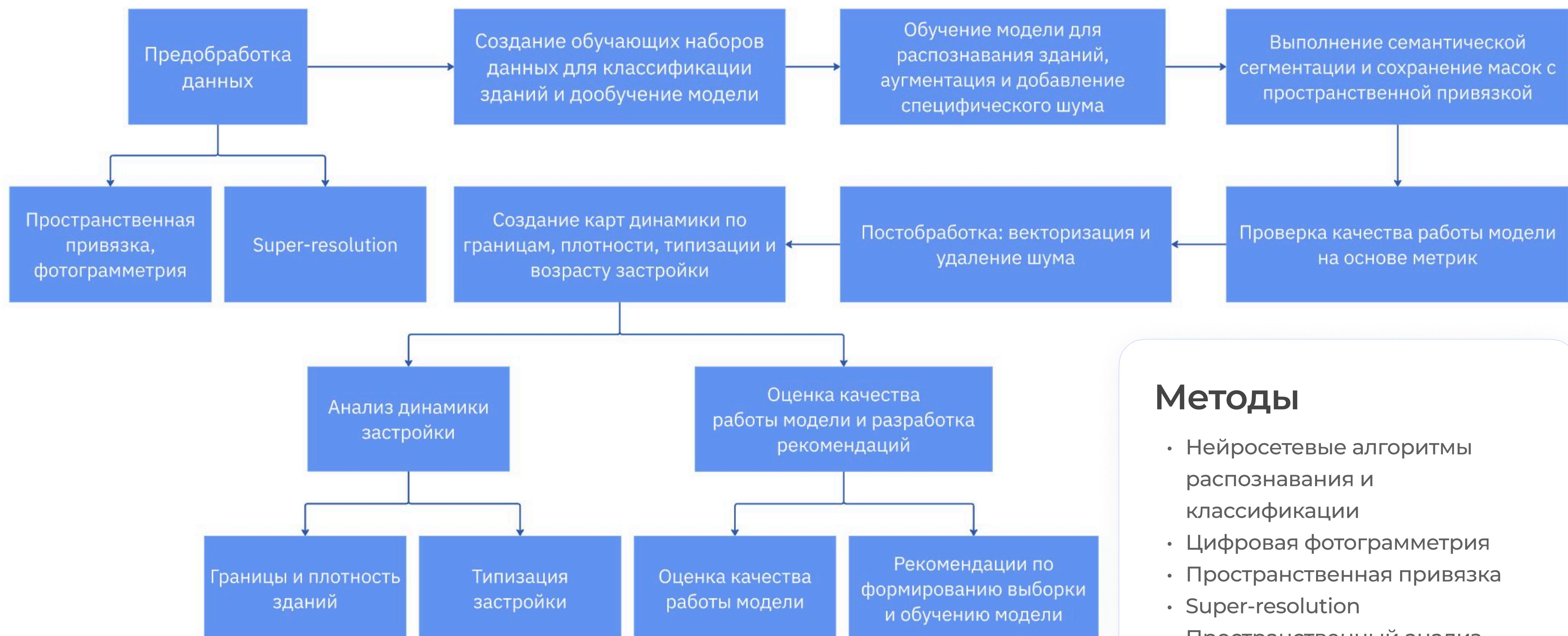


Ортофотоплан



Цифровая модель местности

Этапы работы



Методы

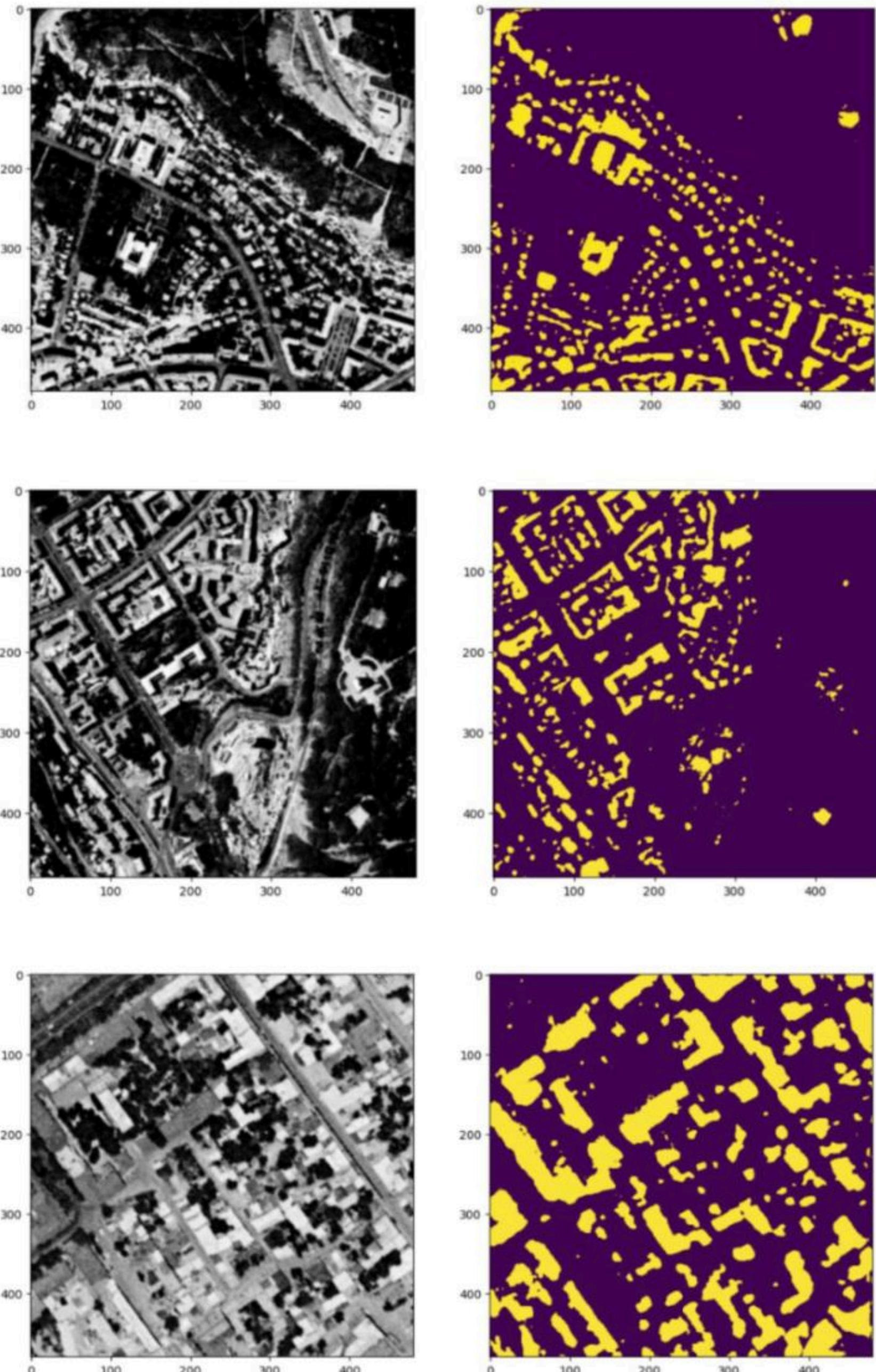
- Нейросетевые алгоритмы распознавания и классификации
- Цифровая фотограмметрия
- Пространственная привязка
- Super-resolution
- Пространственный анализ динамики застройки

Алгоритмы и принципы обработки данных

- Архитектура DeepLabV3+ с кодировщиком ResNet34
- Функция активации - softmax
- Функция потерь - кросс-энтропия
- Пороговый и классификационный методы сегментации
- Аугментация обучающего набора данных: пятна размытия и артефакты, геометрическая аугментация, стандартизация данных
- Выгрузка осуществлялась в формат tiff через библиотеку Rasterio

