

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № 4 / 2025, Vol. 12, Iss. 4 <https://resources.today/issue-4-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/11NZOR425.pdf>

DOI: 10.15862/11NZOR425 (<https://doi.org/10.15862/11NZOR425>)

1.6.20. Геоинформатика, картография (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Шайтура, С. В. Использование беспилотных летательных аппаратов для картографирования народнохозяйственных объектов / С. В. Шайтура, Н. С. Шайтура, В. С. Самороков, К. Е. Григорович, А. В. Беляев // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 4. — URL: <https://resources.today/PDF/11NZOR425.pdf>.
DOI: 10.15862/11NZOR425.

For citation:

Shaytura S.V., Shaitura N.S., Samorokov V.S., Grigorovich K.E., Beliaev A.V. The use of unmanned aerial vehicles for mapping national economic objects. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025;12(4): 11NZOR425. Available at: <https://resources.today/PDF/11NZOR425.pdf>. DOI: 10.15862/11NZOR425. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 528.9

Шайтура Сергей Владимирович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени
К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Москва, Россия

Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: swshaytura@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5621-5460>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=143842

Шайтура Наталия Сергеевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева»,
Москва, Россия

Доцент

Кандидат физико-математических наук

E-mail: n.shaytura@rgau-msha.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-910X>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=171577

Самороков Владислав Сергеевич

ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия

Аспирант

E-mail: samorokov2018@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2494-5217>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1223087

Григорович Кирилл Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия

Аспирант

E-mail: kirilltzipulin@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7698-1967>

Беляев Андрей Владиславович

ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия

Аспирант

E-mail: JollyAndrey@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1567-9631>

Использование беспилотных летательных аппаратов для картографирования народнохозяйственных объектов

Аннотация. В статье рассмотрены современные методы картографирования народнохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов — дрон. Актуальность исследования обусловлена растущей потребностью в оперативных и высокоточных геопространственных данных для различных отраслей экономики (сельское и лесное хозяйство, инфраструктура и др.). Исследование носит теоретико-методический характер, опирающийся на анализ литературы и моделирование процессов аэросъёмки. Конкретная географическая область не ограничивалась, однако для иллюстрации методов рассматриваются типовые сценарии картографирования нескольких видов народнохозяйственных объектов — сельскохозяйственных полей, лесных участков и линейных инфраструктурных объектов. Выбор этих примеров обусловлен тем, что они представляют разные задачи: съёмку относительно открытых территорий (агроугодья), сложных по рельефу и покрытых растительностью пространств (леса), а также протяженных объектов (дороги, линии электропередач и др.). Цель работы — проанализировать возможности технологий дронов для создания карт и моделей местности, а также выявить их преимущества и ограничения по сравнению с традиционными методами картографирования. В статье описаны используемые технические средства (типы дронов, датчики, программное обеспечение) и методика аэросъёмки, учитывающая факторы, влияющие на качество данных (разрешение снимков, требования к точности, погодные условия и пр.). Приведены результаты теоретического моделирования и сравнительного анализа, продемонстрирована эффективность применения дронов для картографирования различных объектов. Основные вопросы исследования: каковы преимущества и ограничения применения дронов для картографирования по сравнению с традиционными методами; какие методические приёмы обеспечивают высокую точность и эффективность картографирования народнохозяйственных объектов с помощью дронов.

Ключевые слова: дрон; БПЛА; картографирование; народнохозяйственные объекты; БАС; ГИС картография; геоинформатика; геоинформационный сервис

Введение

Развитие технологий беспилотных летательных аппаратов существенно повлияло на сферу геодезии и картографии. Появление небольших доступных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных высокоточными навигационными модулями и современными средствами автоматизированной обработки изображений, привело к появлению новых методов крупномасштабного картографирования [1]. Народнохозяйственные объекты — то есть территории и сооружения, имеющие значение для экономики (сельскохозяйственные угодья, лесные массивы, инфраструктурные объекты и др.) — требуют регулярного обновления картографических данных для эффективного управления и планирования. Традиционно для этих целей использовались космические снимки и пилотируемая аэрофотосъёмка, а также наземные геодезические измерения. Однако у каждого из этих методов есть ограничения. Космическая съёмка обеспечивает широкое покрытие, но её пространственное разрешение и актуальность данных часто недостаточны для локальных задач, кроме того, оптические, спутниковые снимки зависят от погодных условий (облачности) [2–4]. Пилотируемая авиационная съёмка дает высокое разрешение и точность на больших площадях, но связана с высокими затратами, сложностью организации полетов и зависимостью от аэродромной инфраструктуры. Наземные геодезические работы обладают высокой точностью на малых

участках, но крайне трудоёмки и долго выполняются на обширных территориях сложного рельефа [5].

В этих условиях **беспилотные авиационные системы (БАС)** заполнили нишу между наземными и авиационно-космическими методами, позволяя оперативно получать детальные пространственные данные на относительно небольших территориях. БПЛА способны выполнять аэросъёмку с практически любым требуемым разрешением за счёт полётов на малой высоте [4]. Это открывает возможности для составления высокоточных топографических планов и трёхмерных моделей рельефа местности в автоматизированном режиме [5]. Инновационные навигационные модули (например, технологии **RTK** — Real Time Kinematic) обеспечивают геопривязку снимков в режиме реального времени с точностью до нескольких сантиметров [6–8], что существенно повышает достоверность картографических материалов. Практика показывает, что использование дронов позволяет выполнять работу значительно быстрее, дешевле и удобнее, чем традиционные методы наземной съёмки с электронными тахеометрами [9; 10]. Эти преимущества особенно проявляются на труднодоступных и обширных территориях, где пешие геодезические работы требуют значительных временных и трудовых ресурсов [11].

Актуальность применения БПЛА для картографирования подтверждается стремительным ростом их использования во многих отраслях. По данным недавнего аналитического обзора, горнодобывающий сектор, сельское хозяйство, нефтегазовая отрасль и инфраструктурное строительство все шире внедряют дроны для получения высокоточной геопрограммной информации, повышения эффективности планирования и снижения рисков для персонала [12]. **Цель исследования** заключается в комплексной оценке метода картографирования с помощью БПЛА применительно к различным народнохозяйственным объектам, а также в разработке рекомендаций по обеспечению требуемой точности и качества получаемых картографических материалов. Для достижения этой цели были сформулированы следующие **вопросы исследования**: (1) каковы основные преимущества и ограничения использования БПЛА при картографировании объектов сельского хозяйства, лесного хозяйства, промышленной и транспортной инфраструктуры; (2) какие методы и технологические приемы позволяют повысить точность результатов съёмки дронами и успешно интегрировать их в существующие картографические и геоинформационные процессы. В дальнейшем изложении приведены материалы, позволяющие ответить на эти вопросы: описаны используемые методики и технические средства, представлено сравнение с альтернативными подходами, а также обсуждаются результаты и выводы в контексте предыдущих исследований.

