



Применение генеративного искусственного интеллекта для повышения качества результатов аэрофотосъемки при проведении комплексных кадастровых работ

С.Ю. Лозовая¹, А.И. Поляков¹, Н.В. Ширина¹✉, Н.С. Рыжакова¹

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород, Россия
✉ gkadastr@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Лозовая С.Ю., Поляков А.И., Ширина Н.В., Рыжакова Н.С. Применение генеративного искусственного интеллекта для повышения качества результатов аэрофотосъемки при проведении комплексных кадастровых работ // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 36–49. DOI:10.30533/GiA-2025-003.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА аэрофотоснимок, беспилотный летательный аппарат, точность, генеративная сеть, ортофотоплан, комплексные кадастровые работы

АННОТАЦИЯ Нередко снимки, получаемые при аэрофотосъемке с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), вследствие различных причин могут иметь низкое разрешение, шумы, смазы, артефакты и искажения, что затрудняет дешифрирование объектов недвижимости и снижает точность определения их границ и площадей, увеличивая тем самым трудозатраты на выполнение кадастровых работ. Получение точных результатов обеспечивается качественными исходными данными, поэтому исследовалась возможность применения генеративного искусственного интеллекта с целью повышения качества снимков, получаемых при проведении аэрофотосъемки для решения задач кадастра недвижимости. В статье представлены результаты применения метода машинного обучения с использованием генеративных состязательных сетей. Исследование выполнялось на материалах, полученных при проведении комплексных кадастровых работ с помощью БПЛА. Представлены результаты обработки исходных аэрофотоснимков в модифицированной генеративной состязательной сети Real-ESRGAN. Выполнена фотограмметрическая обработка улучшенных аэрофотоснимков, созданы ортофотоплан и трехмерная модель местности. Проведен анализ обработанных изображений и полученного по ним ортофотоплана. Актуальность и важность применения данной технологии обусловлены задачами обеспечения кадастра недвижимости качественными исходными данными.

1 Введение

Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) представляет собой свод достоверных систематизированных сведений¹. При этом данный ресурс не только имеет информационную функцию, но также обеспечивает функционирование таких сфер, как право собственности, налогообложение, рациональное и эффективное использование территорий и др. Поэтому актуализация, повышение качества ЕГРН и его наполнение достоверными сведениями об объектах недвижимости являются важными задачами деятельности Росреестра.

Для оптимизации ведения кадастра недвижимости путем внесения поправок в Федеральный закон № 221-ФЗ «О кадастровой деятельности» с 2015 года предусмотрены комплексные кадастровые работы (ККР), представляющие собой кадастровые работы, которые проводят в отношении кадастрового квартала или нескольких смежных кадастровых кварталов. Комплексность данного вида работ позволяет сэкономить финансовые, временные и кадровые ресурсы, что, в свою очередь, повышает эффективность системы ЕГРН.

В нормативной документации² регламентированы методы определения координат объектов недвижимости. Для проведения ККР в последние годы чаще всего применяется фотограмметрический метод — не только из-за ряда своих преимуществ, но и из-за активного развития области беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основными преимуществами применения беспилотных технологий являются возможность получения качественных аэрофотоснимков, высокая скорость получения аэрофотоснимков, возможность проведения съемки с малых высот. Первоочередной же задачей аэрофотосъемки выступает улучшение качества получаемых аэрофотоснимков.

Но, как и любая технология, беспилотные технологии имеют недостатки, от которых зависит точность определения координат объектов недвижимости. Одним из недостатков является подверженность влиянию погодных условий. Так, в особо сложных погодных условиях изображения могут получаться размытыми из-за колебаний съемочного оборудования, высокой скорости полета БПЛА на низких высотах [1]. Некачественные изображения могут вносить погрешности и уменьшать итоговую точность определения координат объектов недвижимости, что напрямую влияет на экономические аспекты точности определения частных владений.

Для устранения размытия, шумов и артефактов, возникающих при сжатии снимков, исследуется применение алгоритмов генеративных состязательных сетей (GAN — generative adversarial network), в том числе SR-модели (super resolution), которые позволяют повысить пространственное разрешение цифровых моделей местности [2]. Согласно изученным исследованиям [3], в последнее время для повышения разрешения снимков создано достаточное количество сетей различной архитектуры. Например, DeblurGAN [4] известна как одна из основных сетей повышения качества изображений и видео, в которой решаются проблемы блюра и хроматической аберрации, а также размытия объектов в движении, что позволяет применять ее при съемке с помощью БПЛА. Но, несмотря на применение алгоритма улучшения на размытых изображениях, может возникнуть негативный эффект в виде ухудшения качества изображений высокого разрешения (рис. 1).

1 Федеральный закон РФ от 13 июля 2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/ (дата обращения: 27.10.2024).

2 Приказ Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368160/ (дата обращения: 27.10.2024).