Проблемы распознавания застройки

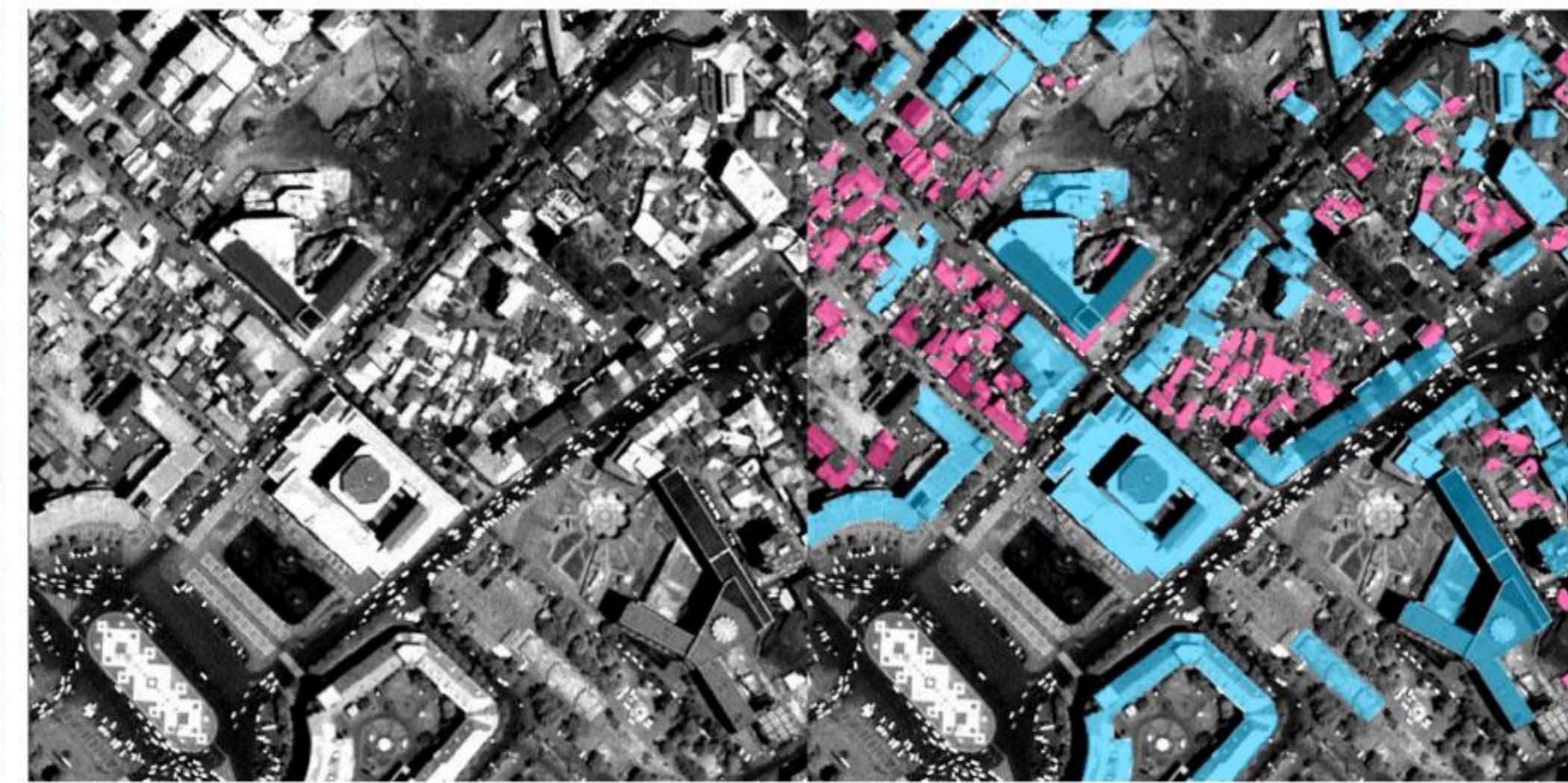
- Различные цветовые и текстурные характеристики крыш зданий на разной высоте съемки
- Сложная форма зданий
- Разный фон около здания (почва, растительность, асфальт)
- Перекрытие краев зданий деревьями
- Наличие теней
- Шум
- Разный размер зданий, которые при высокой плотности сливаются



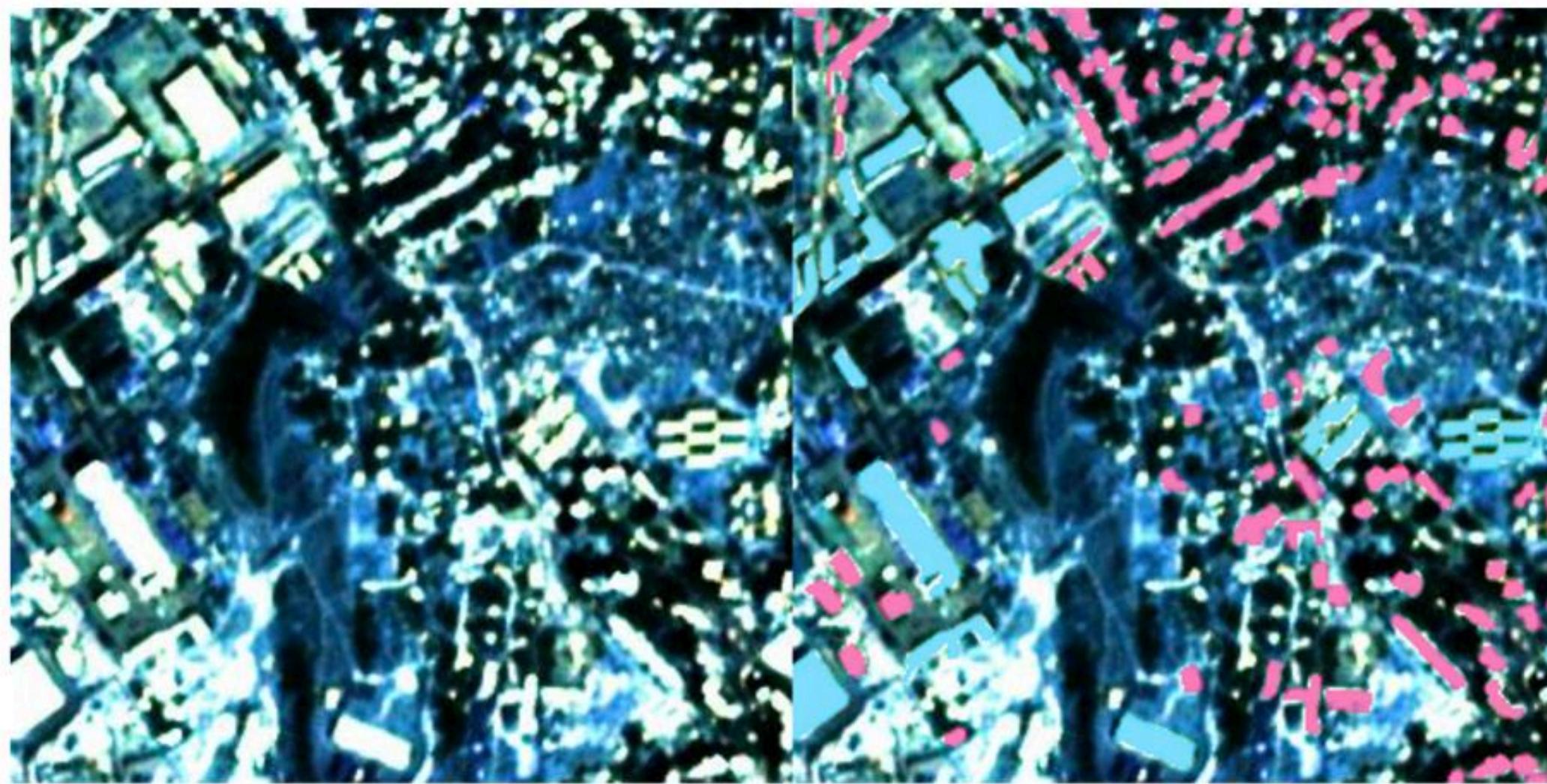
Обучающий набор данных для формирования признаков зданий



