

УДК 622:624.131:551.4.042 (476.5)

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗВЛЕКАЕМЫХ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС ИЗ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

А. Б. Тарбенко, А. Н. Галкин, К. С. Мальков

Витебский государственный университет имени П. М. Машерова  
Московский просп., 33, 210038, Витебск, Беларусь  
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

*Цель работы – рассмотреть на примере одного из карьеров по добыче общераспространенных полезных ископаемых на территории Витебской области возможности использования беспилотных летательных аппаратов для точного подсчета извлекаемых объемов земляных масс, позволяющие оптимизировать процессы планирования и управления природными ресурсами.*

*В качестве тестового полигона для отработки методики расчетов и съемки был выбран песчаный карьер месторождения «Шалыги-1», расположенный в северной части Витебского района в 0,9 км на северо-запад от центра д. Шалыги, в 0,5 км на юг – юго-восток от центра д. Тригубицы и в 14,0 км на север от центра г. Витебска, который эксплуатируется с 2023 г.*

*Оценка объемов извлекаемых земляных масс была выполнена с использованием современных программных решений и технологий, что обеспечило высокую точность и эффективность анализа. В ходе работы применялись методы векторизации (Easy Trace и др.), фотограмметрического анализа (Agisoft Metashape) и геоинформационного анализа (QGIS, Аксиома), а также компьютерное моделирование на основе САПР (модуль Geonics папоCAD) и программирование решений. Исходные данные были получены в результате автоматической аэрофотосъемки с использованием камеры высокого разрешения БПЛА Phantom. В результате проведенной аэрофотосъемки карьера получен массив из 527 снимков в видимом спектре (RGB) с разрешением 2,5 см/пиксель. С помощью программы Agisoft Metashape построены ортофотоплан, модель облака точек и цифровая модель местности территории карьера. Кроме того, предварительно были рассчитаны объемы земляных масс по модели «на лету». Далее в программе QGIS производилась обработка данных о рельефе территории и их подготовка для экспорта в папоCAD Geonics. Основные расчеты проводились на базе специализированного модуля российского аналога AutoCAD – папоCAD Geonics. Построение поверхностей осуществлялось несколькими способами на базе импортированных облака точек (.las) и горизонталей (.shp). Картограммы земляных масс построены по квадратам (аналог ручного способа расчетов). Итоговые расчеты были сопоставлены с материалами традиционной наземной съемки недропользователя. Применение единых методик расчета и позиционирования позволяет говорить о том, что разница в результатах связана с более высокой точностью моделирования на основе данных беспилотной съемки. Таким образом, исходя из качества результатов в совокупности с более высоким уровнем безопасности и оперативности, можно говорить о том, что дистанционная оценка количественных параметров недропользования является предпочтительной по сравнению с традиционными методами.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат (БПЛА), фотограмметрия, цифровая модель рельефа (ЦМР), цифровая модель местности (ЦММ), мобильная базовая станция GNSS, полезные ископаемые, карьер, добыча, определение объемов, моделирование.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия технологический прогресс значительно изменил подходы к производству и мониторингу в горнодобывающей промышленности. Одним из наиболее перспективных направлений стало использование фотограмметрических методов с применением беспилотных летательных аппаратов, особенно квадрокоптеров, оснащенных модулем RTK. Эти технологии позволяют

осуществлять оперативный контроль работы горного предприятия по добыче полезных ископаемых в открытых горных выработках, что является важным аспектом для повышения эффективности и безопасности производственных процессов [3; 7].

Одним из основных достоинств применения квадрокоптеров является их способность оперативно и эффективно собирать данные, что существенно уменьшает время, затрачиваемое на полевые работы. Кроме того, благодаря высокой точности,

достигаемой с использованием RTK, результаты, представленные в виде цифровых моделей, обладают высокой надежностью и могут быть использованы для последующего анализа и планирования различных исследований: технологических, инженерно-геологических, экологических и др.

В литературе можно встретить множество примеров эффективного использования квадрокоптеров в таких сферах, как землеустройство, сельское хозяйство, горное дело, строительство, экология, где они показывают свои преимущества в различных условиях и задачах. Исследования подтверждают, что применение беспилотных технологий не только повышает качество выполняемых работ, но и снижает риски, связанные с нанесением экологического ущерба, потерей дорогостоящего оборудования и другими проблемами [1; 2; 4; 6; 8; 10]. Таким образом, квадрокоптеры с RTK становятся важной частью современного подхода к различного рода исследованиям в открытых горных выработках.