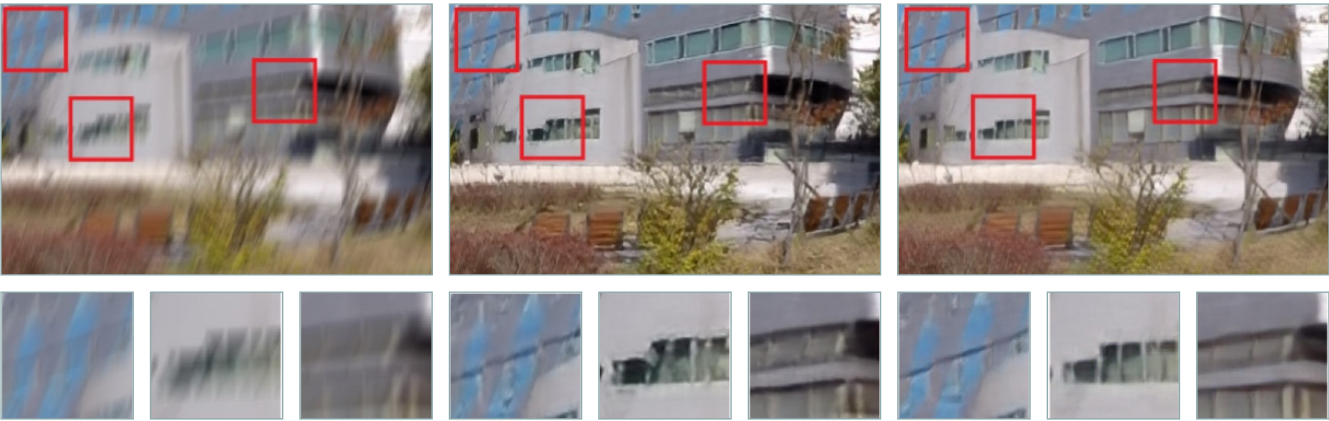


Рис. 1 Результаты на тестовом наборе данных GoPro. Слева направо: размытое фото, DeblurGAN [4]

Fig. 1 The results are based on the GoPro test dataset. From left to right: blurred photo, DeblurGAN [4]

Таблица 1 Примеры результатов размытия на сложных фонах [5]

Table 1 Examples of blurring results on complex backgrounds [5]

В других исследованиях применяется и DCGAN, которая разработана для синтеза новых наборов данных, чтобы расширить собственные массивы. Например, в работе [5] авторы указали на проблемы, связанные с осмотром фасадов зданий с применением БПЛА. Для устранения размытия изображений применялась DCGAN, состоящая из residual-блоков со сквозными соединениями (skip connections). Предложенная модель сравнивалась с другими моделями, и было установлено, что она способна достичь значительных улучшений в устранении размытия изображений трещин на фасадах зданий (табл. 1).

	Четкое изображение	Размытое изображение	Сгенерированное изображение
Образец 1			
Образец 2			

Рис. 2 Качественные сравнения на нескольких репрезентативных образцах [7]

Fig. 2 Qualitative comparisons on several representative samples [7]

Согласно исследованиям, SRGAN создавалась и использовалась для повышения разрешения изображений с целью улучшения общей эффективности обнаружения дефектов [6]. ESRGAN — усовершенствованная версия модели SRGAN, в которой улучшили три основных компонента: сетевую архитектуру, состязательные потери и потери восприятия (рис. 2) [7].



Согласно другим исследованиям [8], на примере снимков архитектурных / исторических конструкций показывает хорошие результаты SwinIR. В данной сети применяется иерархический подход, при котором процесс масштабирования разбивается на управляемые фрагменты. Изображение делится на более мелкие участки, обрабатываемые по отдельности, что позволяет алгоритму фиксировать сложные детали, которые в противном случае могли бы быть потеряны при использовании традиционных методов масштабирования [3].

В данной статье изучена возможность применения модифицированной SRGAN, а именно Real-ESRGAN, для увеличения разрешения и устранения искажений исходных данных, полученных при выполнении аэрофотосъемки. Данные технологии возможно применять при проведении ККР фотограмметрическим методом с целью повышения качества дешифрирования объектов недвижимости и точности определения их координат.

2 Материалы и методы

Для подтверждения гипотезы проводилось исследование по материалам аэрофотосъемки с использованием БПЛА Geoscan Gemini с камерой Sony UMC-R10C с объективом 20 мм $f/2.8$. Улучшение качества аэрофотоснимков проводилось в модифицированной SRGAN Real-ESRGAN с применением стандартной модели искажений и коэффициентом увеличения, равным четырем. Обработка результатов аэрофотосъемки выполнялась в программном обеспечении Agisoft Metashape Professional.