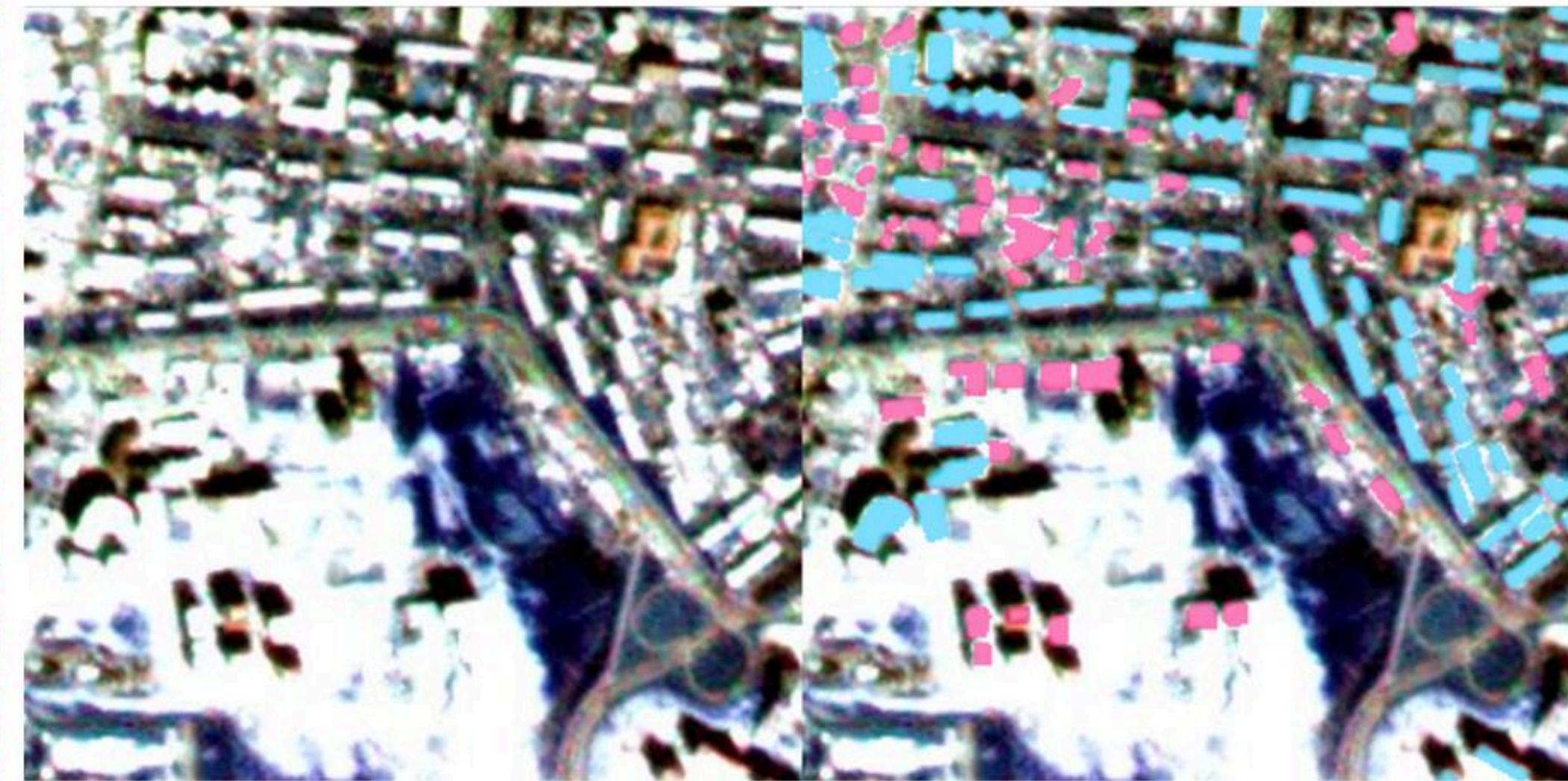
2023



2005



2017



2024

Обучающий набор данных для формирования признаков зданий



1983



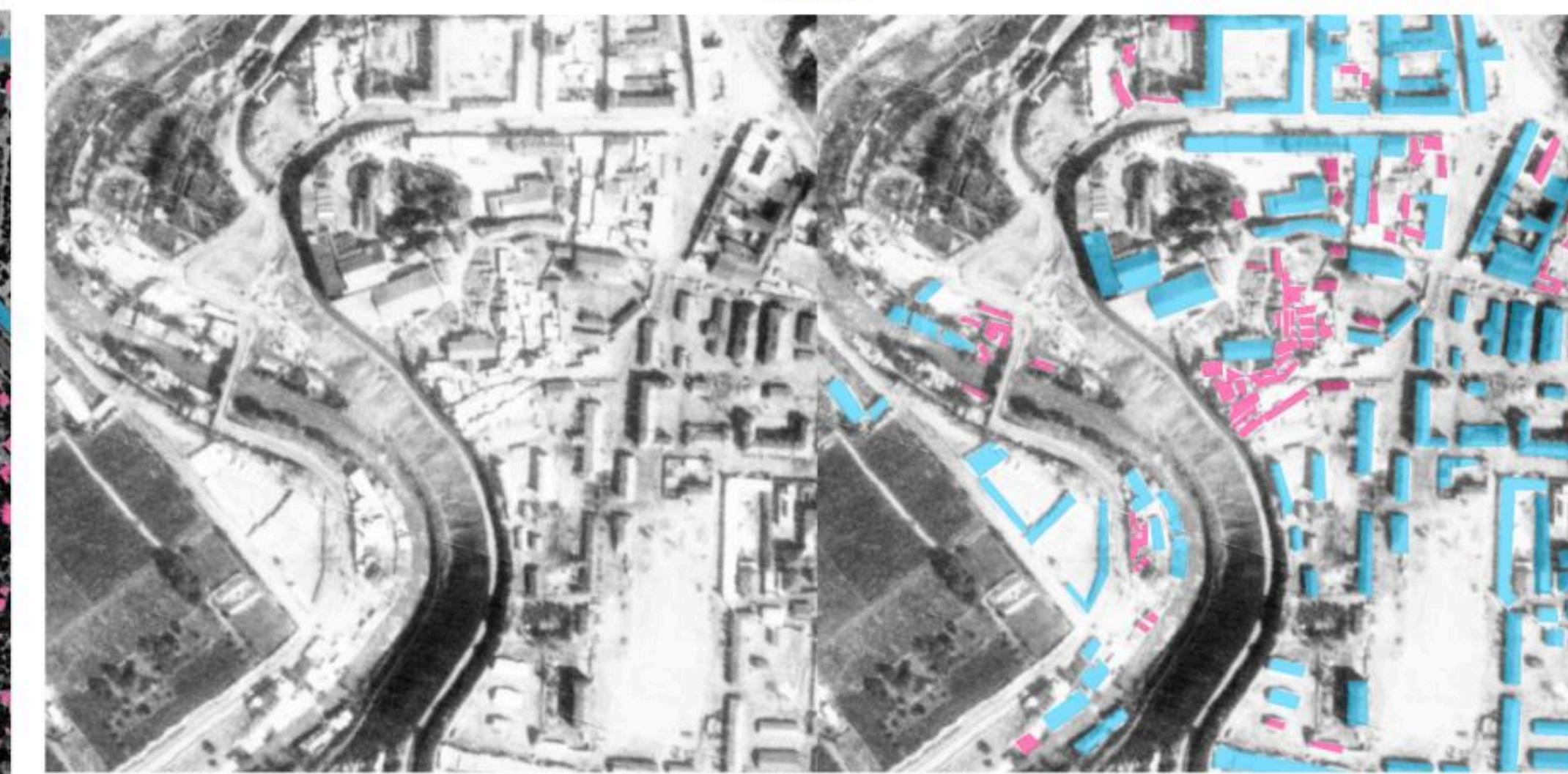
1971



1967



1942



Особенности обучающего набора данных

Год	Положительные характеристики снимка	Негативные характеристики снимка	Признаки распознавания зданий
2024 PlanetScope	Синтезированный цветной снимок	Нечеткие углы и границы зданий (высокое пространственное разрешение)	Спектральная яркость зданий, цветовые характеристики
2023 WorldView-3	Сверхвысокое пространственное разрешение, контрастность зданий относительно фона, синтезированный цветной снимок	Одно здание имеет меняющуюся по цветовым характеристикам крышу, отсутствие теней	Спектральная яркость зданий (резкие перепады яркостей на границах зданий), четкая геометрия (форма, размер)
2017 PlanetScope	Синтезированный цветной снимок	Нечеткие углы и границы зданий (высокое пространственное разрешение)	Спектральная яркость зданий, цветовые характеристики
2005 OrbView-3	Очень высокое пространственное разрешение	Разный цвет крыш зданий, низкая контрастность зданий относительно фона	Четкие границы и углы, спектральная яркость зданий
1983 Corona	Тени, очень высокое пространственное разрешение	Съемка под углом, неконтрастный, схожая яркость зданий и дорог	Тени (выделяющиеся границы зданий), четкие границы и углы
1971 Corona	Контрастность фона и объектов	Нечеткие углы и границы зданий (высокое пространственное разрешение), схожая яркость для зданий, дорог и деревьев	Спектральная яркость зданий, тени
1967 Corona	Контрастность фона и объектов, очень высокое пространственное разрешение	Разный цвет крыш зданий, схожая яркость для зданий и природных объектов относительно фона	Четкие границы и углы, спектральная яркость некоторых зданий
1942	Тени, очень высокое пространственное разрешение	Смазанности, разная яркость в разных частях ортофотоснимка, схожая яркость зданий и фона	Контуры теней, спектральная яркость зданий

Основные признаки зданий:

- геометрия
- спектральная яркость и контрастность углов и краев зданий
- пространственный контекст

Результаты распознавания и классификации

Год	Метрики	Результаты
2024 PlanetScope	IOU - 0.84 (фон) Precision - 0.96 (фон) Recall - 0.87 (фон), 0.61 (малоэтажные здания) Accuracy - более 0.85 (все классы)	Распознавания не всех малоэтажных зданий при высокой плотности, неточная геометрия
2023 WorldView-3	IOU - 0.81 (фон) Precision - 0.98 (фон), 0.65 (многоэтажные здания) Recall - 0.94 (многоэтажные здания), 0.83 (фон) Accuracy - 0.96 (многоэтажные здания) F1 - 0.9 (фон)	Незначительные ложные распознавания фрагментов площадей как зданий
2017 PlanetScope	IOU - 0.88 (фон) Precision - 0.95 (фон), 0.56 (многоэтажные здания) Recall - 0.92 (фон), 0.5 (малоэтажные здания) Accuracy - 0.89 (все классы)	Недостаточная полнота распознавания малоэтажных зданий, неточная геометрия
2005 OrbView-3	IOU - 0.79 (фон), 0.5 (многоэтажные здания) Precision - 0.88 (фон), 0.72 (многоэтажные здания) Recall - 0.87 (фон) Accuracy - более 0.83 (все классы) F1 - 0.93 (фон)	Незначительные ошибки в определении класса зданий
1983 Corona	IOU - 0.82 (фон) Precision - 0.96 (фон) Recall - 0.85 (фон), 0.79 (многоэтажные здания) Accuracy - 0.97 (малоэтажные здания)	Сложности в выделении крыш зданий относительно фона и стен под уклоном
1971 Corona	Precision - 0.95 (фон) Recall - 0.82 (многоэтажные здания) Accuracy - 0.81 (малоэтажные здания)	Нечеткая геометрия, невысокая полнота распознавания, проблемы в выявлении точной геометрии зданий сложной формы
1967 Corona	IOU - 0.48 (фон) Precision - 0.88 (фон) Recall - 0.74 (малоэтажные здания), 0.52 (фон) Accuracy - 0.74 (малоэтажные здания)	Выделение ложных объектов, имеющих высокую спектральную яркость: реки, дороги
1942	IOU - 0.22 (фон) Precision - 0.95 (фон) Recall - 0.68 (многоэтажные здания) Accuracy - 0.65 (многоэтажные здания)	Нечеткая геометрия