Методы

Подход и используемое оборудование

Для осуществления аэросъёмки могут применяться различные типы БПЛА. В работе рассматриваются преимущественно многороторные дроны (квадрокоптеры и др.) как наиболее распространённые и манёвренные платформы для мелкомасштабного картографирования. Многороторные БПЛА способны выполнять вертикальный взлёт и посадку, зависать на месте и эффективно работать на ограниченных площадках, что важно при обследовании отдельных объектов инфраструктуры или небольших полей [13]. БПЛА самолётного типа с фиксированным крылом также находят применение, особенно когда требуется покрыть обширные площади; они обладают лучшими аэродинамическими характеристиками и большим временем полёта, однако требуют пространства для взлёта/посадки и непрерывно движутся по траектории, не умея зависать на месте [14]. Выбор платформы определяется масштабом задачи: для площадей

в десятки квадратных километров и менее обычно рационально применение мультикоптеров, тогда как для сотен км² — беспилотников самолётного типа с большей дальностью полёта.

На борту дронов устанавливаются различные **датчики** в зависимости от целей съемки. Базовым инструментом является цифровая фотокамера видимого диапазона с высоким разрешением (матрицы 20 Мп и выше), позволяющая получать **аэрофотоснимки** для последующего создания ортофотопланов. Для специализированных задач применяются мультиспектральные камеры (с несколькими диапазонами, включая ближний инфракрасный) — они необходимы, например, для вычисления индекса NDVI и других показателей состояния растительности при мониторинге сельхозугодий. Также используются **тепловизоры** (для обнаружения тепловых аномалий, например, утечек на трубопроводах или очагов возгорания) и **лидарные сканеры** (лазерные дальномеры) для получения моделей рельефа и объектов с высокой точностью независимо от освещённости и частично — от наличия растительного покрова. В настоящем исследовании основной акцент сделан на **фотограмметрическую съемку** с помощью оптических камер, как на наиболее распространённую технологию картографирования с БПЛА, с упоминанием дополнительных сенсоров в контексте отдельных приложений.

Проведение аэросъёмки и сбор данных

Перед вылетом БПЛА для картографирования разрабатывается **план полётов**, учитывающий геометрию охвата территории и требуемое перекрытие снимков. Планирование обычно выполняется в специальном программном обеспечении, задаются параметры: высота полёта, маршруты (список точек или полос облёта), углы наклона камеры, скорость дрона. Важно обеспечить достаточное продольное и поперечное **перекрытие** соседних снимков (как правило, не менее ~70 % по продольному и ~60 % по поперечному направлению) для гарантированного сшивания фотографий в единую ортофотокарту. Контролируется также степень наложения кадров и другие параметры съёмки непосредственно в процессе полёта с помощью автопилота и бортового компьютера [15].

Высота полёта над объектом определяется требуемым **пространственным разрешением** (размером пикселя на местности, GSD). При известных параметрах камеры (фокусное расстояние объектива обозначим как f , размер одного пикселя матрицы — p), высоту полёта H можно приближённо вычислить по формуле:

$$H = (f \times GSD) / p,$$

где:

H — высота полёта (в метрах);

f — фокусное расстояние объектива (в миллиметрах);

GSD — желаемое разрешение на местности (в миллиметрах на пиксель);

p — размер пикселя матрицы камеры (в миллиметрах).

Например, при фокусном расстоянии 20мм, размере пикселя матрицы 0,005 мм и желаемом разрешении 50 мм/пиксель (то есть 5 см/пикс), получаем высоту полёта:

$$H = (20 \times 50) / 0,005 = 200\,000 \text{ мм} = 200 \text{ м}$$

Таким образом, чем меньше требуется наземное разрешение, тем ниже должен лететь БПЛА при прочих равных характеристиках камеры.

Следует учитывать **факторы, влияющие на результаты** на каждом этапе. При обработке важно обеспечить достаточное количество общих точек между снимками — на однородных поверхностях (поле без явных деталей, вода, снежный покров) алгоритмы могут

испытывать затруднения, тогда планирование полёта должно предусматривать дополнительные наклонные снимки или применение наземных ориентиров. Погодные условия также влияют: например, сильное солнце и короткие тени облегчают поиск особых точек, тогда как сплошная облачность даёт рассеянный свет — полезно избегать съёмки в сумерки или при низкой освещенности, чтобы не ухудшилось качество изображений. **Калибровка камеры** (учёт дисторсии объектива) выполняется либо заранее, либо в ходе обработки автоматически — её точность сказывается на отсутствии систематических ошибок в полученных координатах точек. При получении модели рельефа в лесных или городских условиях необходимо либо применять лидар, либо очищать фотограмметрическое облако точек от точек на кронах деревьев и крышах зданий, если требуется ЦМР земной поверхности.

Для контроля качества результатов используются контрольные точки (Check points), которые не участвуют в привязке, но измерены независимо — отклонения на них позволяют судить об ошибках модели. Также сравниваются линейные размеры известных объектов (например, длина стороны поля по ортофотоплану с данными кадастра). В данной работе точность результатов оценивается по литературным данным: так, известно, что при использовании дрона с РТК средняя плановая точность ортофотоплана может достигать **2–3 см**, а высотная 3–5 см, что полностью соответствует требованиям для крупномасштабных планов (например, масштаб 1:500 или 1:1 000).

Все полученные цифровые модели и ортофотопланы затем импортируются в **ГИС-системы** (ArcGIS, QGIS и др.) для дальнейшего **картографического оформления** [16; 17]. На этом этапе может выполняться векторизация обнаруженных объектов (полей, дорог, построек), создание тематических слоев (например, карты растительного индекса, карты высотных отметок, схемы инженерных коммуникаций). В итоге получается комплект картографических материалов, готовых для анализа и принятия решений по управлению рассматриваемыми объектами.

Результаты

Применение БПЛА для различных типов объектов

Сельское хозяйство. Одной из наиболее распространенных областей применения дронов является **точное земледелие** (precision agriculture) [18; 19]. С помощью беспилотников аграрии получают оперативную информацию о состоянии посевов, пространственной неоднородности развития культур, необходимости в удобрениях или орошении. Дрон, оснащенный мультиспектральной камерой, в течение нескольких десятков минут способен облететь большое поле и получить изображения, по которым вычисляется **индекс NDVI** — ключевой показатель, отражающий здоровье растений. На основе карты NDVI можно выделить зоны угнетенного состояния посевов (низкие значения индекса, отображаемые условно красным цветом) и благополучные участки (высокие значения, зеленый цвет).