В качестве исходных данных использовалось 352 аэрофотоснимка, полученных при выполнении ККР в отношении кадастровых кварталов с номерами 31:14:0803005 и 31:02:2101001, расположенных соответственно в Борисовском и Прохоровском районах Белгородской области. Аэрофотоснимки, полученные в ходе полевых работ, имели стандартное для используемой камеры разрешение 5456×3632 пикселя и сохранялись в формате .jpg, обработанные снимки сохранялись без изменения формата файла и имели разрешение 10 912×7264 пикселя.

2.1 Обзор архитектуры и параметров сети Real-ESRGAN

Как и все GAN, рассматриваемая Real-ESRGAN состоит из двух нейронных сетей: генератора (рис. 3, 4) и дискриминатора (рис. 5). Задача генератора заключается в постепенной генерации набора изображений, которые максимально похожи на исходные снимки, но имеют требуемые улучшения. Дискриминатор, в свою очередь, принимает на вход набор реальных и сгенерированных изображений и определяет их подлинность. В процессе такого оценивания генератор обучается создавать более правдоподобные изображения, а дискриминатор — отличать сгенерированные снимки.

На этапе предобработки снимков выполняется операция Pixel Unshuffle для уменьшения пространственного размера и увеличения числа каналов изображения. Такая процедура снижает потребление памяти и вычислительных ресурсов [7].

После понижения размерности снимки подаются на вход сверточной нейронной сети (CNN), состоящей из сверточных (convolution) слоев и RRDB-блоков (Residual-in-Residual Dense Block), которые представляют из себя residual-блоки с удаленным слоем батч-нормализации после сверток. Сгенерированные образцы из генератора передаются в сеть-дискриминатор.

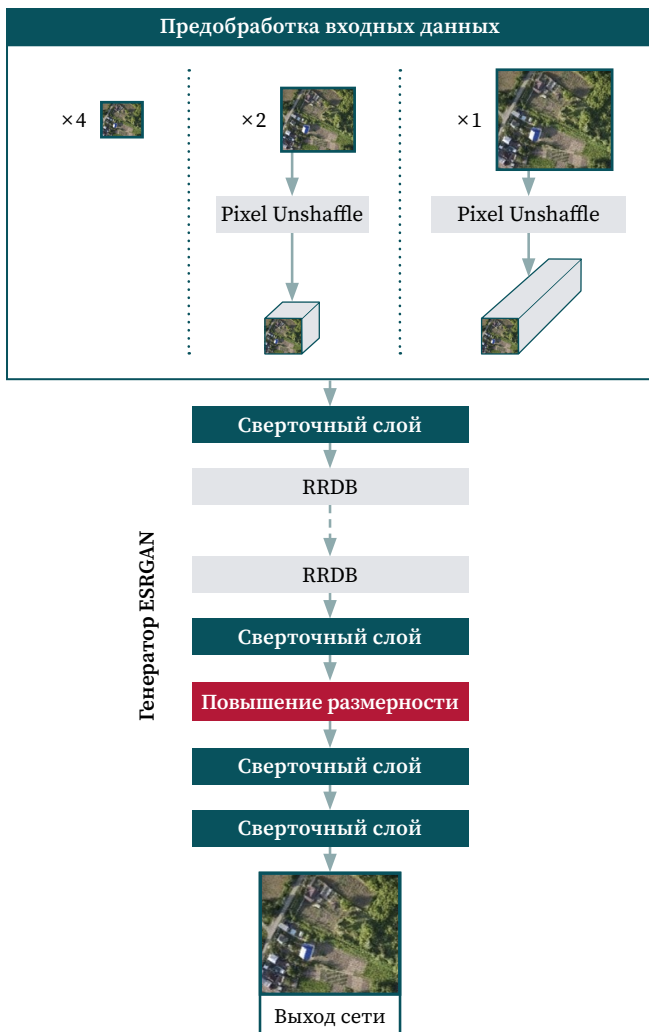
В свою очередь, дискриминатор, основанный на модифицированной архитектуре U-Net со спектральной нормализацией для повышения стабильности обучения, обеспечивает вывод значения реалистичности аэрофотоснимка.

Рис. 3 ▼

Архитектура генератора ESRGAN с предобработкой Pixel Unshuffle для уменьшения пространственного размера и увеличения числа каналов изображения