Метрики валидационного датасета

Оценка качества работы модели



Исходный космический снимок 2023



Маска 2023

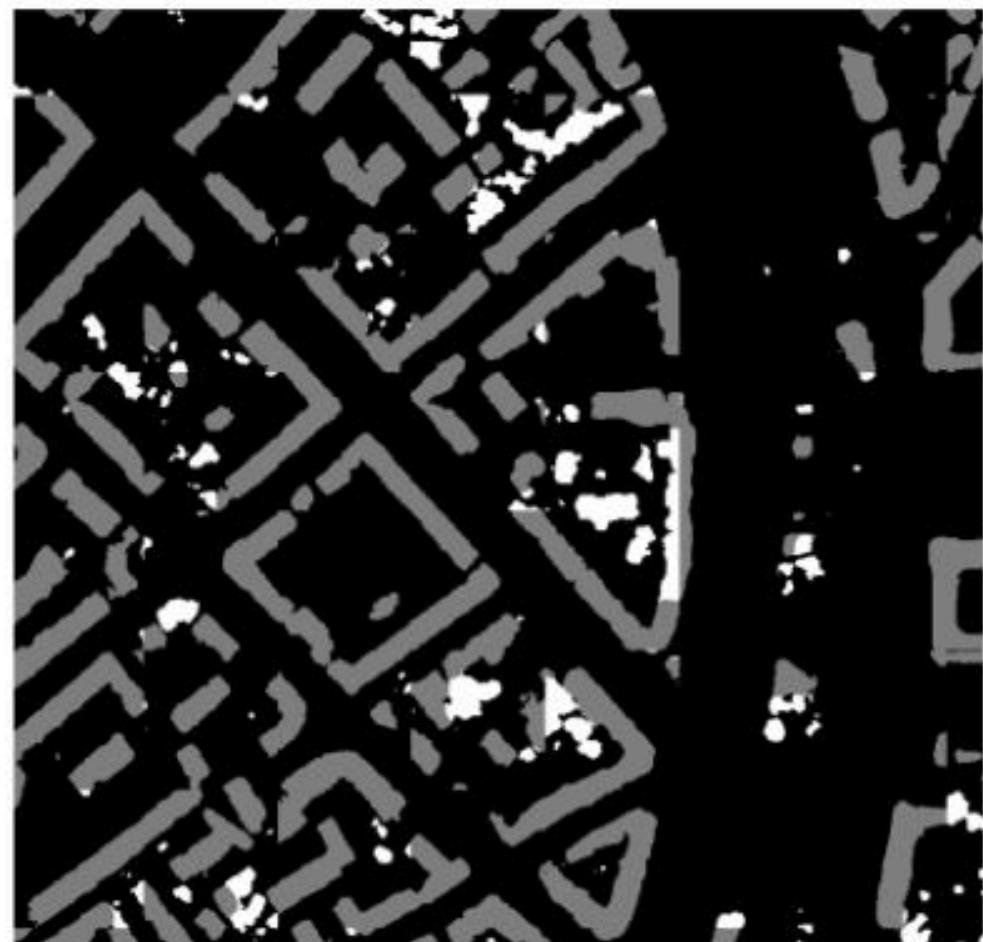
IOU - 0.81
Precision - 0.98
Recall - 0.94
Accuracy - 0.96