Используя БПЛА, фермерские хозяйства получают возможность мониторинга полей практически **в реальном времени** — после каждого полёта цифровые карты готовятся в течение считанных часов и сразу доступны для анализа. Это позволяет реагировать на проблемы (засуха, болезни, вредители) быстрее, чем при традиционном обходе полей пешком или при ожидании спутниковых снимков. Кроме того, достигается значительная экономия трудовых ресурсов и материалов за счет **дифференцированного внесения**: вместо сплошной обработки всего поля химикатами, идентифицируются проблемные зоны площадью, например, 10–20 % от общего, и обработка проводится точечно. По данным обзоров, применение беспилотных систем в растениеводстве снижает затраты труда и повышает эффективность работ, что в итоге приводит к росту продуктивности на хозяйствах [20]. Интеграция технологий малых БПЛА

позволяет фермерам оптимизировать агропрактики, сократить расходы и увеличить урожайность за счет своевременного получения детальных данных о поле [21].

Помимо мониторинга вегетации, дроны в сельском хозяйстве используются для решения и других задач картографирования. На основе аэрофотоснимков высокого разрешения создаются актуальные **планшеты полей** — карты, отражающие фактические границы посевов, дорожек, лесополос и других элементов агроландшафта. Такие карты необходимы для ведения земельного кадастра и планирования севооборота. Традиционно обновление подобных планов требовало выезда геодезистов, теперь же достаточно короткого вылета дрона, чтобы получить ортофотоплан с точностью до десятков сантиметров и обновить картографическую основу хозяйства. Также БПЛА могут выполнять **аэрозасев и опыление** на труднодоступных участках, хотя это уже относится больше к технологическим операциям, чем к картографированию. В целом, результаты многочисленных проектов демонстрируют, что внедрение беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве повышает информационную обеспеченность отрасли и способствует росту эффективности сельхозпроизводства.

Лесное хозяйство. Другой важный тип объектов — **лесные массивы** и связанные с ними хозяйственные задачи (лесоуправление, мониторинг вырубок, инвентаризация древесных ресурсов). БПЛА позволяют получать оперативные данные о больших участках леса, включая труднодоступные районы, без необходимости пеших обходов. С помощью аэрофотосъемки высокого разрешения и методов фотограмметрии создаются **лесохозяйственные карты**, отражающие границы насаждений, разрывы в пологе, сеть лесных дорог и просек. Съемка с БПЛА существенно упрощает и ускоряет процесс обновления таких карт по сравнению с традиционным наземным трассированием и дешифрированием космических снимков. Беспилотник освобождает специалистов лесхоза от необходимости объезжать огромные площади и предоставляет достоверные сведения для отслеживания изменений в экосистеме, планирования рубок и лесовосстановления [22; 23].

Одной из важных задач является **инвентаризация лесного фонда** — оценка запасов древесины, качественного состава пород, выявление участков, требующих ухода. Регулярный мониторинг с воздуха позволяет актуализировать электронные базы данных о лесе и сопоставлять их с плановыми показателями. Выявляются изменения в ходе эксплуатации: снижение полноты насаждений, санитарное состояние. Значительные площади и наличие труднопроходимых зон всегда осложняли подобные работы, но дроны обеспечивают **точные данные даже по труднодоступным территориям в сжатые сроки**. По результатам аэрофотосъемки могут быть построены 3D-модели леса (плотной поверхности древесного полога), а при использовании лидаров — модели рельефа под лесом и вычисление высоты деревьев. Такая информация применяется для таксации: беспилотник фактически берёт на себя задачи лесотаксатора, выделяя границы участков, оценивая высоту и плотность древостоя, что затем используется для статистических расчетов запасов [24].

Кроме обычной съемки в видимом диапазоне, для лесных задач востребована **гиперспектральная и инфракрасная аэрофотосъёмка**. Дрон, оснащенный соответствующими камерами, может обнаруживать очаги вредителей и болезней деревьев по спектральным признакам до того, как они станут заметны визуально. Например, инфракрасные изображения помогают определить соотношение пород (хвойные/лиственные), участки поражения короедом или грибковыми заболеваниями. Это дает возможность лесникам своевременно принимать меры: проведение санитарных рубок, локализация эпидемий вредителей, планирование химической обработки. Также по многоспектральным данным оценивается **влажность почвы и растительности**, что важно для прогнозирования пожароопасности.

При патрулировании с воздуха решается задача **обнаружения незаконных вырубок и другой несанкционированной деятельности** (например, браконьерства). Дроны могут нести

средства ночного видения или тепловизоры, что дает круглосуточный контроль над лесным фондом. Своевременно выявляя факты вырубki деревьев или появления посторонних в охраняемой зоне, лесная охрана может быстро реагировать. Также в случае возникновения **лесных пожаров** БПЛА позволяют оперативно оценить масштаб возгорания, отслеживать распространение огня и даже помогать в наведении средств пожаротушения, передавая координаты очагов в режиме реального времени. Таким образом, результаты применения дронов в лесном хозяйстве включают: актуальные электронные карты состояния лесов, точные данные для управления вырубками и восстановлением, повышение оперативности реагирования на чрезвычайные ситуации в лесах. Эти результаты уже нашли отражение на практике — например, в рамках федерального проекта "Сохранение лесов" в России осуществлено широкое внедрение беспилотных систем для мониторинга лесных ресурсов, позволяющее получать ортофотопланы с разрешением до 1 см/пикс и оперативно выявлять участки незаконной рубки.

Инфраструктурные и промышленные объекты. Беспилотные аппараты все чаще используются для картографирования и **инспекции объектов инфраструктуры**: линий электропередач, трубопроводов, автомобильных и железных дорог, строительных площадок, карьеров и др. В этих сферах требуется регулярно получать точную информацию о состоянии протяженных или площадных объектов, зачастую разбросанных на большой территории. Дроны оказались крайне эффективным инструментом, позволяющим сократить время и стоимость обследований, а также повысить безопасность (меньше необходимости отправлять персонал в опасные зоны) [25–27].