Fig. 3

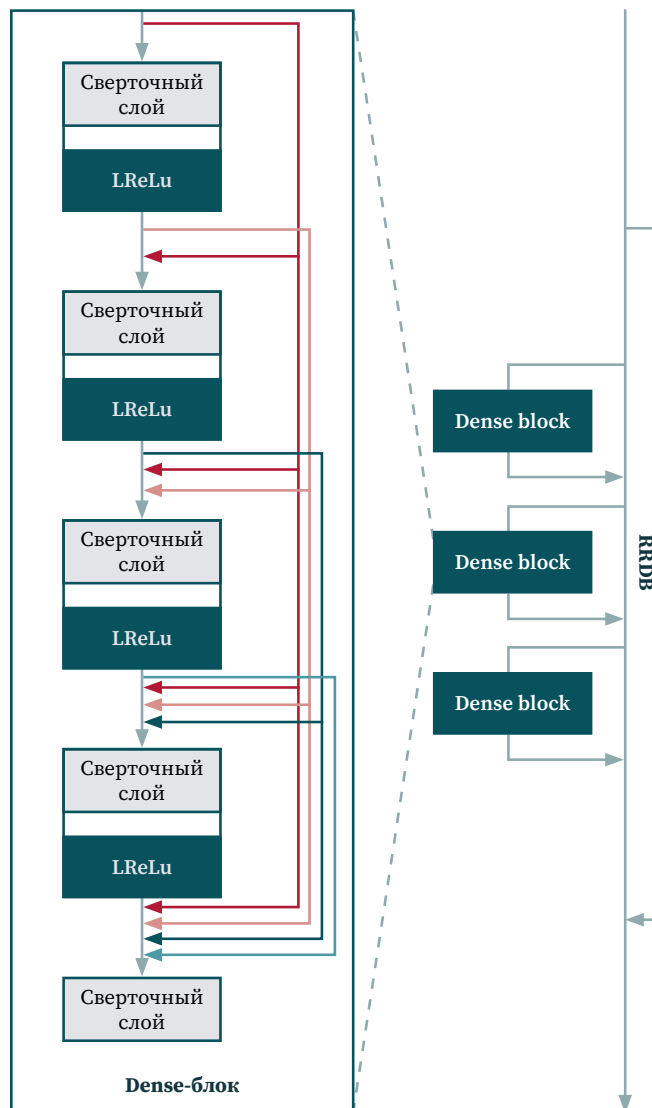
ESRGAN generator architecture with Pixel Unshuffle preprocessing to reduce the spatial size and increase the number of image channels

**Рис. 4** ▼

Архитектура Dense-блоков, которые являются составной частью RRDB-блоков, входящих в сеть генератора

Fig. 4

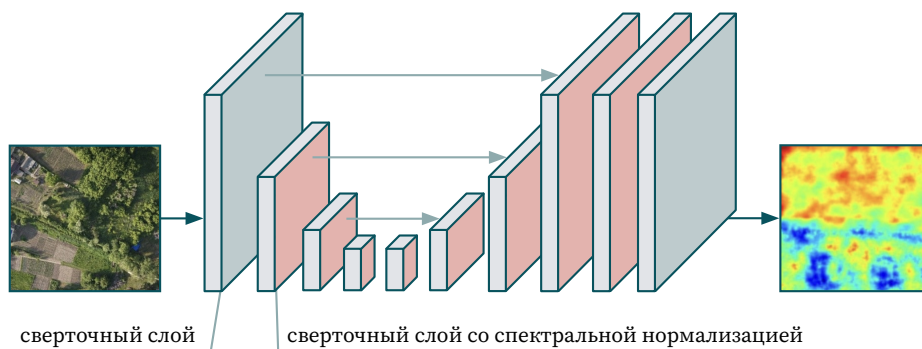
Architecture of Dense-blocks, which are an integral part of the RRDB-blocks included in the generator network

**Рис. 5** ➔

Модифицированный дискриминатор Real-ESRGAN, состоящий из энкодерной части, включающей входной слой и три сверточных слоя с регуляризационным слоем со спектральной нормализацией, и декодерной части, состоящей из пяти сверточных слоев со спектральной нормализацией и выходного слоя

Fig. 5

Modified Real-ESRGAN discriminator consisting of an encoder part, including an input layer and three convolutional layers with a spectral normalization regularization layer; and a decoder part, consisting of five convolutional layers with spectral normalization and an output layer



Дискриминатор также снабжает генератор подробной информацией о каждом элементе (пикселе) сэмпированного распределения.

В основу процесса обучения модели положены две оптимизационные задачи: минимизация потерь генератора и максимизация потерь дискриминатора на обучающей выборке. Поэтому для определения состязательных потерь используются две функции:

— для дискриминатора —

$$1 \quad L_D^{Ra} = -\mathbb{E}_{x_r}[\log(D(x_r, x_f))] - \mathbb{E}_{x_f}[\log(1 - D(x_f, x_r))],$$

— для генератора —

$$2 \quad L_G^{Ra} = -\mathbb{E}_{x_r}[\log(1 - D(x_r, x_f))] - \mathbb{E}_{x_f}[\log(D(x_f, x_r))],$$

где $\mathbb{E}_{x_f}[\cdot]$ — операция нахождения среднего значения по сгенерированным данным в батче;

$D(x_r, x_f) = \sigma(C(x_r) - \mathbb{E}_{x_f}[C(x_f)])$ — преобразование выхода дискриминатора для определения, насколько сгенерированные изображения отличаются от реальных $C(x)$ — непреобразованный выход дискриминатора;

$x_f = G(x_i)$ — сгенерированное изображение с увеличенным разрешением, x_i — входное изображение низкого разрешения.

