

**Хмырова Елена Николаевна**  
к.т.н., ассоциированный профессор  
КарТУ им. А.Сагинова  
Khmyrova Elena Nikolaevna

**Галымова Амина Армановна**, магистрант  
КарТУ им. А.Сагинова  
Galymova Amina Armanovna

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ЦИФРОВОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ MODERN APPROACHES TO CREATING A DIGITAL TOPOGRAPHICAL PLAN OF AN URBAN TERRITORY USING AERIAL PHOTOGRAPHY

**Аннотация.** В статье рассмотрены современные подходы к созданию цифрового топографического плана городской территории классическим методом. Показано значение цифрового топографического плана для инженерно-геодезических, кадастровых и градостроительных задач в условиях городской среды. Проанализированы возможности применения искусственного интеллекта в ArcGIS для создания цифрового топографического плана.

**Abstract.** The article discusses modern approaches to creating a digital topographic plan of an urban territory using the classical method. The importance of a digital topographic plan for engineering, geodetic, cadastral, and urban planning tasks in an urban environment is shown. The possibilities of using artificial intelligence in ArcGIS for creating a digital topographic plan are analyzed.

**Ключевые слова:** Цифровой топографический план, аэрофотосъёмка, фотограмметрия, ортофотоплан, ArcGIS, искусственный интеллект.

**Keywords:** Digital topographic plan, aerial photography, photogrammetry, orthophoto plan, ArcGIS, artificial intelligence.

### Введение

Современное развитие геодезии и картографии связано с широким внедрением цифровых технологий в процессы получения, обработки и представления пространственной информации. Для городской территории данный процесс имеет особое значение, поскольку именно в пределах населённых пунктов наиболее интенсивно изменяются застройка, дорожная сеть, инженерная инфраструктура, элементы благоустройства и функциональное использование земельных участков. В связи с этим цифровой топографический план становится не только итоговым результатом геодезических работ, но и универсальной пространственной основой для проектирования, инженерных изысканий, кадастрового учёта, реконструкции территорий и эксплуатации инженерных коммуникаций [1], [2].

Для крупномасштабного топографического картографирования, особенно в масштабе 1:500, актуальность точных и оперативно обновляемых данных возрастает многократно. Именно такой масштаб применяется при детальном отображении городской ситуации, инвентаризации инженерных сетей, проектировании объектов строительства и благоустройства. Традиционные наземные методы сохраняют высокую точность, однако при работе на застроенных территориях они характеризуются высокой трудоёмкостью и длительными сроками выполнения работ. По этой причине всё более широкое распространение получают технологии, основанные на сочетании беспилотной аэрофотосъёмки, спутниковой геодезии и цифровой фотограмметрической обработки [4], [5].

Наряду с этим в последние годы в геоинформационной сфере активно развиваются инструменты искусственного интеллекта, предназначенные для автоматизированного распознавания объектов по растровым изображениям. В ArcGIS Pro реализованы средства, позволяющие применять модели глубокого обучения для извлечения зданий, дорог и других



элементов местности по ортофотоплану [9], [10], [12]. Это создаёт предпосылки для сокращения трудоёмкости камерального этапа при создании цифрового топографического плана.

Цель настоящей статьи заключается в обзоре современных подходов к созданию цифрового топографического плана городской территории с применением аэрофотосъёмки и анализе перспектив сочетания классической инженерно-геодезической технологии с интеллектуальными инструментами обработки пространственных данных.

### 1. Роль цифрового топографического плана в системе городских пространственных данных

Цифровой топографический план является одной из базовых форм пространственной информации, используемой в инженерной геодезии, кадастре, землеустройстве, проектировании и управлении территорией. Его основное отличие от традиционных бумажных материалов состоит в возможности хранения, редактирования, актуализации и анализа данных в единой цифровой среде [1].

Особое значение цифровой топографический план имеет для городской территории. Здесь требуется точное отображение зданий, проездов, тротуаров, ограждений, элементов озеленения, опор, колодцев, камер и инженерных коммуникаций. Для застроенных участков наличие актуальной топографической основы определяет качество последующих проектных и эксплуатационных решений. При недостаточной точности или устаревании данных увеличивается риск ошибок при прокладке сетей, реконструкции инфраструктуры и согласовании строительных работ.

Следовательно, современный цифровой топографический план должен рассматриваться не только как картографический документ, но и как элемент геоинформационной системы, обеспечивающий связь между графической, координатной и атрибутивной информацией о городской территории.

### 2. Классическая технология создания цифрового топографического плана

Классическая схема создания цифрового топографического плана представляет собой последовательную систему полевых и камеральных работ. В её состав входят подготовительный этап, создание геодезического обоснования, выполнение топографо-геодезической съёмки, аэрофотосъёмка, фотограмметрическая обработка и последующая векторизация объектов местности. Схема представлена на рисунке 1.