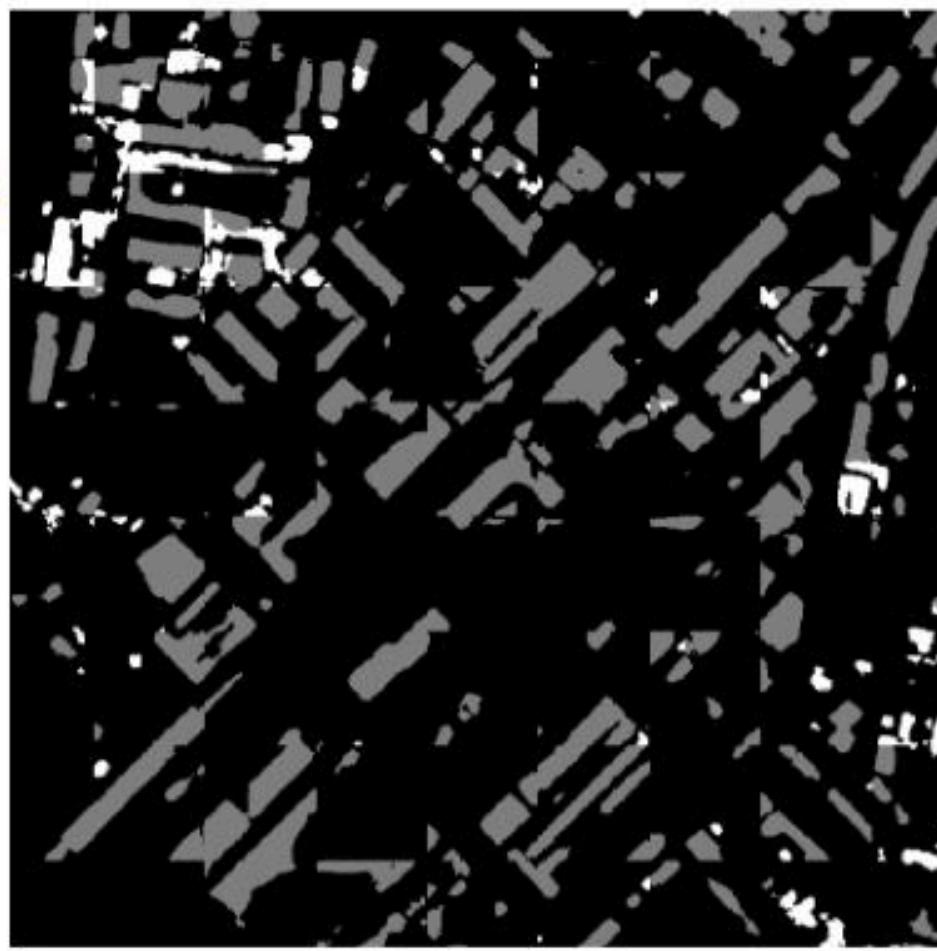
Маска 1983

IOU - 0.82
Precision - 0.96
Recall - 0.85
Accuracy - 0.97

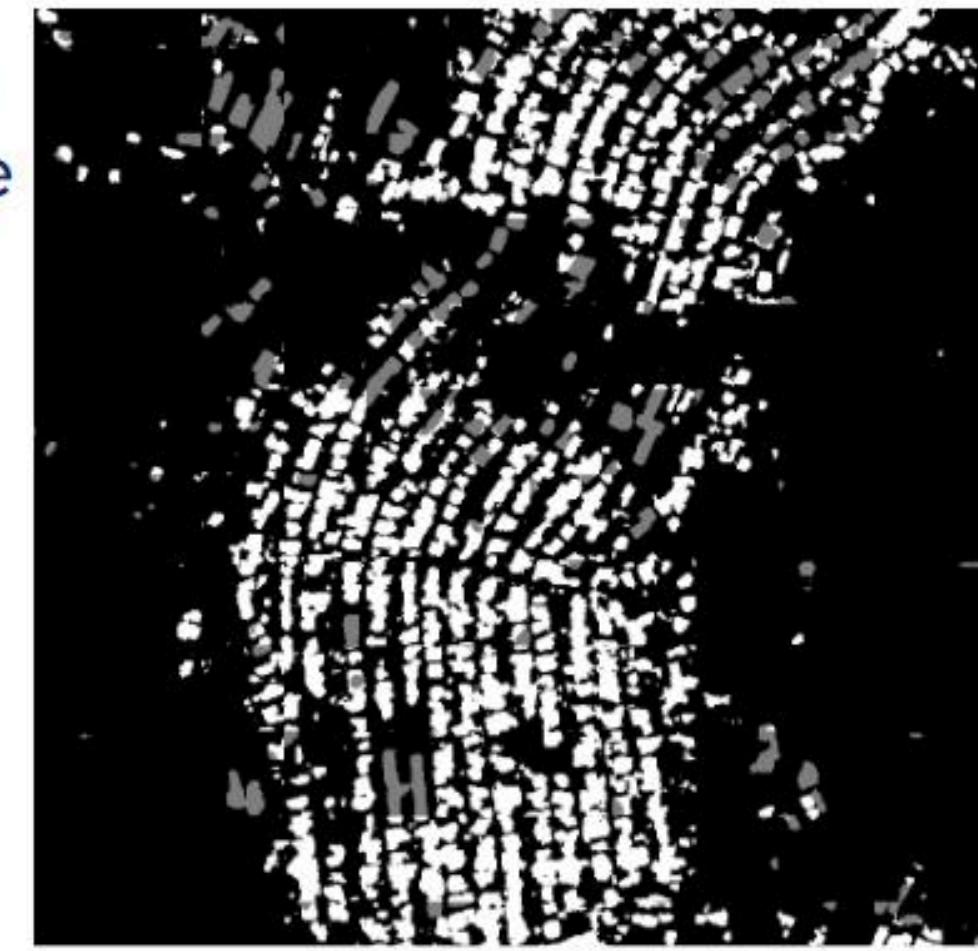
Каталог распознанных зданий



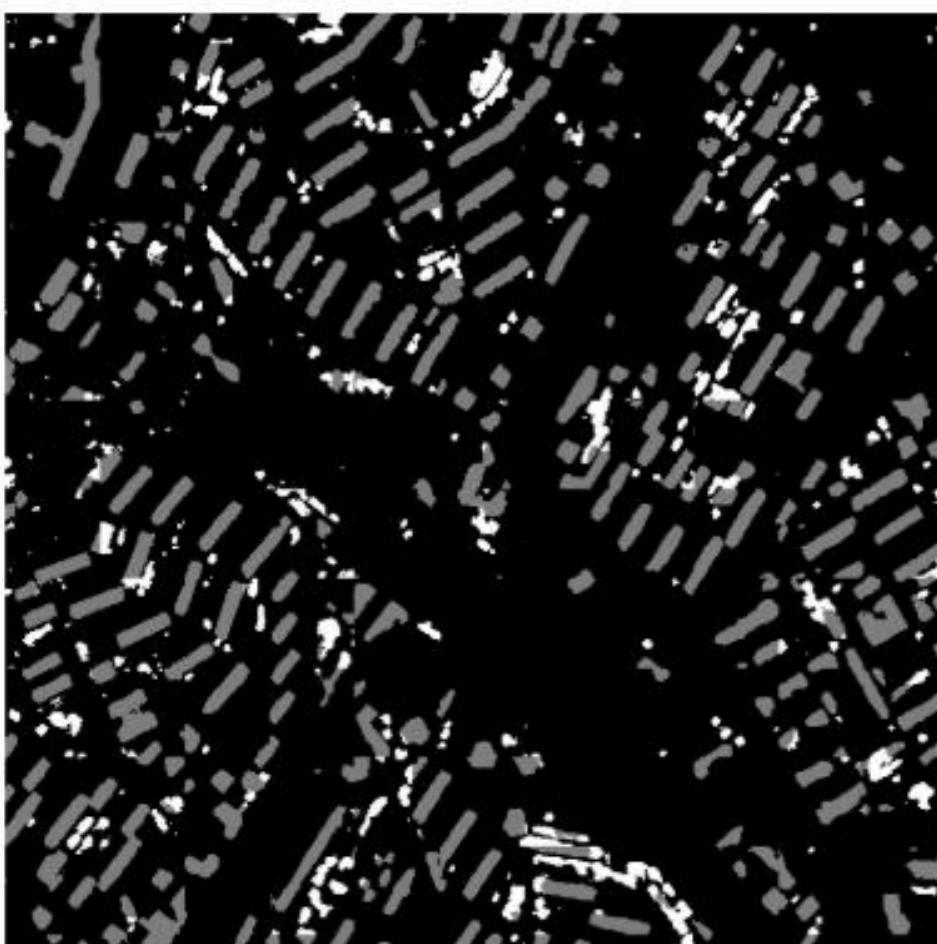
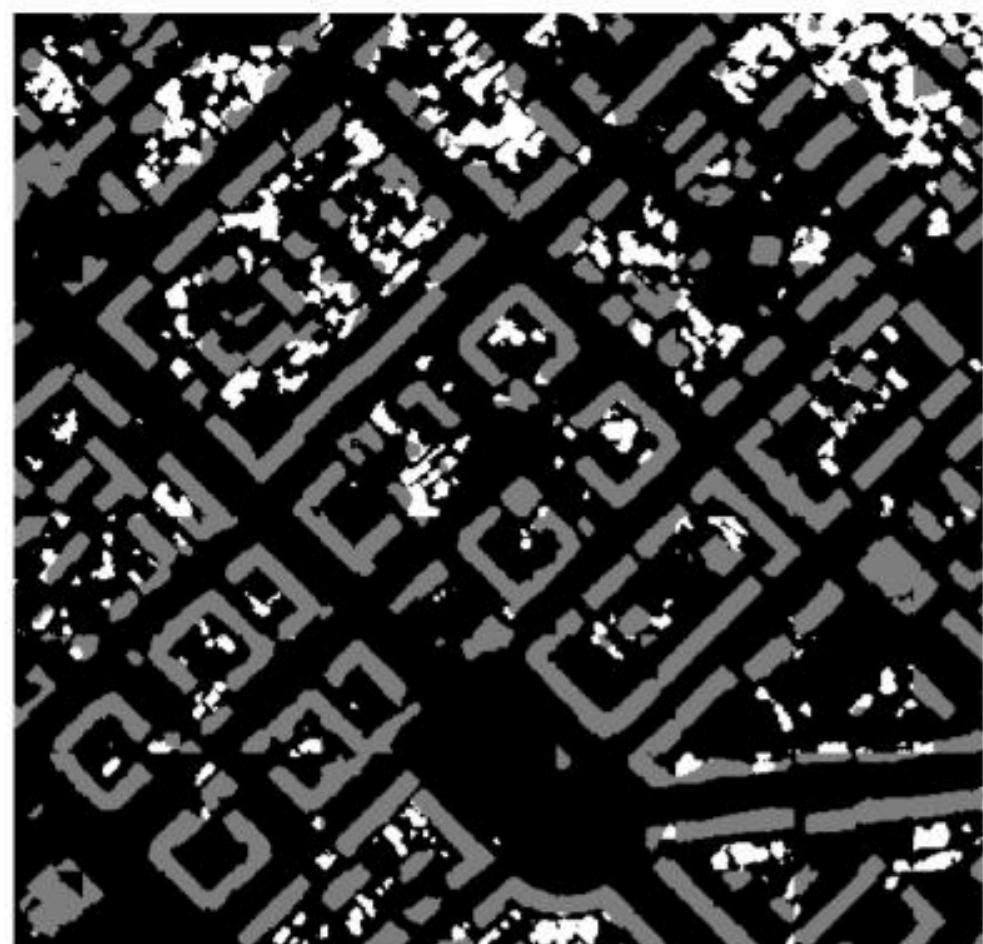
Многоэтажные
периметральные
здания