В работе [9] авторы говорят о том, что использование градиентов сгенерированных и реальных снимков в процессе состязательного обучения позволяет выделять более четкие грани и детализированные структуры признаков. Исследователями [9] также предложена эффективная функция для оценки потерь восприятия L_{percep} , встраиваемая перед активацией.

С учетом всех слагаемых функция потерь для генератора определяется выражением

$$3 \quad L_G = L_{percep} + \lambda \times L_G^{Ra} + \eta \times L_1,$$

где $L_1 = \mathbb{E}_{x_i} \|G(x_i) - y\|_1$ — потеря содержания, определяющая первую норму расстояния между сгенерированным и исходным изображениями;

λ, η — коэффициенты, определяющие вклад каждой составляющей функции потерь.

Для обучения используемой в исследовании модели авторы применяли несколько наборов данных: DIV2K [10], Flickr2K [11] и OutdoorSceneTraining [12].

2.2 Выполнение аэрофотосъемки. Обработка результатов

Чтобы обеспечивать качественное получение аэрофотоснимков, необходимо соблюдать технологию проведения аэрофотосъемки с учетом необходимых требований. Согласно приказу Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393, размер проекции пикселя на местности для аэрофотоснимков для застроенных территорий должен составлять не более 5 см. Для получения аэрофотоснимков с требуемым пространственным разрешением необходимо проектировать высоту фотографирования, при этом также учитывать характеристики используемой фотокамеры. Перекрытие аэрофотоснимков в маршруте и между маршрутами должно составлять не менее 60 %.

В рамках исследования авторами предложена схема проведения аэрофотосъемочных работ при выполнении ККР с дополнительным этапом обработки полученных с БПЛА изображений (рис. 6).

Рис. 6 ➔

Схема проведения аэрофотосъемочных работ при ККР

Fig. 6

The scheme of aerial photography during complex cadastral works



Таблица 2 ✓

Основные параметры полетного задания

Table 2

Main parameters of the flight task

Параметр	Значение
Высота полета, м	150
Крейсерская скорость полета, м/с	15
Продольное перекрытие снимков, %	80
Поперечное перекрытие снимков, %	60

Подготовительный этап

Осуществлялся сбор информации по территории. Затем определялись характеристики маршрута, выполнялись необходимые расчеты, в том числе по высоте фотографирования, поперечному базису и интервалу фотографирования, с учетом которых проектировался маршрут облета территории. При составлении полетного задания (табл. 2) (маршрута полета) учитывалось следующее:

- технические особенности используемого БПЛА;
- маршрут должен охватывать снимаемую площадь с небольшим запасом территории за границей съемки;
- маршрут должен быть построен с учетом направления и силы ветра;
- маршрут должен иметь оптимальное время полета;
- маршруты должны обеспечивать перекрытие с соседними маршрутами (для больших территорий).

Чтобы обеспечить получение данных с большей точностью, необходимо было создать съемочное обоснование в виде опознавательных знаков, координирование которых выполнялось методом спутниковых геодезических измерений. Опознаки маркировались перед аэрофотосъемкой. Размер и форму опознаков выбирали с учетом высоты полета и масштаба съемки, а также они должны были быть хорошо различимы на фоне земли.

Полевой этап

Опознавательные знаки устанавливались таким образом, чтобы на каждом участке съемки присутствовало не менее трех знаков, а в общем по всем маршрутам образовывалась замкнутая геодезическая сеть.

Аэрофотосъемка не должна была выполняться при неблагоприятных условиях, например при сильных порывах ветра более 10 м/с, снеге, дожде и тумане. Обязательно соблюдались также местные нормативные требования органов регулирования воздушного пространства, что включало соблюдение бесполетных зон, ограничений высоты и расстояний.

Камеральный этап

В рамках исследования авторами перед фотограмметрической обработкой полученных с БПЛА изображений была выполнена их обработка в Real-ESRGAN. Для обучения использовалось окружение Anaconda Python 3.7, ОС Linux Ubuntu, видеокарта NVIDIA 3060 с объемом видеопамати 12 Гб, 128 Гб оперативной памяти. При такой конфигурации размер оптимального обучающего батча равен четырем, а размер фрагмента одного изображения принимался равным 256 пикселей. Обучение проводилось в течение 400 тыс. итераций для Real-ESRGAN со скоростью обучения 1×10^{-4} .

Улучшенные снимки, как и необработанные, загружались в Agisoft Metashape Professional для дальнейшей фотограмметрической обработки с целью создания ортофотоплана территории. Чтобы обеспечить большую точность при определении контуров объектов недвижимости, была выполнена координатная привязка снимков по алгоритму [13]. В результате был построен ортофотоплан с размером проекции пикселя не более 5 см, а также трехмерная модель территории (рис. 7).