Схема создания цифрового топографического плана



Рисунок 1 – Схема создания цифрового топографического плана

На подготовительном этапе анализируются имеющиеся материалы о территории, уточняются границы участка, определяется система координат и система высот, разрабатывается программа работ. Для городской территории важным элементом подготовки является рекогносцировка, в том числе изучение существующих инженерных коммуникаций, дорожной ситуации и особенностей плотной застройки.

Одним из ключевых этапов является создание опорной съёмочной сети. В современных условиях эта задача эффективно решается с использованием GNSS-приёмников в режиме RTK. Спутниковые методы позволяют быстро получать координаты опорных и контрольных точек с высокой точностью, обеспечивая надёжную геодезическую основу для последующей аэрофотосъёмки и фотограмметрической обработки [5].

Непосредственно топографо-геодезические работы на объекте включают фиксацию ситуации и рельефа, обследование колодцев, камер, опор, заборов, элементов благоустройства и других объектов местности. На этом этапе также составляются абрисы и полевые записи, которые используются для дальнейшей камеральной интерпретации и уточнения содержания топографического плана.

Таким образом, классическая технология сохраняет своё значение даже в условиях цифровизации, поскольку именно она обеспечивает исходную точность, полноту и достоверность пространственной информации.

### **3. Аэрофотосъёмка и фотограмметрическая обработка в крупномасштабном картографировании**

Одним из наиболее эффективных средств получения исходных данных для создания цифрового топографического плана является аэрофотосъёмка с использованием БПЛА. Образец представлен на рисунке 2. Данная технология позволяет оперативно охватывать значительные площади, получать изображения очень высокого разрешения и переносить значительную часть обработки в камеральные условия.



Рисунок 2 – Аэрофотосъёмка с использованием БПЛА

При выполнении аэрофотосъёмки для крупномасштабного плана важное значение имеют выбор БПЛА, характеристики съёмочной системы, параметры полёта, высота, скорость, продольное и поперечное перекрытие снимков. Для городской территории требуется особое внимание к плотности застройки, наличию препятствий, теневых участков и ограничениям на выполнение полётов. Исследования в области UAV-фотограмметрии подтверждают, что сочетание БПЛА и RTK-GNSS позволяет получать материалы, пригодные для создания крупномасштабных картографических продуктов [4], [5].

После завершения полёта выполняется фотограмметрическая обработка полученных изображений. Она включает выравнивание снимков, построение разреженного и плотного облака точек, создание цифровой модели поверхности, цифровой модели местности и ортофотоплана. В качестве программных средств для этого могут использоваться Agisoft Metashape, ArcGIS Pro и другие платформы, поддерживающие reality mapping [6], [7], [8].

Ортофотоплан выступает основным итоговым продуктом фотограмметрической обработки, поскольку он сочетает точность карты и наглядность аэрофотоснимка. Именно он становится базой для последующего выделения контуров объектов местности и формирования цифрового топографического плана.

Следовательно, аэрофотосъёмка и фотограмметрическая обработка являются центральным технологическим звеном современной схемы создания цифровой топографической основы.

#### **4. Камеральная векторизация как ключевой этап формирования цифрового топографического плана**

После построения ортофотоплана выполняется камеральная обработка, связанная с интерпретацией и векторизацией объектов местности. На этом этапе по растровой подоснове выделяются контуры зданий, дорог, ограждений, инженерных объектов, колодцев, опор, растительности и других элементов ситуации.

Несмотря на высокий уровень автоматизации фотограмметрического этапа, векторизация остаётся одним из наиболее трудоёмких процессов при создании цифрового топографического плана. Это связано с необходимостью не только графического обрисовывания объектов, но и правильной организации слоёв, применения условных знаков, оформления подписей и обеспечения соответствия нормативным требованиям.

Для городской территории трудоёмкость векторизации возрастает из-за большого числа объектов, сложной конфигурации застройки, теней, перекрытия элементов местности и необходимости учитывать инженерные коммуникации. Особенно важно это для планов масштаба 1:500, где требуется высокая степень детализации.

Таким образом, именно камеральная векторизация сегодня выступает основным узким местом классической технологии создания цифрового топографического плана и требует поиска путей рациональной автоматизации.

#### **5. Возможности применения искусственного интеллекта в ArcGIS**

Перспективным направлением развития технологии создания цифрового топографического плана является использование искусственного интеллекта в ArcGIS Pro. В отличие от полностью ручной схемы, здесь часть объектов может выделяться автоматически на основе анализа ортофотоплана алгоритмами глубокого обучения.

В ArcGIS Pro реализованы инструменты Detect Objects Using Deep Learning, Classify Pixels Using Deep Learning и Extract Features Using AI Models, позволяющие применять обученные модели для распознавания и извлечения объектов из растровых данных [9], [10], [12]. Для задач крупномасштабного топографического картографирования наиболее важными являются здания и дороги, так как именно они образуют основную часть ситуации городской территории. Образцы представлены на рисунках 3 и 4.