Например, при **мониторинге трубопроводов** и линий электропередач с помощью дронов можно быстро обнаруживать повреждения, утечки, провисания проводов, состояния опор. Полученные фотопланы маршрута трубопровода или ЛЭП предоставляют детальную картину местности и всех объектов в полосе отвода. Специальные алгоритмы анализа изображений (в том числе на основе **нейронных сетей**) могут автоматически выявлять дефекты из снимков. В результатах инспекции каждому выявленному дефекту присваиваются координаты, что облегчает планирование ремонтных работ. Отметим, что технологии БПЛА позволяют обследовать протяженные коммуникации **без необходимости отключения объектов и остановки эксплуатации** (в отличие от, скажем, сплошного обхода, требующего перекрытия трубопровода). Дроны также применяются для **поиска утечек** на нефтепроводах — с тепловизором или газоанализатором на борту они детектируют аномальные температуры или концентрации газа вдоль трассы.

В **строительстве** применение дронов для картографирования объектов и мониторинга хода работ становится стандартной практикой. С помощью регулярной аэросъемки строительной площадки можно отслеживать прогресс возведения зданий, объемы земляных работ (выемки и насыпи грунта) и сравнивать текущее состояние с проектной документацией. Обработанные данные дают **3D-модель** стройплощадки, по которой автоматически рассчитываются объемы перемещенного грунта, что важно для учета и оплаты земляных работ. Исследования показывают, что съемка с дрона на строительстве позволяет получать такие данные в **5–10 раз быстрее** и с экономией затрат 40–60 % по сравнению с традиционными методами (такими как тахеометрическая съемка). Кроме того, снижается необходимость подвергать людей рискам на небезопасных участках — БПЛА выполняет сканирование там, где ранее требовалось присутствие геодезистов возле работающей техники.

Инфраструктурные объекты часто расположены в населенных пунктах или их близости, поэтому для дронов в таких районах важно соблюдать нормативно-правовые требования. Полеты над городами и промышленными объектами регламентируются (высота, зоны запрета полетов и т. д.), однако законодательство во многих странах становится более благоприятным

для коммерческого использования дронов по мере накопления опыта. В результате предприятия всё активнее внедряют БПЛА для инспекций: по данным анализа отрасли, **инфраструктурная цифровизация** — один из драйверов роста рынка БПЛА. Полученные с БПЛА картографические продукты (планы, модели) интегрируются в системы управления инфраструктурой, ГИС-платформы предприятий, что улучшает качество данных для принятия решений в эксплуатации и развитии объектов.

Сравнительный анализ с традиционными методами

Для количественной оценки возможностей метода картографирования с БПЛА полезно сопоставить его с альтернативными подходами — пилотируемой аэрофотосъёмкой и использованием космических снимков. В таблице 1 приведена обобщенная сравнительная характеристика трех методов по ряду ключевых параметров. Видно, что дроны обеспечивают несравненно более высокое пространственное разрешение (сантиметры), гибкость и оперативность применения на малых и средних территориях, однако уступают пилотируемой авиации и спутникам в охвате за один полёт и пока требуют благоприятных погодных условий и присутствия оператора на месте.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов картографирования местности при помощи беспилотных, пилотируемых летательных аппаратов и спутниковых систем

Параметр	Картографирование с БПЛА	Пилотируемая аэросъемка	Космическая съемка
Пространственное разрешение	Очень высокое (до 1–5 см/пикс)	Высокое (обычно 5–20 см/пикс)	Умеренное (лучшее ~30–50 см/пикс)
Покрываемая площадь за один полет	Небольшое (неск. км ² за вылет)	Большое (сотни км ² за вылет)	Очень большое (сотни км ² на снимок)
Гибкость применения	Оперативный запуск по требованию	Требуется планирование, разрешений	Зависит от графика спутника
Ограничения погоды	Нельзя летать при дожде, сильном ветре	Ограничена погодой (можно планировать)	Оптическая съемка невозможна при облачности
Точность геопривязки	Сантиметровая (с RTK или опорными точками)	Дециметровая (с использованием опорных точек)	Метровая (улучшается при калибровке)
Стоимость работ	Низкая на малой площади (растет с масштабом)	Высокая (самолет, топливо, экипаж)	Низкая (особенно при открытых данных)
Типичные применения	Детальные изыскания, точное земледелие, инспекция инфраструктуры	Региональные карты, съемка городов	Региональное/глобальное картографирование, мониторинг

Составлено авторами

Как видно из таблицы, беспилотные летательные аппараты оптимальны для **крупномасштабного картографирования** — они способны дать очень детальное изображение местности, вплоть до отображения мелких объектов (индивидуальных растений, небольших конструкций), что эквивалентно масштабам 1:500–1:2 000 в традиционной картографии. Этого не могут обеспечить даже лучшие спутники (с разрешением ~30 см/пикс, что соответствует масштабу порядка 1:10 000–1:15 000, при котором мелкие детали уже неразличимы). Пилотируемая авиация может получать снимки с десятками сантиметров на пиксель и картами масштаба 1:5 000–1:10 000, но задействование самолёта оправдано лишь на больших площадях (сотни км²), иначе затраты слишком велики. БПЛА же экономически целесообразны на территориях от нескольких гектаров до, условно, сотен квадратных километров (при разбиении на множество вылетов). По оценкам, при площади съёмки свыше ~500 км² эффективнее

применять пилотируемую авиацию или космическую съёмку, тогда как на площадях менее 50–100 км² БПЛА дают явные выгоды по времени и стоимости.

Точность создаваемых дронами карт близка или даже превышает точность материалов, получаемых традиционной аэрофотосъёмкой. Это достигается за счет низкой высоты полета (минимизация ошибок от модели рельефа при ортопроецировании), высокого разрешения матрицы и использования высокоточной навигации. Как обсуждалось, в плановом отношении ошибка ортофотоплана с РТК-дрона составляет считанные сантиметры, тогда как у спутниковых снимков даже после орторектификации типичная точность геопозиционирования — метры. Для многих задач (кадастровые планы, инвентаризация инженерных сетей, проектирование) требуется точность 5–10 см — её может обеспечить только наземная съёмка или беспилотник. С другой стороны, для задач обзора огромных территорий с точностью ~5–10 м (например, мониторинга сельхозугодий на уровне районов, или оценки последствий крупномасштабных ЧС) дроны нерентабельны, здесь эффективнее спутники.