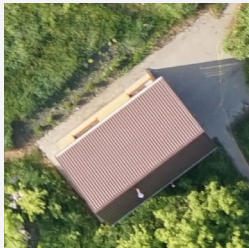
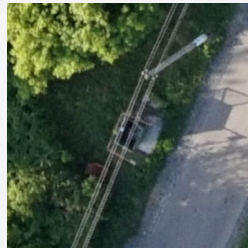
Рис. 7 
Фрагмент трехмерной модели
Fig. 7
A fragment of a three-dimensional model



3 Результаты и обсуждение

Результаты исследования по использованию генеративной сети показали, что обработка аэрофотоснимков с целью улучшения их качества позволила увеличить количество связующих точек при построении ортофотоплана и цифровой модели местности (табл. 3).

Таблица 3 
Результаты обработки аэрофотоснимка, полученного с помощью БПЛА Geoscan Gemini
Table 3
Results of processing an aerial photograph obtained using the Geoscan Gemini UAV

	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Исходный снимок			
Снимок, обработанный Real-ESRGAN			

При увеличении разрешения аэрофотоснимков в четыре раза были достигнуты следующие показатели (табл. 4):

- уменьшился размер пикселя в 4 раза;
- увеличилось количество связующих точек в 3 раза;
- увеличилось облако точек в 30 раз.

Таблица 4 ➔
Результаты обработки исходных изображений

Table 4
Results of processing source images

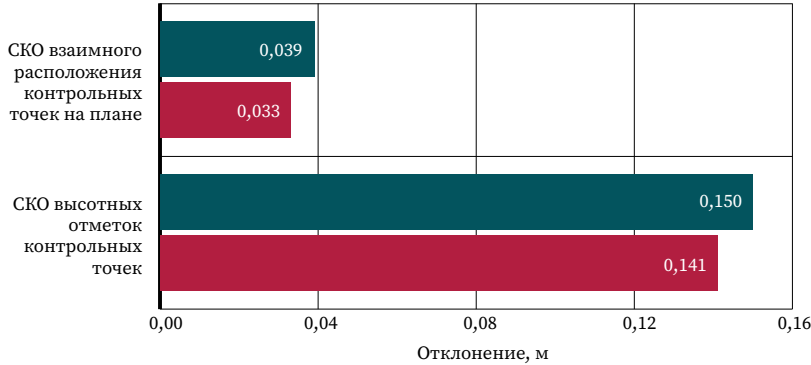
Параметр	Обработка аэрофотоснимков	
	исходных	улучшенных
Разрешение ортофотоплана, см на пиксель	3,39	0,84
Связующие точки, шт.	373 200	1 134 167
Облако точек, шт.	79 968 735	2 233 707 573
Разрешение ЦММ, см на пиксель	6,79	1,69

Отметим также, что кроме улучшения разрешения ортофотоплана и цифровой модели местности было достигнуто уменьшение средней квадратической ошибки (СКО) взаимного положения контрольных точек в плане и по высоте (рис. 8).

Рис. 8 ➔
Результаты обработки исходных изображений в Real-ESRGAN

Fig. 8
Results of processing source images in Real-ESRGAN

Условные обозначения
■ исходные снимки
■ снимки с увеличенным разрешением



Достигнутые результаты подтверждают возможность существенного снижения трудоемкости дешифрирования контуров объектов недвижимости, а также увеличения точности определения координат и площадей объектов недвижимости. Применение такой технологии будет особенно актуально при проведении ККР, где нередко требуется получить границы, координаты и другие геометрические параметры объектов недвижимости по изображениям с дефектами без возможности их обновления.

4 Выводы

Проведена обработка исходных аэрофотоснимков с целью увеличения разрешения и устранения искажений объектов недвижимости, а также повышения точности определения их координат. Результаты обработки исходных изображений (табл. 4), полученных с БПЛА, подтверждают выводы [14]:

- увеличилось разрешение исходных снимков;
- увеличилось количество общих и связующих точек;
- уменьшился размер проекции пикселя;
- повысилась точность определения координат объектов недвижимости.

Первые полученные авторами экспериментальные данные показывают кратное увеличение статистических данных при обработке снимков, также повысилось разрешение итоговой картографической продукции (табл. 4).

В целом результаты данного исследования могут быть полезны для обработки и анализа данных, полученных при применении беспилотной аэрофотосъемки в целях проведения ККР, и могут использоваться для совершенствования фотограмметрических технологий не только в сфере кадастра, но и в других отраслях.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проведена в научно-исследовательской лаборатории беспилотных и геоинформационных систем в сфере дистанционного мониторинга БГТУ им. В.Г. Шухова в рамках темы государственного задания № FZWN-2024-0011 «Разработка адаптивно-вариативного комплекса беспилотных авиационных систем для инфраструктурных задач на основе цифровых двойников».