Рисунок 3 – Картографирование зданий в ArcGIS Pro



Рисунок 4 – Картографирование дорог в ArcGIS Pro

Научные публикации показывают, что современные модели глубокого обучения способны эффективно выполнять building footprint extraction и road extraction по ортофото высокого разрешения [13], [14], [15]. Однако точность распознавания зависит от качества ортофотоплана, структуры застройки, наличия теней, сезонных особенностей съёмки и качества подготовки модели.

Поэтому применение ИИ в ArcGIS целесообразно рассматривать не как полную замену специалиста, а как средство ускорения и частичной автоматизации камерального этапа. После автоматического извлечения контуров всё равно требуется экспертная проверка, уточнение и редакция результата.

#### **6. Комбинированный подход как перспективное направление развития методики**

Сопоставление классической технологии и возможностей искусственного интеллекта позволяет сделать вывод о перспективности их комбинированного применения. В такой схеме классическая инженерно-геодезическая основа сохраняется полностью: создаётся опорная сеть, выполняется аэрофотосъёмка, формируется ортофотоплан, обеспечивается геодезическая точность пространственной базы. Далее на этапе камеральной обработки подключаются AI-инструменты для автоматизированного выделения типовых объектов – зданий, дорог и иных хорошо распознаваемых элементов ситуации.

После автоматического распознавания выполняется экспертный контроль и редактирование. Это позволяет сохранить точность и надёжность итогового цифрового топографического плана, одновременно снижая трудоёмкость наиболее затратного этапа.

Для городской территории именно такой комбинированный подход представляется наиболее рациональным. Он обеспечивает баланс между точностью, актуальностью и скоростью получения результата, что особенно важно при инвентаризации инженерных коммуникаций, обновлении топографической основы и сопровождении проектных работ.

#### **Заключение**

Проведённый обзор показывает, что создание цифрового топографического плана городской территории в современных условиях должно рассматриваться как комплексный процесс, объединяющий геодезическое обоснование, аэрофотосъёмку с БПЛА, фотограмметрическую обработку и камеральную векторизацию.

Классическая технология сохраняет высокую точность и надёжность, однако остаётся трудоёмкой прежде всего на этапе камерального дешифрирования и отрисовки объектов. Наиболее затратным звеном является выделение контуров по ортофотоплану, особенно в условиях плотной городской застройки и необходимости инвентаризации инженерных коммуникаций.

Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования данной технологии является использование искусственного интеллекта в ArcGIS для автоматизированного распознавания зданий, дорог и других элементов ситуации. Наиболее рациональным представляется комбинированный подход, при котором БПЛА, GNSS и фотограмметрия формируют точную пространственную базу, а инструменты ИИ используются для ускорения и частичной автоматизации векторизации.

Такой подход позволяет обеспечить баланс между точностью, актуальностью и технологической эффективностью при создании цифрового топографического плана городской территории

#### **Список литературы:**

1. Закон Республики Казахстан «О геодезии, картографии и пространственных данных» от 21.12.2022 № 166-VII ЗРК. – [Электронный ресурс].
2. Об утверждении Инструкции по созданию и обновлению государственных топографических карт и планов. – [Электронный ресурс].
3. Об утверждении Инструкции по составлению технических проектов на производство геодезических и картографических работ. – [Электронный ресурс].



4. Jiménez-Jiménez S.I., Ojeda-Bustamante W. et al. Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy Review // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2021. – Vol. 10. – No. 5.
5. Dlamini S.M., Ouma Y.O. Large-Scale Topographic Mapping Using RTK-GNSS and Multispectral UAV Drone Photogrammetric Surveys: Comparative Evaluation of Experimental Results // Geomatics. – 2025. – Vol. 5. – No. 2.
6. ArcGIS Pro Documentation. Reality mapping in ArcGIS Pro. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com>.
7. ArcGIS Pro Documentation. An overview of the Reality Mapping toolbox. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com>.
8. ArcGIS Pro Documentation. Create or import a Reality mapping workspace. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com>.
9. ArcGIS Pro Documentation. Extract Features Using AI Models. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com>.
10. ArcGIS Pro Documentation. How Extract Features Using AI Models works. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com>.
11. ArcGIS Pro Documentation. Feature extraction. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com>.
12. ArcGIS Pro Documentation. An overview of the Imagery AI toolset. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com>.
13. Lu X. et al. Deep learning-based road extraction from remote sensing imagery: a review. – 2025.
14. Liu R. et al. A Review of Deep Learning-Based Methods for Road Extraction from Remote Sensing Images // Remote Sensing. – 2024. – Vol. 16. – No. 12.
15. Buyukdemircioglu M., Can R., Kocaman S., Kada M. Deep Learning Based Building Footprint Extraction from Very High Resolution True Orthophotos and nDSM // ISPRS Annals. – 2022