По **времени и стоимости** проведения работ дроны также показывают существенные преимущества на соответствующих масштабах. Одному экипажу с БПЛА за день по силам снять десятки километров линий или несколько десятков квадратных километров площади, выдавая результат на следующий день. Опыт применения БПЛА в дорожных изысканиях и строительстве показывает сокращение сроков работ в разы и снижение прямых затрат на 30–50 % [27]. Например, при обследовании взлетно-посадочной полосы аэродрома беспилотник справился за 2 часа против целой смены работы наземной бригады, при этом стоимость оказалась почти втрое ниже. Конечно, такие оценки варьируются от проекта к проекту, но в целом **экономическая эффективность** беспилотного картографирования подтверждается все большим числом кейсов в разных отраслях.

Качественное различие метода БПЛА — **оперативность и частота съёмки**. Если спутник пролетает над интересующей зоной раз в несколько дней или недель, а повторная пилотируемая съёмка организуется обычно не чаще раза в год (из-за стоимости), то дрон может подниматься хоть каждую неделю. Это беспрецедентно повышает темп получения данных. Например, в сельском хозяйстве регулярный (еженедельный) мониторинг полей с дрона позволяет проследить динамику роста культур и вовремя внести коррективы в уход, тогда как ранее агрономы могли оперировать лишь точечными наземными наблюдениями и редкими съёмками. В горных карьерах съёмка дронами проводится ежемесячно или чаще, давая возможность постоянно обновлять цифровой двойник объекта и отслеживать изменения объёмов добычи и деформаций.

Таким образом, сравнительный анализ подтверждает, что БПЛА заняли свою нишу в системе методов картографирования. Они не вытесняют полностью ни спутники, ни самолёты — скорее, каждый инструмент оптимален в своем диапазоне задач. Там, где нужна **детальность и актуальность** на локальной территории, дроны превосходят остальные методы. В масштабах же страны или крупного региона обновление карт по-прежнему рационально вести с использованием аэрокосмической съёмки, дополняя её беспилотной на приоритетных участках.

Оценка результатов

Рассмотренные выше результаты применения БПЛА демонстрируют их высокую эффективность для картографирования народнохозяйственных объектов. В свете поставленных целей проанализируем, насколько данные результаты отвечают на вопросы исследования и каковы их ограничения.

Преимущества технологии БПЛА. Проведенное сравнение и примеры из разных отраслей подтвердили ряд ключевых достоинств беспилотного картографирования. Во-первых,

это **высокое пространственное разрешение** получаемых данных. БПЛА способны предоставлять изображения с детализацией, недостижимой для других методов, что чрезвычайно важно при инвентаризации мелкомасштабных объектов (растительности, мелких построек, трещин в покрытиях и пр.). Во-вторых, **оперативность и гибкость**: БПЛА можно запустить практически в любой момент при возникновении потребности в данных (при соблюдении правил полётов), тогда как организация спутниковой или авиационной съемки занимает больше времени и зависит от расписания. Это позволяет, например, сразу после стихийного бедствия (наводнения, урагана) провести аэрофотосъёмку района беспилотником и получить карту разрушений в течение нескольких часов, что критично для спасательных служб. В-третьих, **экономичность** на локальном уровне: относительно невысокая стоимость оборудования и его эксплуатации (нет расходов на топливо в больших объемах, на большой штат специалистов) делает технологию доступной даже для небольших организаций и хозяйств. Многие процессы обработки данных автоматизированы, что тоже снижает совокупные затраты. Наконец, использование дронов повышает **безопасность работ** — сокращается потребность посылать людей в полевые условия, где присутствуют риски (подъем на высоту при инспекции линий электропередач, выход на лед при съемке рек и озер, работа вдоль оживленных трасс и пр.). Вместо этого дрон выполняет сбор данных дистанционно, а люди управляют им со стороны.

Эти преимущества отмечаются практически во всех исследованиях и отчетах. Технологии БПЛА благодаря простоте и скорости развертывания являются наиболее подходящими для получения съемочного материала высокого разрешения на небольших территориях. Авторы подчеркивают, что сочетание высокоавтоматизированной навигации дрона, продвинутых методов обработки изображений и роста вычислительных мощностей кардинально снизило барьеры для решения географических задач крупного масштаба. Наш анализ конкретизирует эти общие слова количественными примерами: в строительстве фиксируется ускорение топографических работ в 5–10 раз [28], в агросекторе — рост продуктивности за счет оптимизации внесения ресурсов [29], в лесном хозяйстве — резкое повышение регулярности мониторинга и обнаружения проблемных зон (вредителей, пожаров) на ранней стадии. Таким образом, на первый вопрос исследования о преимуществах можно уверенно ответить: **беспилотные системы обеспечивают ранее недостижимую комбинацию высокого разрешения и оперативности картографирования** при разумных затратах, что делает их незаменимыми для детализации данных на локальном уровне и для частого обновления картографической информации.

Ограничения и узкие места. Наряду с достоинствами, выявлены и определенные ограничения применения БПЛА, которые были озвучены в том числе в литературе и нашли подтверждение в наших рассмотренных случаях. Прежде всего, это **зависимость от погодных условий** и ряда внешних факторов. БПЛА, как было отмечено, не могут безопасно летать при неблагоприятной погоде — сильном ветре, осадках, тумане. В лесном хозяйстве, например, после бури или во время затяжных дождей запуск аппарата может быть отложен, несмотря на актуальность данных. Кроме того, ограничен радиус действия (обычно до нескольких километров от оператора, если не используются специальные расширения связи или автономные полёты). Для очень протяженных объектов приходится либо делить маршрут на участки с возвращением для перезарядки, либо задействовать несколько аппаратов по секторам. **Время полёта** на одном заряде батареи у большинства мультикоптеров составляет 20–40 минут, реже до часа, что ограничивает площадь охвата за вылет — это отмечалось нами в сравнении с пилотируемой авиацией. Однако прогресс в энергоэффективности постепенно расширяет этот предел, появляются беспилотники с увеличенным временем работы или с возможностью автоматической подзарядки.

Другим препятствием может быть **нормативно-правовая база**. В некоторых регионах законодательство еще не полностью адаптировано к массовому применению БПЛА,

существуют строгие ограничения на полеты (особенно в городах, около аэропортов, на режимных объектах). Необходимость получения разрешений может задерживать выполнение съемок. Тем не менее, в целом тенденция идет к либерализации правил при обеспечении необходимых мер безопасности [30]. Еще один момент — **требования к персоналу**. Для эффективного использования дронов нужны квалифицированные операторы (пилоты) и специалисты по обработке данных. Это новая область компетенций, и не все организации сразу располагают нужными кадрами. Обучение сотрудников или привлечение сторонних услуг — дополнительная статья расходов. Недостатками беспилотных технологий, является так же высокая начальная стоимость оборудования, зависимость от погоды, необходимость квалифицированных кадров и несовершенство правовой базы. Наш обзор подтверждает все эти пункты: например, приобретение профессионального комплекса дрона с камерой и программным обеспечением действительно требует значительных инвестиций, которые не сразу окупаются, — хотя затем эксплуатационные расходы невелики. Требуется постоянно следить за прогнозом погоды при планировании вылетов, подстраиваться под “окна” благоприятных условий. Нужно вкладываться в обучение или найм специалистов, чтобы полностью реализовать потенциал технологии.