БИБЛИОГРАФИЯ

- Захлебин А.С. Повышение точности построения ортофотоплана местности по видеоданным с беспилотного летательного аппарата: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2022. 139 с.
- Zheng X., Xu Z., Yin Q., et al. A Transformer-Unet Generative Adversarial Network for the Super-Resolution Reconstruction of DEMs // *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16. No. 19. P. 3676. DOI:10.3390/rs16193676.
- Фомина Е.С. Оценка эффективности применения специализированных нейронных сетей для повышения разрешения изображений, получаемых при дистанционном зондировании Земли // *Системы управления, связи и безопасности*. 2023. № 3. С. 71–90. DOI:10.24412/2410-9916-2023-3-71-90.
- Kupyn O., Budzan V., Mykhailych M., et al. DeblurGAN: Blind Motion Deblurring Using Conditional Adversarial Networks // *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Salt Lake City, 2018. P. 8183–8192. DOI:10.1109/CVPR.2018.00854.
- Liu Y., Yeoh J.K.W., Chua D.K.H. Deep Learning-Based Enhancement of Motion Blurred UAV Concrete Crack Images // *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2020. Vol. 34. No. 5. P. 04020028. DOI:10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000907.
- Yuan B., Sun Z., Pei L., et al. Super-Resolution Reconstruction Method of Pavement Crack Images Based On an Improved Generative Adversarial Network // *Sensors (Basel)*. 2022. Vol. 22. No. 23. P. 9092. DOI:10.3390/s22239092.
- Wang X., Xie L., Dong C., et al. Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data // *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*. Montreal, 2021. P. 1905–1914. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00217.
- Liang J., Cao J., Sun G., et al. SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer // *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*. Montreal, 2021. P. 1833–1844. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00210.
- Wang X., Yu K., Wu S., et al. ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks // *Computer Vision – ECCV 2018 Workshops*. Munich, 2018. P. 63–79. DOI:10.48550/arXiv.1809.00219.
- Agustsson E., Timofte R. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Dataset and Study // *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. Honolulu, 2017. P. 1122–1131. DOI:10.1109/CVPRW.2017.150.
- Timofte R., Agustsson E., Gool L.V., et al. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Methods and Results // *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. Honolulu, 2017. P. 1110–1121. DOI:10.1109/CVPRW.2017.149.
- Wang X., Yu K., Dong C., et al. Recovering Realistic Texture in Image Super-Resolution by Deep Spatial Feature Transform // *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Salt Lake City, 2018. P. 606–615. DOI:10.1109/CVPR.2018.00070.
- Шин Е.Р., Шекина А.Ю., Черкасов Р.А. Технология создания топопланов масштаба 1 : 500 по данным съемки с квадрокоптера Phantom 4 // *Вектор ГеоНаук*. 2019. Т. 2. № 1. С. 54–58. DOI:10.24411/2619-0761-2019-10008.
- Захлебин А.С., Курячий М.И., Капустин В.В. и др. Повышение контраста и точности локализации объектов интереса на ортофотопланах местности, построенных по искаженным изображениям с беспилотного летательного аппарата // *Омский научный вестник*. 2024. Т. 1. № 189. С. 119–126. DOI:10.25206/1813-8225-2024-189-119-126.

АВТОРЫ

Лозовая Светлана Юрьевна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
д-р техн. наук

 0000-0002-6446-4141

Поляков Александр Иванович

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
 0000-0001-7487-7647

Ширина Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
канд. техн. наук, доцент
 0000-0002-6166-0753

Рыжакова Надежда Сергеевна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
 0000-0002-2971-3309

Поступила 29.10.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



The use of generative artificial intelligence to improve the quality of aerial photography results during complex cadastral works

Svetlana Yu. Lozovaya¹, Alexander I. Polyakov¹,
Natalia V. Shirina¹✉, Nadezhda S. Ryzhakova¹

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
✉ gkadastr@mail.ru

CITATION Lozovaya SYu, Polyakov AI, Shirina NV, Ryzhakova NS. The use of generative artificial intelligence to improve the quality of aerial photography results during complex cadastral works. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 36–49. DOI:10.30533/GiA-2025-003.

KEYWORDS aerial photography, unmanned aerial vehicles, precision, generative network, orthophotoplan, complex cadastral works

ABSTRACT Often, images obtained during aerial photography using UAV, due to various reasons, may have low resolution, various noises, smudges, artifacts and distortions, which makes it difficult to decrypt real estate objects and reduces the accuracy of determining their boundaries and areas, thereby increasing the labor costs of performing cadastral work. Based on this, in order to obtain accurate results, it is necessary to provide high-quality initial data. Therefore, the possibility of using generative artificial intelligence was investigated in order to improve the quality of images obtained during aerial photography to solve real estate cadastre problems. The article presents the results of applying the machine learning method using generative adversarial networks. The study was carried out on the materials obtained during the complex cadastral works with the help of UAV. The results of processing the initial aerial photographs in the modified generative adversarial network Real-ESRGAN are presented. Photogrammetric processing of improved aerial photographs was performed, an orthophotoplan and a three-dimensional terrain model were created. The analysis of the processed images and the orthophotoplan obtained from them is carried out. The relevance and importance of using this technology is due to the tasks of providing the real estate cadastre with high-quality source data.

