

# Восстановление геометрических моделей объектов железнодорожной инфраструктуры по спутниковым изображениям на основе искусственных нейронных сетей

*Рихтер А.А. (1), Гвоздев О.Г. (1,2), Мурынин А.Б. (1,3), Козуб В.А. (1), Кошелева Н.В. (1)*

(1) НИИ "АЭРОКОСМОС", Москва, Российская Федерация

(2) МИИГАиК, Москва, Российская Федерация

(3) Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН (ФИЦ ИУ РАН), Москва, РФ

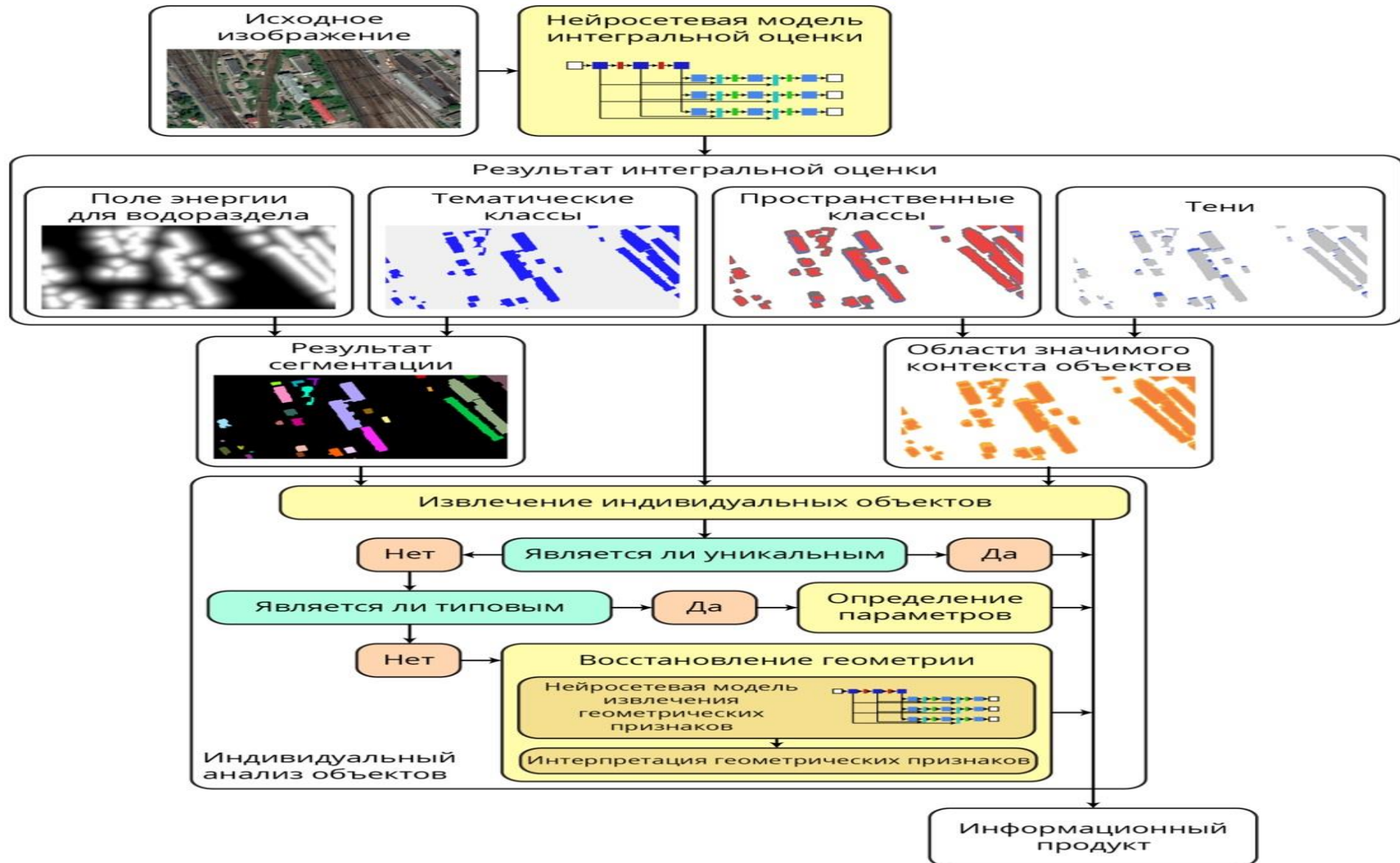
[urfin17@yandex.ru](mailto:urfin17@yandex.ru)

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60719X0312).