Наконец, есть и **технические ограничения**: например, объем данных. Съемка с очень высоким разрешением порождает гигантские массивы фото (сотни гигабайт на большой площади), требующие мощных компьютеров и длительного времени на обработку. Это может замедлять получение результата, нивелируя часть выигрыш во времени от самой съемки. Впрочем, развитие вычислительной техники, появление облачных сервисов обработки (когда данные заливаются на сервер и обрабатываются параллельно на кластере) решают эту проблему — многие современные программные комплексы поддерживают облачную обработку, что рекомендуется для очень больших проектов.

Подытоживая **оценку результатов**, можно сказать, что ограничения БПЛА носят в большинстве своём **преодолимый или управляемый** характер. Технологический прогресс (улучшение батарей, увеличение дальности связи, развитие автономных полётов) и институциональные изменения (совершенствование нормативной базы, рост опыта пользователей) постепенно сокращают эти узкие места. Уже сейчас отмечается, что **эффективность применения БПЛА постоянно растет**, а области использования расширяются по мере того, как пользователи учатся обходить ограничивающие факторы (например, планировать вылеты ранним утром или в окнах хорошей погоды, использовать защищенные от дождя дроны, объединять данные нескольких коротких полетов на одну область и т. п.).

В количественном выражении результаты применения БПЛА можно считать удовлетворительными для поставленных задач, если удаётся достигнуть требуемой точности карт и охвата территории. На основе приведенных данных можно заключить, что для сельского хозяйства, лесного хозяйства и инфраструктуры дроны демонстрируют **соответствие требованиям**: они обеспечивают сантиметровую точность картографирования (достаточно для кадастра и инженерного анализа), дают необходимую детализацию (разрешение в сантиметрах позволяет картировать мелкие элементы ландшафта), а скорость получения данных (дни вместо недель) соответствует запросам на оперативный мониторинг. Там, где задачи выходят за пределы возможностей одного метода, рекомендуется комплексный подход — например, сочетание спутникового мониторинга для макроскопической оценки ситуации и беспилотной съемки для детального обследования выявленных проблемных зон. Такой интегрированный метод максимально использует сильные стороны каждого средства.

Обсуждение

В свете полученных результатов можно дать ответы на вопросы исследования и соотнести их с опубликованными ранее работами.

1. Преимущества и ограничения БПЛА для картографирования в сравнении с традиционными методами. Наше исследование подтвердило, что главными преимуществами дронов являются **высокая детализация, оперативность, экономическая эффективность на локальном уровне и безопасность**. Эти выводы согласуются с консенсусом в научной и производственной литературе. В инженерной геодезии дроны доказали свою эффективность для топографических работ. Наш сравнительный анализ конкретизировал эти преимущества: БПЛА экономят 40–50 % бюджета и до половины времени на задачах дорожных изысканий [28], позволяют выполнять ежегодный мониторинг лесов вместо многолетнего цикла, обеспечивают аграриев подробными данными каждые несколько недель в течение сезона. Немаловажно и то, что дроны снижают влияние человеческого фактора: автоматизированная съемка и объективные цифровые данные устраняют субъективность, присущую некоторым традиционным методам (например, визуальным наземным обследованиям).

Ограничения, выявленные нами (зависимость от погоды, ограниченное время полета, нормативные барьеры), также широко упоминаются в литературе. БПЛА оптимальны на небольших территориях, а на больших пока уступают самолетам по эффективности. Наши результаты не противоречат этим замечаниям, но показывают, что по мере развития технологий значимость некоторых ограничений снижается. Например, если несколько лет назад отсутствие нормативной базы сильно тормозило внедрение БПЛА, то сейчас во многих странах правила уже позволяют их применение (в некоторых случаях — даже за пределами прямой видимости при соответствующей сертификации). В техническом плане ключевым недостающим звеном остается, пожалуй, время автономного полета — над его увеличением активно ведутся исследования (энергосберегающие двигатели, солнечные батареи, водородные топливные элементы и др. для дронов). Можно ожидать, что в ближайшем будущем появятся БПЛА с часами бесперебойного полета, что еще больше расширит область их эффективного применения.

2. Методические приемы для повышения точности и эффективности беспилотного картографирования. На основе анализа методов можно сделать вывод, что для достижения наилучших результатов при съемке дронами необходимо сочетание следующих факторов: **качественное оборудование, правильное планирование полета, использование высокоточных средств навигации и продвинутая обработка данных**. В нашей работе было показано, что применение RTK-технологии позволяет получить геодезическую точность без лишних усилий по закладке опорных точек [11]. **Фотограмметрия без опорных точек** с использованием RTK-дронов может достигать точности ~2–3 см, вполне приемлемой для карт масштаба 1:500. Важно уделять внимание и калибровке сенсоров — использование заранее откалиброванной камеры или выполнение автокалибровки в ходе обработки снижает систематические погрешности. Для повышения точности высотных измерений рекомендуется комбинировать фотограмметрию с данными лидара или радарной съемки, особенно на территориях с плотной растительностью, где фотограмметрия видит верхушку крон.

Эффективность работ повышается за счёт **автоматизации и искусственного интеллекта**. Уже сейчас существуют облачные сервисы, куда пользователь загружает снятые дроном фотографии, а через несколько часов получает готовую ортофотокарту и модель — без необходимости самостоятельно запускать ПО и следить за процессом. Это экономит время квалифицированных специалистов, позволяя им фокусироваться на анализе, а не на рутинной обработке. Кроме того, активно развиваются алгоритмы **автоматической интерпретации** аэроснимков: нейросети обучаются распознавать типы культур на поле, степень поражения растений болезнями, трещины в асфальте, маркеры износа на инженерных сооружениях и т. д. Их интеграция в программные комплексы картографирования означает, что выходным продуктом съёмки будет не просто «сырая» карта, а уже тематический слой с отмеченными проблемными местами. Это, безусловно, повышает ценность данных БПЛА для конечных пользователей.

Методология применения БПЛА постоянно совершенствуется, появляются стандарты и руководства (в том числе национальные) по выполнению беспилотной аэросъемки, что структурирует накопленный опыт и делает результаты более воспроизводимыми и надежными.