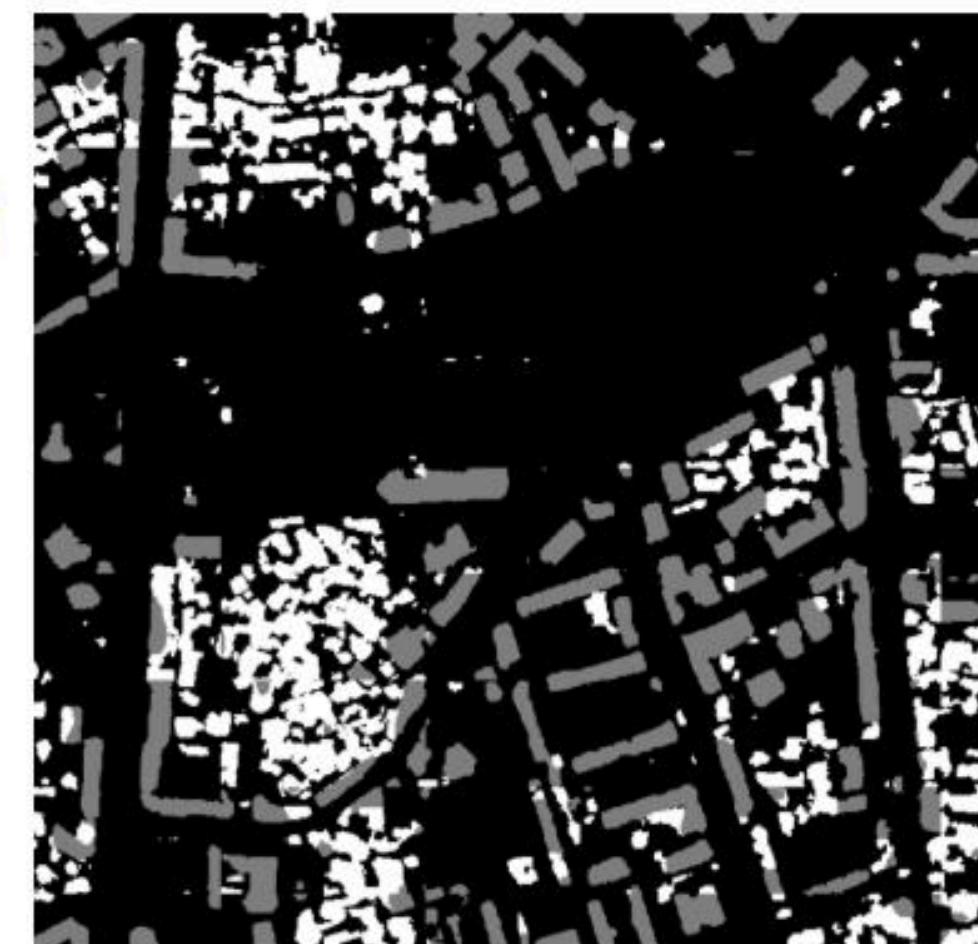
Многоэтажные
промышленные
здания



Малоэтажные
здания
садового типа

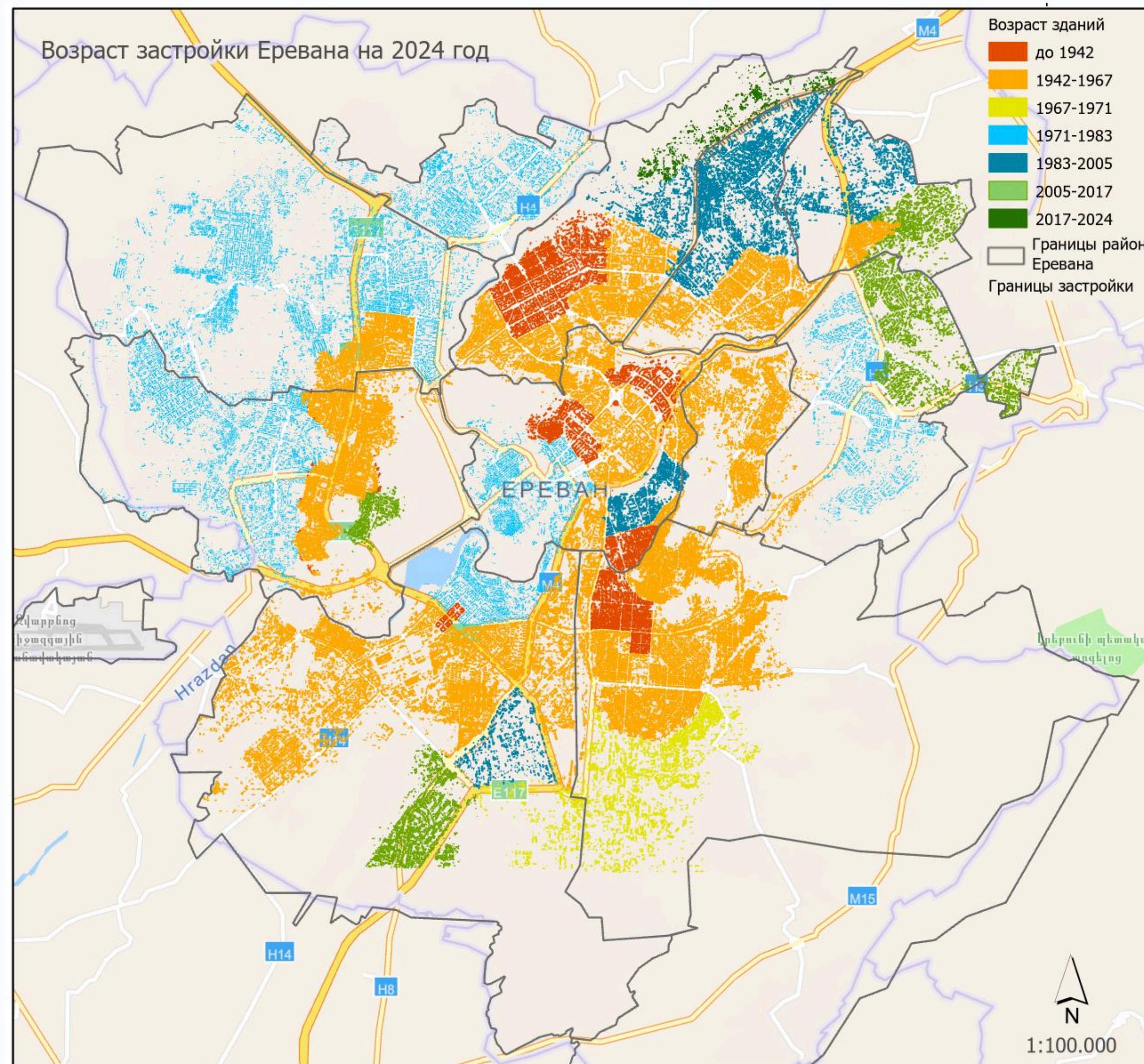


Многоэтажные
здания типовой
застройки



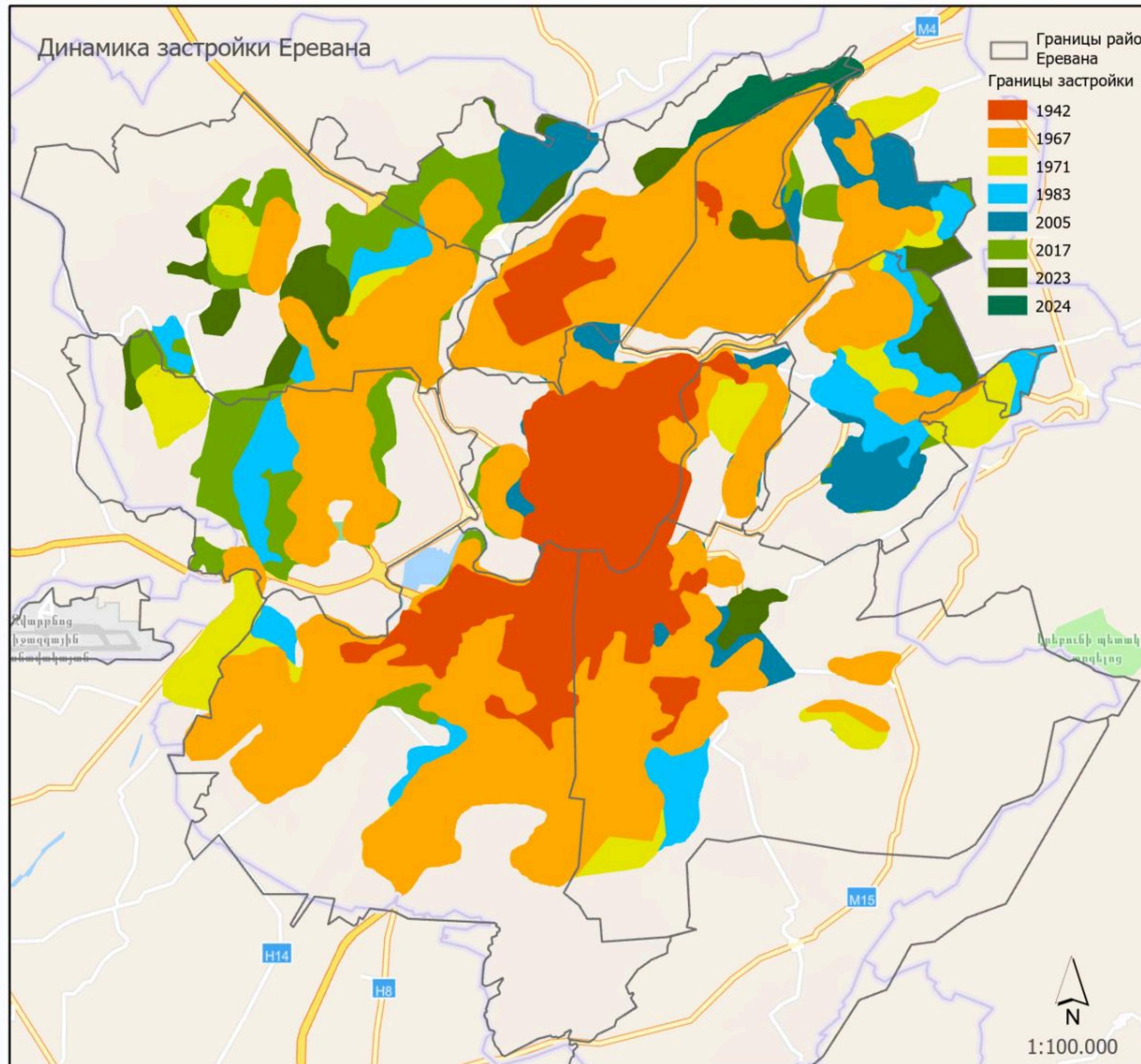
Малоэтажные
внутридворовые