# Постановка задачи

- В связи с усложнением структуры земной поверхности и населяющих её объектов возрастает потребность в разработке новых и совершенствовании существующих нейросетевых методов цифровой обработки спутниковых изображений
- Сегментация объектов естественной природы, таких как типы почв и растительности, возможна с применением методов, оперирующих спектральными яркостями отдельных пикселей, определяемых фитоценологическими, гумификационными и другими механизмами их гомеостаза. При сегментации объектов искусственной природы, таких как дома, железные и автомобильные дороги, требуются знания о большом количестве спектральных параметров, структуре объекта и его окрестности
- Современные подходы к извлечению трёхмерной информации о рукотворных объектах условно можно разделить на традиционные (основанные на классических методах обработки) и нейросетевые (интеллектуальный анализ данных). Возможности первых методов исчерпали себя в условиях усложняющейся структуры поверхности земли и необходимости в автоматизации обработки данных. Вторая группа методов усиленно развивается в настоящее время, её возможности неограниченны и их качество напрямую связано с объёмом обучающей выборки.
- Предлагается метод построения трехмерных моделей объектов земной поверхности, основанный на двухэтапном (интегральный и локальный анализ) и многомасштабном подходе и предполагающий, что исходные данные предварительно обработаны методом повышения разрешения, отличающимся репрезентативным понижением разрешения изображений обучающей выборки.

# Принципиальная схема метода



# Интегральный и локальный анализ

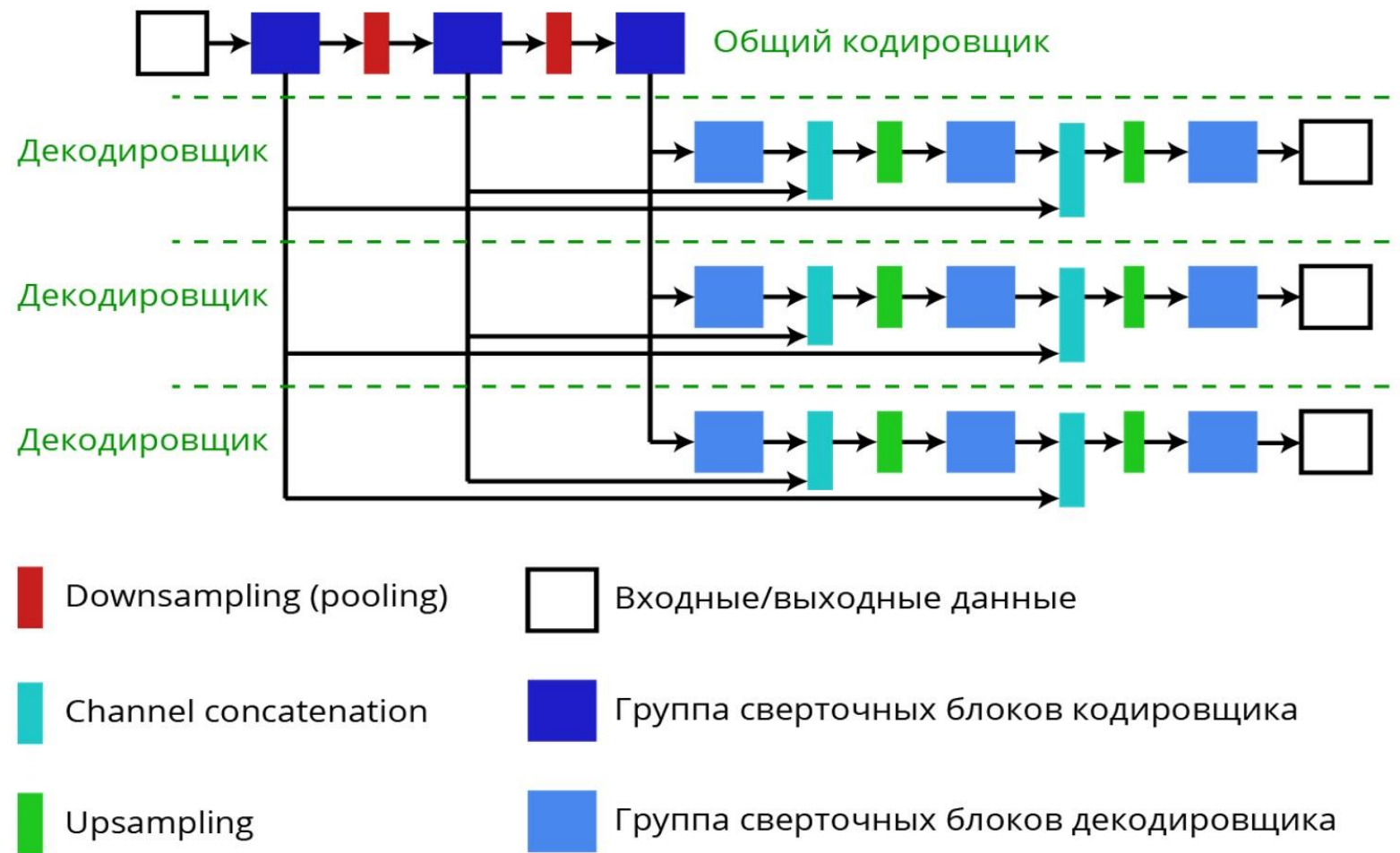
Интегральный анализ – выявление основных свойств и соотношений объектов на изображении:

- Принадлежность объектов тематическим классам: здания, сооружения, ограждения, железнодорожные пути и др.;
- Принадлежность пикселей пространственным классам: крыши и стены зданий, поверхность земли;
- Принадлежность пикселей теням от объектов;
- Принадлежность пикселей значимой окрестности объектов;
- Группировка пикселей изображения в объекты и извлечение релевантной им информации (значимого контекста).

Локальный анализ – обработка каждого выявленного объекта с целью построения его трехмерной модели. Основывается на использовании результатов первого этапа, в зависимости от которых объект подвергается различным процедурам обработки:

- уникальные объекты (определяются по заранее известным пространственным положениям) не подвергаются обработке, при наличии – используются готовые 3D-модели;
- типовые объекты (определяются по тематическому классу объекта, определенному на этапе интегрального анализа) подвергаются специализированной (для данного типа объектов) процедуре определения свойств;
- для остальных объектов выполняется процедура восстановления геометрии.

# Принципиальная схема топологии нейросетевой модели на базе U-Net с несколькими декодировщиками



Применены модификации топологии U-Net:

- Блок кодировщика оставлен без изменений;
- Для каждой из подзадач реализованы отдельные блоки декодировщика и функции потерь;
- В целях оптимизации потребления оперативной памяти в процессе обучения модели для каждого из декодировщиков выполняется отдельная операция градиентного спуска

# Требования к спутниковым снимкам

Общие требования к обучаемым и тестовым спутниковым снимкам:

1. Сезонность съемки (отсутствие снежного покрова)
2. Надлежащие условия видимости – съемка в светлое время суток, минимизация артефактов съемки (ложные пиксели, чересполосица и др.)
3. Рецентность данных спутниковой съёмки (целесообразно и своевременно исследовать актуализированные объекты и процессы на земной поверхности)
4. Постоянное и высокое пространственное разрешение в пределах спутникового изображения (для объектов ЖД-автоматики, электросвязи или телемеханики более высокое разрешение, чем для железнодорожных платформ и станционных зданий)
5. Геопривязка снимков к объектам ЖД-инфраструктуры
6. Геореферентность снимков (привязка снимков к единой координатной проекции – универсальной поперечной проекции Меркатора UTM)

Допускается вариативность характеристик изображения, которая состоит в:

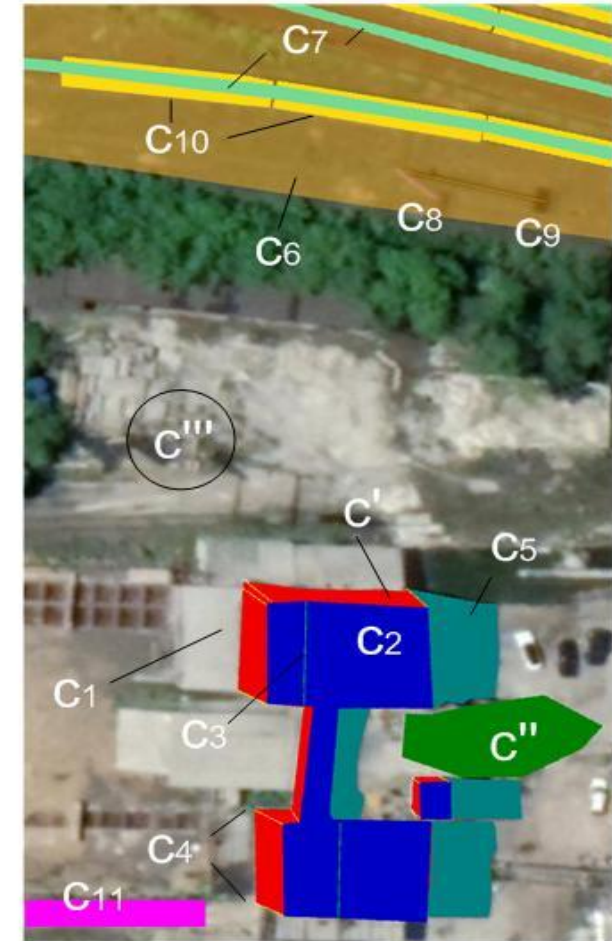
- Возможности использования изображений с различными наборами спектральных каналов
- Наличии или отсутствию метаданных у отдельных изображений
- Полной или частичной видимости объектов на изображениях
- Возможности использования обучающей выборки малого объема

# Выбор информативных классов

1. Здание (полигон,  $c_1$ )
  - Крыша (полигон,  $c_2$ )
  - Ребро крыши (полилиния,  $c_3$ )
  - Ребро стены (полилиния,  $c_4$ )
  - Тень здания (полигон,  $c_5$ )
2. Железнодорожная инфраструктура (полигон,  $c_6$ )
  - ЖД-колея (полигон,  $c_7$ )
  - Столб (полилиния,  $c_8$ )
  - Тень столба (полилиния,  $c_9$ )
  - Вагон (полигон,  $c_{10}$ )
3. Автомобильная дорога (полигон,  $c_{11}$ )
4. Другие классы:
  - Стены (полигон,  $c' = c_1 - c_2$ )
  - Исключенные объекты (полигон,  $c''$ )
  - Фон ( $c'''$ )



Изображение



Разметка

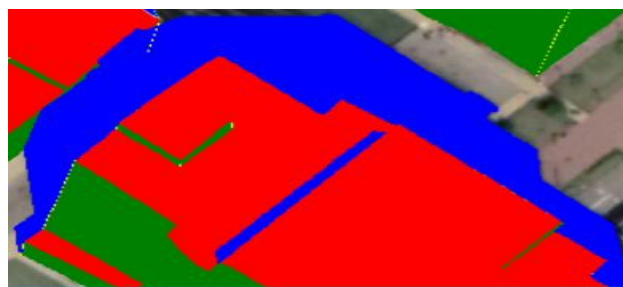
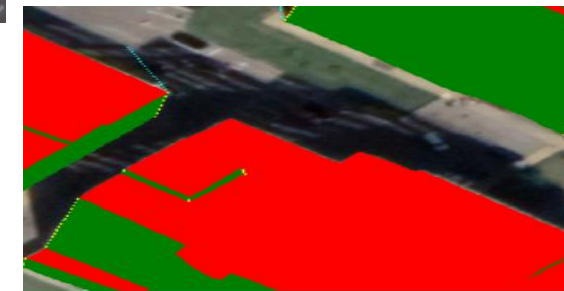
# Особенности построения обучающей выборки

Отметим ряд особенностей данных классов, которые делают их разметку для обучения достаточно сложной и трудоемкой задачей:

1. Самоподобие областей
2. Сложение областей
3. Заслонение областей
4. Искажение областей
5. Пересечение областей
6. Плохая видимость

Правила построения разметки:

1. Правило предположения
2. Правило делимости
3. Правило исключения





# Построение геометрической модели объекта по растровым областям



Размеры типовых объектов:

$R_3=1.52$  м – ширина ЖД-колеи для РЖД, класс  $c_7$

$R_4=11.35$  м – высота столба (промежуточные опоры с нормальным габаритом на двухпутном участке), класс  $c_8$

Масштабирующие коэффициенты:  $m_i=R_i/r_i$

$r_i$  – меряется координатами точек на изображении

$R_i$  – соответствующие линейные размеры отрезков

$\bar{n}_i$  – направляющие ( $\bar{n}_3 \parallel AC, \bar{n}_4 \parallel BC$ )

Горизонтальные размеры:

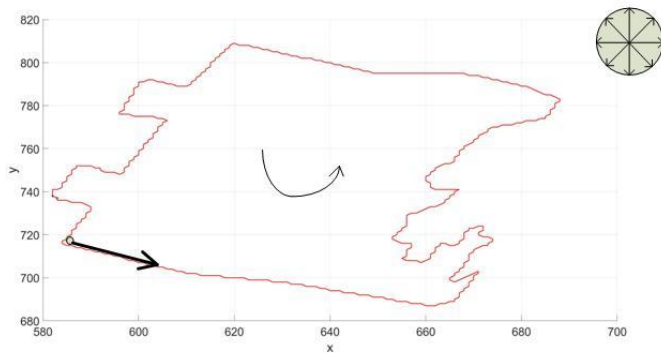
$$m_1 = m_2$$

Вертикальные размеры по столбам и стенам зданий:  $m_3, \bar{n}_3$

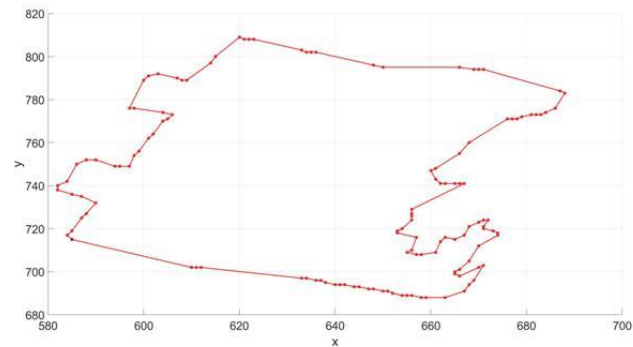
Вертикальные размеры по теням столбов и зданий:  $m_4, \bar{n}_4$