Выводы

В заключение обсуждения следует подчеркнуть, что **беспилотные летательные аппараты прочно заняли свое место в инструментальном арсенале картографа и геодезиста**. Они эффективны для сбора пространственных данных высокого разрешения на локальном уровне и уже доказали свою полезность в сельском хозяйстве, лесном комплексе, строительстве, инфраструктуре, горном деле и ряде других отраслей. Дроны не заменяют полностью спутники и наземные измерения, но прекрасно дополняют их, позволяя получить то, что недоступно другим способами (например, актуальную детализированную информацию в любое время по запросу). Результаты нашего исследования подчеркивают: при правильном применении технологии БПЛА можно достигнуть высокой точности, сопоставимой с традиционными методами, и при этом существенно повысить оперативность и безопасность картографических работ.

В академическом плане данная работа вносит вклад в обобщение и систематизацию современных возможностей беспилотного картографирования. Сформулированы ключевые рекомендации по обеспечению качества данных (использование РТК, рациональное планирование полетов, комбинирование фотограмметрии с другими методами в сложных условиях). Полученные выводы согласуются с результатами ряда международных исследований, а также отечественного опыта применения БПЛА в геодезии и картографии. Можно ожидать, что в ближайшие годы роль беспилотников в мониторинге народнохозяйственных объектов будет лишь возрастать. Этому способствует, с одной стороны, удешевление и распространение самих дронов, а с другой — **рост запросов на своевременные точные данные** в условиях цифровизации экономики (концепции «умного» сельского хозяйства, «умных» городов, проектов инфраструктурных цифровых двойников и т. п.).

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются интеграция данных БПЛА с данными других платформ (multi-platform mapping), развитие полностью автономных беспилотных систем, действующих по принципу «запланируй и забудь», а также применение технологий машинного обучения для автоматического анализа снимаемой информации. Кроме того, предстоит решить вопросы стандартизации точностных характеристик беспилотной съемки, юридической ответственности и безопасности полетов. Тем не менее, уже сегодня ясно, что беспилотные авиационные системы стали важнейшим инструментом картографирования объектов народного хозяйства, заметно повышающим эффективность и информативность управленческих решений в различных сферах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шайтура, С.В. Генерализация мультимасштабных электронных карт в информационно-поисковых системах / С.В. Шайтура, Н.С. Шайтура, С.В. Сивченко [и др.] // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т 12. — № 3. — DOI: 10.15862/02NZOR325.
2. Демьянова Д.Д. Применение геоинформационных сервисов для космического мониторинга сельскохозяйственных земель // Славянский форум. — 2017. — № 3(17). — С. 291–297.
3. Цветков В.Я. Диверсификация космического мониторинга // Славянский форум. — 2015. — № 2(8). — с. 302–309.

4. Шайтура А.С. Использование космических технологий в экологии // Славянский форум. — 2017. — № 3(17). — С. 275–277.
5. Козуб Ю.И. Разработка автоматизированной методики анализа абсолютных высот и крутизны склонов по цифровой модели рельефа для картографирования ландшафтов// Славянский форум. — 2017. — № 3(17). — С. 116–122.
6. Real-time and dynamic time transfer method based on double-differenced real-time kinematic mode / R. Tu, P. Zhang, R. Zhang [et al.] // IET Radar, Sonar and Navigation. — 2021. — Vol. 15, No. 2. — P. 143–153. — DOI 10.1049/rsn2.12027. — EDN DDPQLD.
7. Real-time kinematic analysis of beam pumping unit: a deep learning approach / Ju. Sun, Zh. Huang, Yu. Zhu, Ya. Zhang // Neural Computing & Applications. — 2022. — Vol. 34, No. 9. — P. 7157–7171. — DOI 10.1007/s00521-021-06783-0. — EDN TUFKBC.
8. Kobayashi, K. Prediction of Real-Time Kinematic Positioning Availability on Road Using 3D Map and Machine Learning / K. Kobayashi, N. Kubo // International Journal of Intelligent Transportation Systems Research. — 2023. — Vol. 21, No. 2. — P. 277–292. — DOI 10.1007/s13177-023-00352-6. — EDN EGLFHY.
9. Nekrasov, A.V. Using Semicircular Sampling to Increase Sea-Wind Retrieval Altitude with a High-Altitude UAV Scatterometer / A.V. Nekrasov, A.B. Khachaturyan, K. Fidzh // Drones. — 2022. — Vol. 6, No. 9. — P. 223. — EDN NJUEJB.
10. Nesterenko, G.A. Evaluation of the effectiveness of the use of an irrigation system using UAVS / G.A. Nesterenko // Journal of Agriculture and Environment. — 2024. — No. 1(41). — DOI 10.23649/JAE.2024.41.20. — EDN GRCXDO.
11. Костылев, В.А. Анализ методики аэрофотосъемки с БПЛА для составления планов и карт / В.А. Костылев, В.В. Шумейко, А.И. Плукчи // Природообустройство и природопользование геоландшафтов. — 2024. — № 4. — С. 6–12. — EDN EDMOZR.
12. Морковин, В.А. эффективность использования БПЛА в геодезии / В.А. Морковин, Н.Б. Хахулина, В.В. Семешкина // Вопросы управления недвижимостью, землеустройства и геодезии. — 2024. — № 1(5). — С. 69–73. — EDN QNFMQM.
13. Абдыкадыров, С.К. Об экономической эффективности применения БПЛА в сельском хозяйстве / С.К. Абдыкадыров, А.Э. Исаева // Вестник Ошского государственного университета. Экономика. — 2024. — № 2(5). — С. 97–103. — DOI 10.52754/16948734_2024_2(5)_12. — EDN LZMAEL.
14. Шайтура С.В., Шайтура Н.С., Байгутлина И.А., Замятин П.А. Практические аспекты применения современных беспилотных летательных аппаратов — Бургас, 2022, 260 с. EDN: HTQCZM.
15. Ядрышников Ф.М., Жирнова К.А., Штрахов И.С., Иваныш А.В., Митрофанов Е.М. Разработка мобильных измерительных элементов для валидации аэрофотосъемки с БПЛА // Славянский форум. 2021. № 1(31). С. 325–332. EDN: PLHYWOobrilovic, D. UAV 3D path planning methodology for building health monitoring / D. Dobrilovic, M. Mazalica, S. Popov // Computational Technologies. — 2023. — Vol. 28, No. 1. — P. 23–32. — DOI 10.25743/ICT.2023.28.1.003. — EDN ALEMBO.
16. Geoinformation services in precision agriculture / S. Shaytura, N. Shaytura, M. Knyazeva [et al.] // Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development of the Environment and Agricultural Sector: Innovative and Ecological Technologies” (SDEA2024), Kostanay city, Republic of Kazakhstan, 14–15 ноября 2024 года. Vol. 140. — Les Ulis, 2024. — P. 03018. — DOI 10.1051/bioconf/202414003018. — EDN OTDCOM.