здания

Возраст застройки



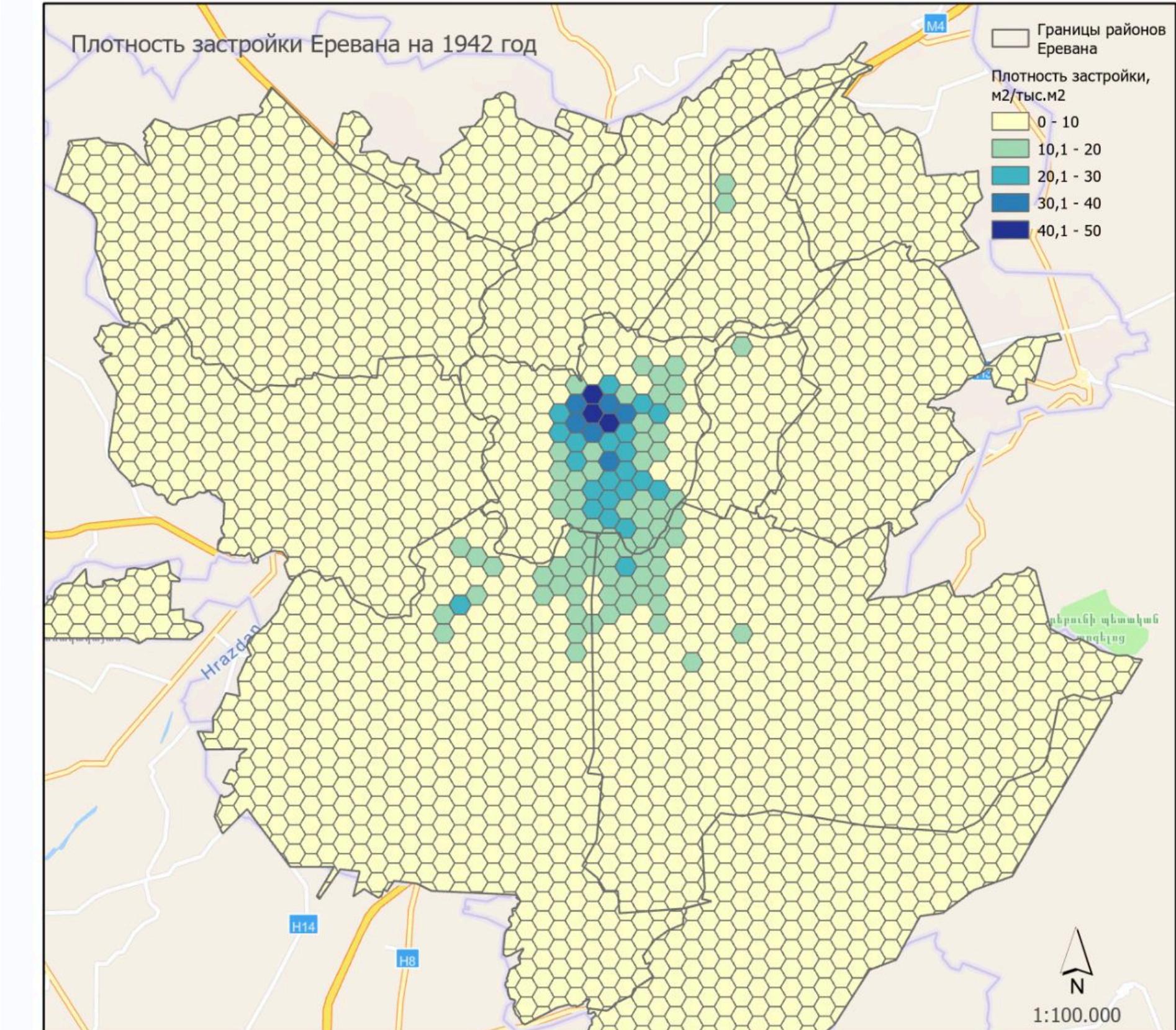
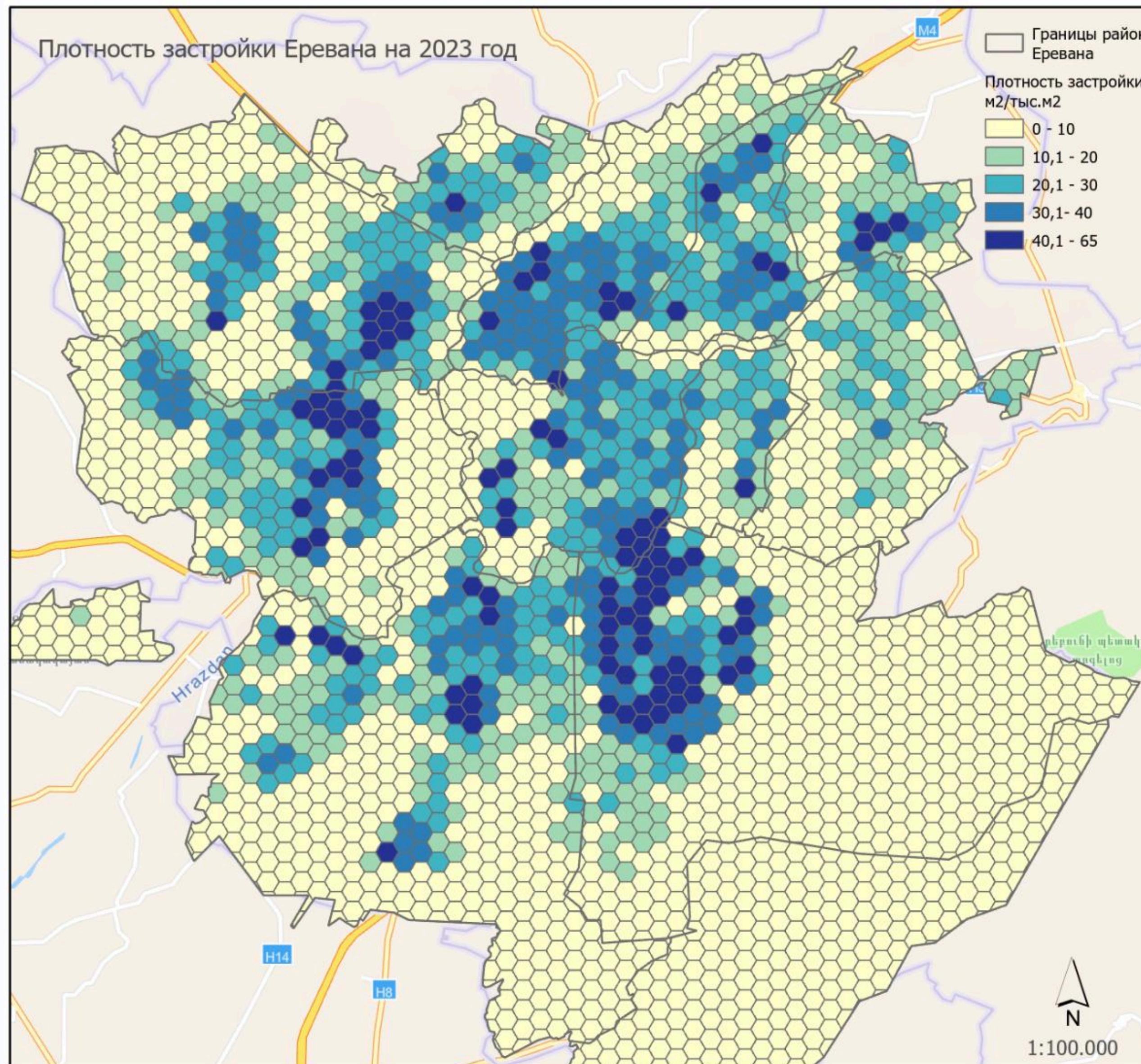
Большинство зданий появилось в чертах города в период с 1942 по 1967 год за счет массового строительства и присоединения поселений в границы города.