ACKNOWLEDGEMENTS The work was carried out in the scientific research laboratory of unmanned and geoinformation systems in the field of remote monitoring of V.G. Shukhov BSTU within the framework of the topic of state assignment No. FZWN-2024-0011 “Development of an adaptive and variable complex of unmanned aircraft systems for infrastructure tasks based on digital twins”.

- REFERENCES**
1. Zakhlebin AS. *Povyshenie tochnosti postroeniya ortofotoplana mestnosti po videodannym s bespilotnogo letatel'nogo apparata* [Improving the accuracy of constructing an orthophotoplane of an area based on video data from an unmanned aerial vehicle] [dissertation]. Tomsk, 2022. 139 p. (In Russian).
 2. Zheng X, Xu Z, Yin Q, et al. A Transformer-Unet Generative Adversarial Network for the Super-Resolution Reconstruction of DEMs. *Remote Sensing*. 2024;16(19): 3676. DOI:10.3390/rs16193676.
 3. Fomina ES. Ocenka jeffektivnosti primeneniya specializirovannyh nejronnyh setej dlja povysheniya razresheniya izobrazhenij, poluchaemyh pri distancionnom zondirovanii Zemli [Evaluation of the effectiveness of the use of specialized neural networks to increase the resolution of images obtained during remote sensing of the Earth]. *Control systems, communications and security*. 2023;3: 71–90. (In Russian). DOI:10.24412/2410-9916-2023-3-71-90.
 4. Kupyn O, Budzan V, Mykhailych M, et al. DeblurGAN: Blind Motion Deblurring Using Conditional Adversarial Networks. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Salt Lake City, 2018: 8183–8192. DOI:10.1109/CVPR.2018.00854.
 5. Liu Y, Yeoh J, Chua D. Deep Learning–Based Enhancement of Motion Blurred UAV Concrete Crack Images. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2020;34(5): 04020028. DOI:10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000907.
 6. Yuan B, Sun Z, Pei L, et al. Super-Resolution Reconstruction Method of Pavement Crack Images Based On an Improved Generative Adversarial Network. *Sensors (Basel)*. 2022;22(23): 9092. DOI:10.3390/s22239092.
 7. Wang X, Xie L, Dong C, et al. Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data. *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*. Montreal, 2021: 1905–1914. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00217.
 8. Liang J, Cao J, Sun G, et al. SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Montreal, 2021: 1833–1844. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00210.
 9. Wang X, Yu K, Wu S, et al. ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks. *Computer Vision – ECCV 2018 Workshops*. Munich, 2018: 63–79. DOI:10.48550/arXiv.1809.00219.
 10. Agustsson E, Timofte R. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Dataset and Study. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. Honolulu, 2017: 1122–1131. DOI:10.1109/CVPRW.2017.150.
 11. Timofte R, Agustsson E, Gool LV, et al. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Methods and Results. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. Honolulu, 2017: 1110–1121. DOI:10.1109/CVPRW.2017.149.
 12. Wang X, Yu K, Dong C, et al. Recovering Realistic Texture in Image Super-Resolution by Deep Spatial Feature Transform. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Salt Lake City, 2018: 606–615. DOI:10.1109/CVPR.2018.00070.
 13. Shin ER, Shchekina AY, Cherkasov RA. Tehnologija sozdaniya topoplanov masshtaba 1 : 500 po dannym s'emki s kvadrokoptera Phantom 4 [The technology of creating topographic planes at a scale of 1: 500 according to shooting data from a Phantom 4 quadcopter]. *Vektor GeoNauk*. 2019;2(1): 54–58. (In Russian). DOI:10.24411/2619-0761-2019-10008.
 14. Zakhlebin AS, Kuryachiy MI, Kapustin VV, et al. Povyshenie kontrasta i tochnosti lokalizacii ob'ektov interesa na ortofotoplanah mestnosti, postroennyh po iskazhennym izobrazhenijam s bespilotnogo letatel'nogo apparata [Increasing the contrast and accuracy of localization of objects of interest on orthophotomaps of the terrain built from distorted images from an unmanned aerial vehicle]. *Omsk Scientific Bulletin*. 2024;1(189): 119–126. (In Russian). DOI:10.25206/1813-8225-2024-189-119-126.

AUTHORS Svetlana Yu. Lozovaya

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute
Dr. of Sci. (Engineering)

 0000-0002-6446-4141

Alexander I. Polyakov

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute

 0000-0001-7487-7647

Natalia V. Shirina

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute
PhD in Engineering, Associate Professor

 0000-0002-6166-0753

Nadezhda S. Ryzhakova

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute

 0000-0002-2971-3309

Submitted: October 29, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.