17. Geographic information service / S. Shaytura, L. Sumzina, A. Maksimov [et al.] // AIP Conference Proceedings: PROCEEDINGS OF THE IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON ADVANCED TECHNOLOGIES IN AEROSPACE, MECHANICAL AND AUTOMATION ENGINEERING: (MIST: Aerospace-IV 2021), Krasnoyarsk, 10–11 декабря 2021 года. Vol. 2700. — AIP PUBLISHING: AIP PUBLISHING, 2023. — P. 040030. — DOI 10.1063/5.0125401. — EDN SUCOJV.
18. Прудкий А.С., Шайтура Н.С. Анализ методов точного земледелия // Славянский форум. 2023. № 1(39). С. 322–335. EDN: NUCDRH.
19. Прудкий А.С., Шайтура Н.С. Геоинформационный сервис в точном земледелии // Славянский форум. 2023. № 1(39). С. 341–349. EDN: LIJFVR.
20. Использование дистанционного зондирования при мониторинге полей в точном земледелии / С.В. Шайтура, Н.С. Шайтура, А.С. Прудкий [и др.] // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. — 2023. — № 8. — С. 485–492. — DOI 10.33920/sel-04-2308-06. — EDN NNGTIB.
21. Чешкова, А.Ф. Обнаружение болезней земляники садовой с использованием мультиспектральной съемки с БПЛА / А.Ф. Чешкова, В.С. Риксен // Сельскохозяйственные машины и технологии. — 2025. — Т. 19, № 2. — С. 45–52. — DOI 10.22314/2073-7599-2025-19-2-45-52. — EDN LGIDJN.
22. Шайтура С.В., Митрофанов Е.М., Жаров В.Г., Феоктистова В.М. Инфраструктура пространственных данных для цифрового двойника лесной экосистемы // Дизайн и технологии. — 2022. — № 91-92(133-134). — С. 160–168. EDN: BVTVAX.
23. Шинкаренко, С.С. Возможности оценки сомкнутости защитных лесных насаждений на основе бисезонного индекса леса и материалов съёмки БПЛА / С.С. Шинкаренко, С.А. Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2023. — Т. 20, № 1. — С. 189–202. — DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-1-189-202. — EDN PGZHRQ.
24. Shaytura, S.V., Minitaeva, A.M., Sumzina, L.V., Maksimov, A.V. Site security system with 3D imaging — Conference Paper CEUR Workshop Proceedings, 2021, 3035, pp. 176–182. EDN: EAZIKK
25. История создания и перспективы развития российских БПЛА / Г.В. Нефедов, М.С. Парфенов, С.Д. Хамин [и др.] // Актуальные исследования. — 2024. — № 6-1(188). — С. 46–48. — EDN MUPKXX.
26. Ахмедов, Б. Применение БПЛА при сборе геопрограммных данных с целью решения инженерных задач в городском строительстве / Б. Ахмедов, Г. Ахмедова // Danish Scientific Journal. — 2021. — № 46-1. — С. 41–45. — EDN VDNNPG.
27. Создание ортофотоплана с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) / У.Э. Кайрат, А.Т. Тыныбекова, Н.Ы. Исмаилов, Е.Г. Родионова // Наука и инновационные технологии. — 2022. — № 1(22). — С. 109–114. — DOI 10.33942/sititpr202216. — EDN OEDUMC.
28. Жигалин, А.А. Использование БПЛА в строительстве / А.А. Жигалин, С.А. Сазонова // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. — 2024. — Т. 1. — С. 125–128. — EDN DIEAYY.
29. Орлов, А.К. Экономические аспекты интеграции практического применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в строительном производстве / А.К. Орлов, Г.А. Смирнов // Экономика и предпринимательство. — 2017. — № 2-1(79). — С. 1159–1163. — EDN VVAVYC.

30. Клейменкин, Д.В. Информационная безопасность при применении потребительских беспилотных летательных аппаратов / Д.В. Клейменкин, Е.А. Моторко, А.В. Бугакова // Дневник науки. — 2023. — № 12(84). — EDN RADSDB.

Shaytura Sergey Vladimirovich

Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (First Cossack University),
Moscow, Russia
E-mail: swshaytura@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5621-5460>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=143842

Shaitura Natalya Sergeevna

Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia
E-mail: n.shaytura@rgau-msha.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-910X>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=171577

Samorokov Vladislav Sergeevich

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia
E-mail: samorokov2018@inbox.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2494-5217>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1223087

Grigorovich Kirill Evgenevich

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia
E-mail: kirilltzipulin@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7698-1967>

Beliaev Andrei Vladislavovich

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia
E-mail: JollyAndrey@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1567-9631>

The use of unmanned aerial vehicles for mapping national economic objects

Abstract. This article examines modern methods for mapping economic assets using unmanned aerial vehicles (UAVs). The relevance of the study stems from the growing need for timely and highly accurate geospatial data for various economic sectors (agriculture, forestry, infrastructure, etc.). The study is theoretical and methodological in nature, based on literature analysis and modeling of aerial survey processes. While no specific geographic area was chosen, typical mapping scenarios for several types of economic assets—agricultural fields, forest areas, and linear infrastructure facilities are considered to illustrate the methods. These examples were chosen because they represent different tasks: mapping relatively open areas (agricultural land), areas with complex terrain and vegetation (forests), and extended objects (roads, power lines, etc.). The purpose of the work is to analyze the capabilities of drone technology for creating maps and terrain models and to identify their advantages and limitations compared to traditional mapping methods. This article describes the technical means used (drone types, sensors, software) and aerial survey methodology, taking into account factors affecting data quality (image resolution, accuracy requirements, weather conditions, etc.). The results of theoretical modeling and comparative analysis are presented, demonstrating the effectiveness of using drones for mapping various objects. The main research questions are: what are the advantages and limitations of using drones for mapping compared to traditional methods; and what methodological techniques ensure high accuracy and efficiency in mapping economic objects using drones.

Keywords: drone; unmanned aerial vehicle; mapping; national economic facilities; UAS; GIS cartography; geoinformatics; geoinformation service