Динамика границ застройки



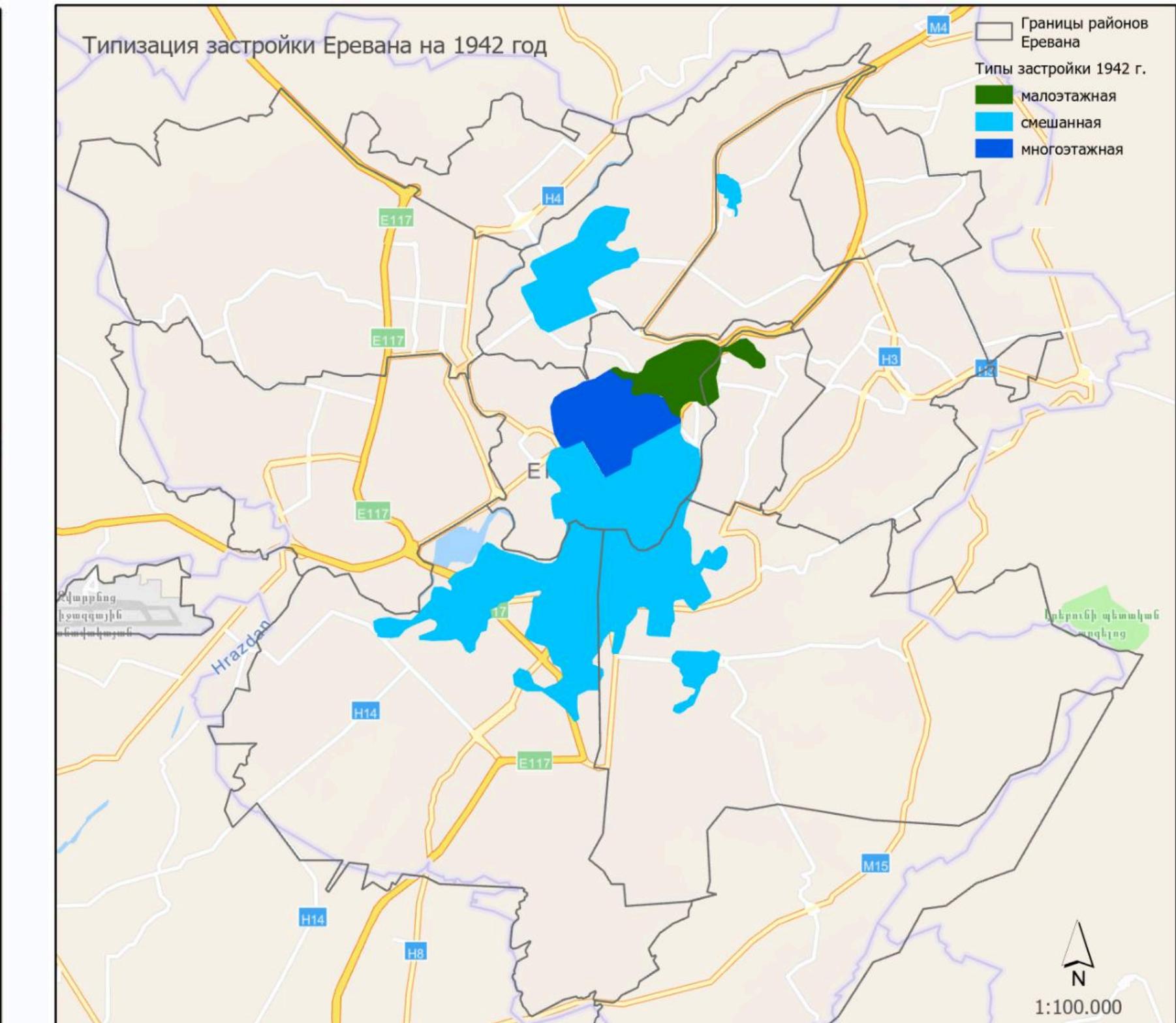
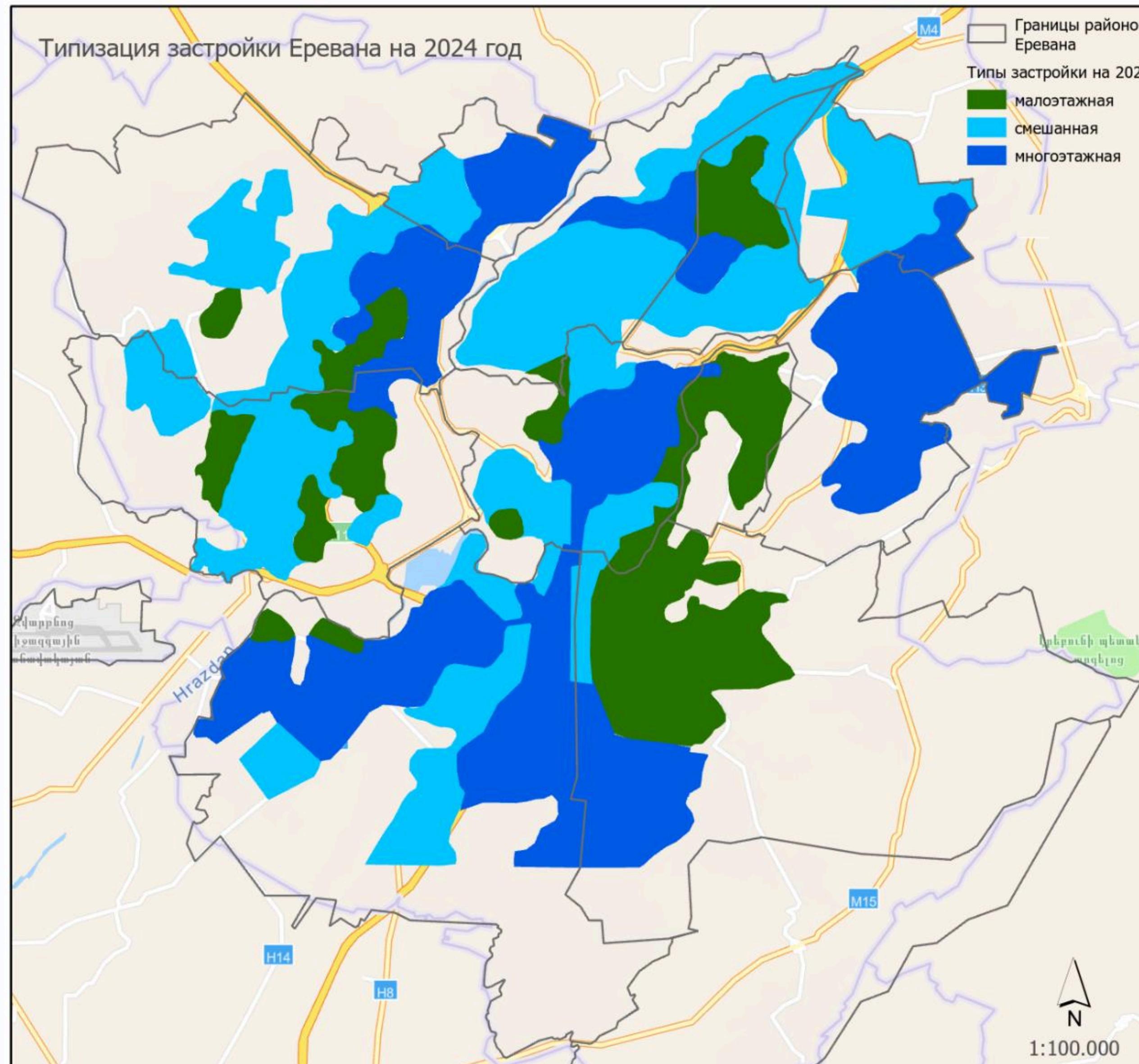
- С 1942 года по 2024 год площадь застроенной территории увеличилась в 5 раз, имея линейный тренд.
- Город значительно увеличился по площади к 1967 году за счет массового строительства и присоединения территорий поселений.

Динамика плотности застройки



- В 1967 году выделяются кластеры с более плотной малоэтажной застройкой на северо-западе города.
- К 1983 году плотность увеличивается равномерно, в центре города преобладает многоэтажная менее плотная застройка.
- Выделяются тренды на снижение плотности и увеличение площади застройки.

Типизация застройки



- Количество зданий увеличилось более, чем в 5 раз: в 1942 году многоэтажная застройка составляла 11%, в 2023 году - 58%.
- Выделяются тренды на увеличение количества многоэтажных зданий и ежегодный рост площади смешанной застройки относительно других типов за счет разрастания города и многоэтажного строительства во внутридворовых территориях.

Рекомендации по подготовке обучающего набора данных

Основные проблемы:

- скученная малоэтажная застройка
- разная спектральная яркость крыши одного здания
- схожая спектральная яркость зданий и природных объектов и дорог
- разная спектральная яркость крыш зданий одного класса

Необходимо насыщать набор данных признаками, основанными не на спектральной яркости, а на геометрических характеристиках и пространственном контексте

Очень высокое пространственное разрешение и наличие теней повышают точность распознавания объектов и четкость их геометрии, тогда как контрастность зданий и цветовые характеристики обеспечивают полноту распознавания

Необходимо формировать обучающий набор данных и обучать нейронную сеть для каждого снимка отдельно, делая акцент на определенных признаках здания, не свойственных другим объектам

К положительным характеристикам космических снимков для формирования признаков на основе геометрических свойств, спектральной яркости и пространственного контекста относятся:
высокое и сверхвысокое пространственное разрешение, высокая спектральная яркость объектов, наличие теней у зданий и синтезированное цветное изображение

Пространственный контекст важен в определении типа застройки, так как для нейронной сети гораздо легче определить тип многоэтажной застройки по периметральной планировке, а малоэтажной застройки - по кластерной планировке

Нейросеть выделяет 2 класса зданий (многоэтажные и малоэтажные) лучше, чем 1 класс, так как они имеют разные признаки

На контрастных снимках с высокой спектральной яркостью нужно формировать признаки зданий по геометрическим характеристикам

Заключение

- Проанализированы алгоритмы распознавания и классификации застройки, данные дистанционного зондирования и хронология застройки Еревана
- Проведена предобработка данных: создан ортофотоплан на основе аэрофотоснимков, привязаны космические снимки, качество архивных аэрофотоснимков повышенено методом super-resolution
- Создан обучающий набор данных, описаны основные признаки распознавания зданий для каждого снимка
- Обучена нейронная сеть семантической сегментации с архитектурой DeepLabV3+ для каждого временного среза для распознавания и классификации застройки
- Апробированы нейросетевые алгоритмы, сделаны карты динамики границ, плотности, типов и возраста застройки на основе масок распознавания
- Проведен пространственный анализ динамики застройки Еревана
- Проведена оценка качества работы алгоритмов и сформированы рекомендации

Спасибо за внимание

Благодарности: Сбор данных осуществлен в рамках темы Государственного задания ИГ РАН
№FMWS-2024-0009 №1023032700199-9.

Архивные материалы и частичная обработка осуществлялась в рамках исследовательского проекта
№ 22IRF_04 Комитета по высшему образованию и науке Министерства образования, науки, спорта и культуры РА.