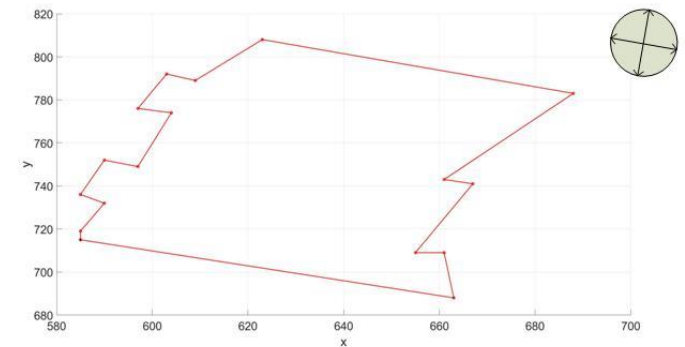
# Построение формы здания в основании



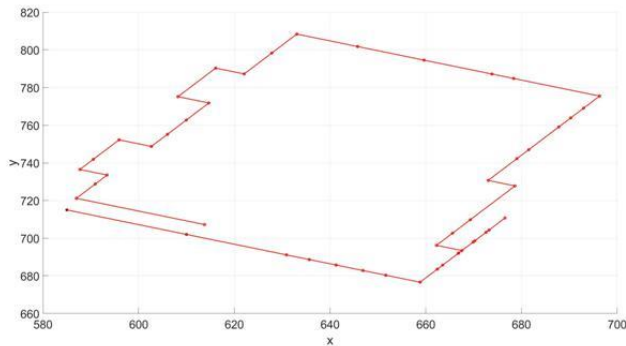
1. Отслеживание контура



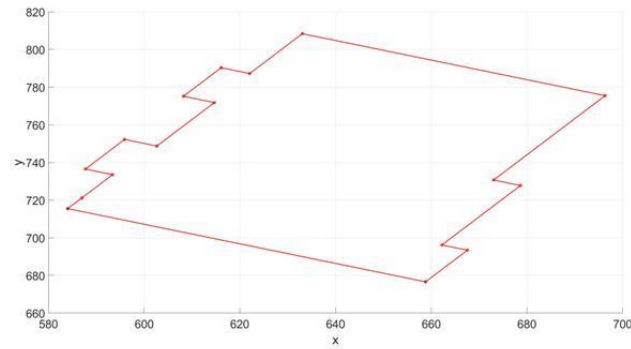
2. Линиаризация



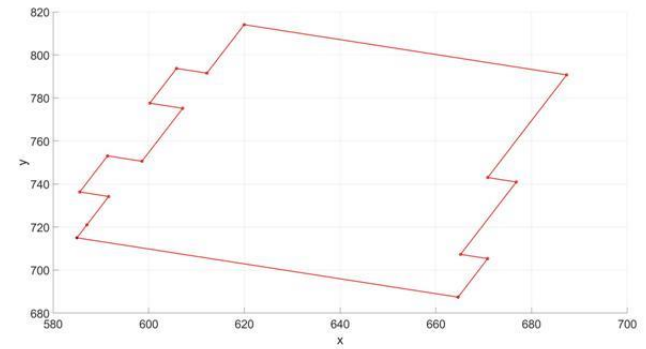
3. Выделение поворотов



4. Полярзация

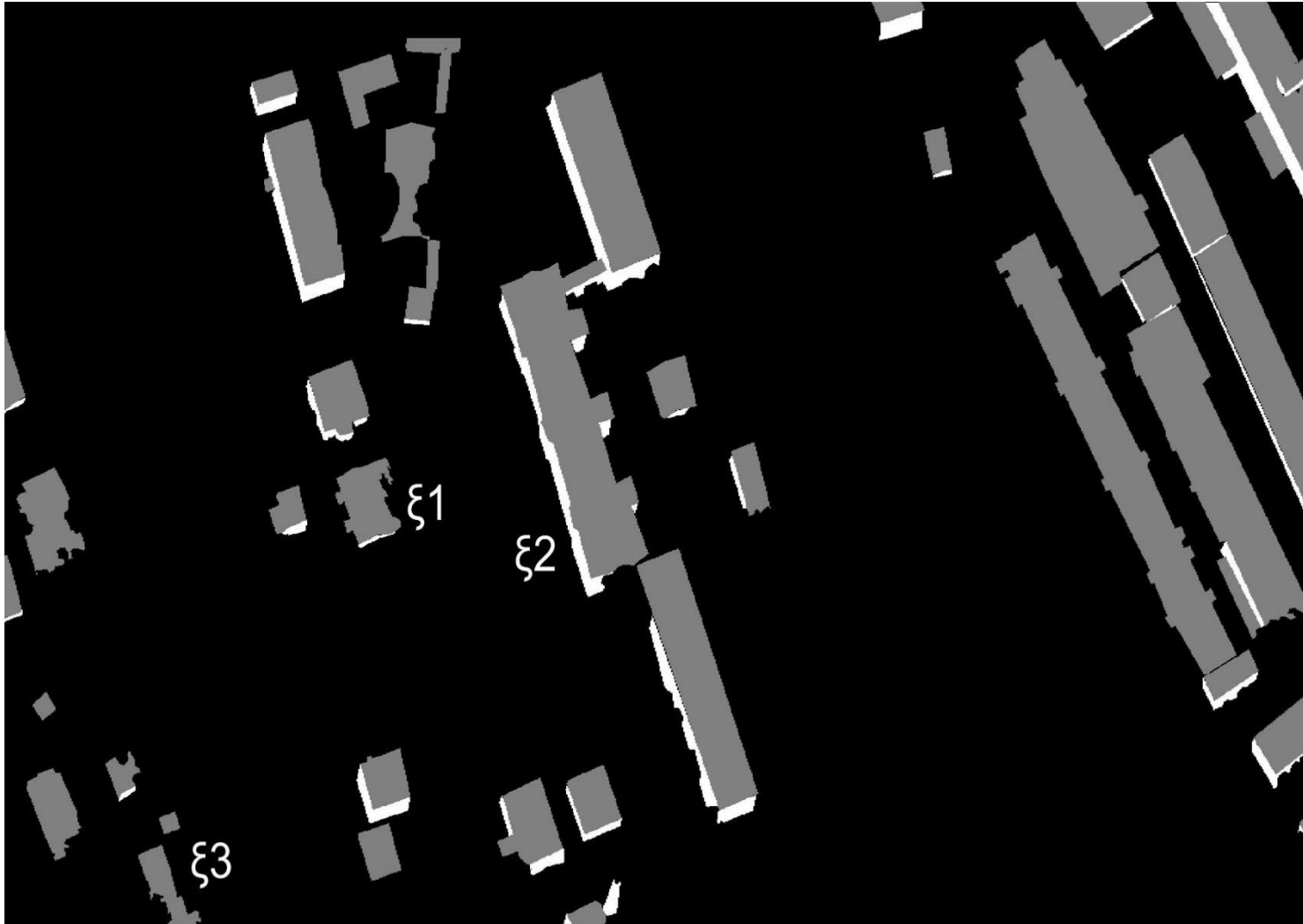


5. Доведение

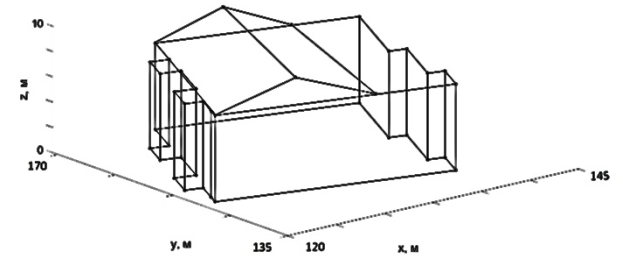


6. Геометрическая коррекция

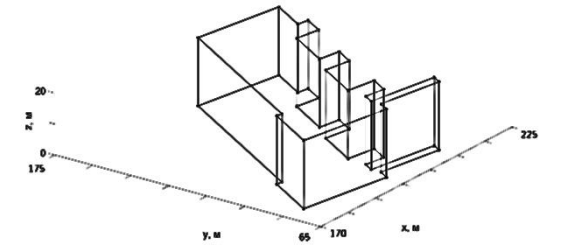
# Результаты работы алгоритма на примерах



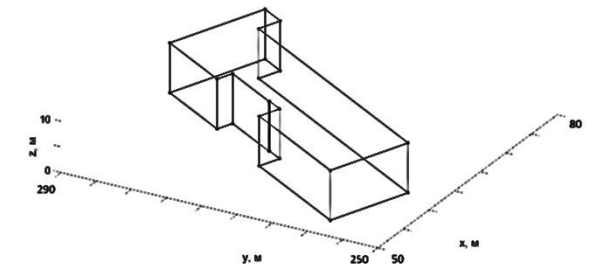
Маски классов (крыши и стены зданий)



$\xi_1$



$\xi_2$



$\xi_3$

# Выводы

- В работе предложен многомасштабный метод построения трёхмерных моделей объектов земной поверхности по отдельному ортотрансформированному спутниковому изображению, состоящий из двух этапов: интегрального и локального (пообъектного) анализа, каждый из которых включает в себя композицию традиционных и нейросетевых методов.
- Интегральный анализ нацелен на локализацию объектов и релевантной им информации: тематических и пространственных классов отдельных пикселей, теней и т.д. Локальный анализ – на извлечение данных, необходимых для определения геометрии объекта и их интерпретацию.
- Нейросетевые модели построены на базе полносверточной топологии U-Net, расширенной и дополненной авторами для задач интерпретации аэрокосмических изображений.
- Локальный анализ поддерживает построение моделей как типовых объектов, обладающих низкой вариативностью по заранее известным признакам, так и зданий или сооружений прямоугольной (обобщаемой до произвольной) пространственной конфигурации.
- В работе описан подход к восстановлению трехмерной модели ригидных объектов по одному изображению без использования метаданных на базе четырёх информативных классов, выявляемых по результатам машинного обучения: рельс и опорных железнодорожных столбов для оценки масштабирующих коэффициентов, крыш и стен для оценки формы основания и высоты строений. Приведены примеры трёхмерных моделей трёх зданий, восстановленных по растрам областей классов стен и крыш.