В рамках реализации задания «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Витебской области как основы рационального и эколого-безопасного недропользования» Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг., а также договора о сотрудничестве в выполнении научно-исследовательских работ, заключенного между Витебским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружа-

ющей среды и Витебским государственным университетом имени П. М. Машерова, нами было проведено обследование одного из действующих песчаных карьеров в Витебском районе с целью установления возможностей использования беспилотных летательных аппаратов для точного подсчета извлекаемых объемов земляных масс, позволяющих оптимизировать процессы планирования и управления природными ресурсами.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве тестового полигона для отработки методики позиционирования и съемки был выбран карьер месторождения «Шалыги-1», расположенный в северной части Витебского района в 0,9 км на северо-запад от центра д. Шалыги, в 0,5 км на юг – юго-восток от центра д. Тригубцы (рис. 1) и в 14,0 км на север от центра г. Витебска. Полезным ископаемым здесь являются песок и песчано-гравийно-валунный материал (гравийно-песчаная смесь), которые используются для дорожного и промышленно-гражданского строительства. Балансовые запасы песка и гравийно-песчаной смеси в границах выделенного земельного участка составляют 1378,00 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по категории В – 271,00 тыс. м<sup>3</sup>; извлекаемые геологические запасы – 716,02 тыс. м<sup>3</sup>. Эксплуатируется участок месторождение с 2023 г. [12].



Рисунок 1 – Схематическая карта расположения карьера месторождения «Шалыги-1» по добыче песка и гравийно-песчаной смеси

Оценка извлекаемых объемов земляных масс проводилась с использованием современного программного обеспечения (ПО) и технологий, что гарантировало высокую точность и эффективность анализа. В процессе работы применялись как российские решения, такие как Agisoft Metashape

и nanoCAD Geonics, так и свободно распространяемое ПО, в частности QGIS.

Agisoft Metashape позволил создать высококачественные 3D-модели местности на основе фотограмметрических данных, что значительно упростило процесс визуализации и анализа объемов

земляных работ. NanoCAD Geonics, в свою очередь, обеспечил возможность выполнения геодезических расчетов и создания детализированных планов, что также способствовало более точной оценке объемов.

Для сбора данных использовался беспилотный комплекс Phantom производства KНР. Этот БПЛА обеспечил высокую мобильность и возможность быстрого получения аэроснимков, что является ключевым фактором для эффективной оценки земляных работ.

Аэросъемка была проведена в автоматическом режиме с использованием рекогносцировочных настроек, что позволило эффективно организовать процесс даже в сложных метеорологических условиях. Температура воздуха во время съемки составляла менее 5 °С, наблюдались порывы ветра до 12 м/с, а также слабый дождь, что создавало определенные трудности для выполнения задачи.

Съемка осуществлялась на высоте 60 метров, что обеспечивало высокое разрешение изображений в 2,5 см/пиксель. Для достижения необходимого качества и полноты данных было выбрано наложение снимков на уровне 70 % по обоим осям, что способствовало созданию детализированной модели местности.

Позиционирование материалов съемки осуществлялось с использованием RTK, GPS и оптических систем беспилотного летательного аппарата (БПЛА), что обеспечивало достаточную точность геопривязки полученных данных. Для проверки

и верификации результатов аэросъемки были использованы данные землепользователя, полученные через базовую мобильную станцию GNSS. Сравнение результатов позволило оценить точность и надежность полученных изображений, а также подтвердить их соответствие требованиям проекта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получение данных об объемах карьерных выработок с целью оценки их соответствия нормативным параметрам достаточно трудоемкий процесс, если речь идет о наземной съемке оработанного участка. Основная задача эксперимента состояла в подборе программно-технического обеспечения и демонстрации возможностей дистанционного контроля морфометрических параметров земляных работ по сравнению с традиционными методами. Отметим, что сравнение проводилось на основе одномоментного и одинакового по времени осуществления полевых работ двумя способами (наземный и беспилотный).

В результате съемки, проведенной в течение 50 минут при неблагоприятных погодных условиях, был получен массив данных из 527 снимков в видимом спектре (RGB) с разрешением 2,5 см/пиксель. Первичная обработка данных проводилась с помощью программы Agisoft Metashape. Используя инструментарий программы, были последовательно построены модель, облако точек, ЦММ и ортофотоплан территории карьера (рис. 2).



Рисунок 2 – Результаты обработки данных аэрофотосъемки в Agisoft Metashape

Agisoft Metashape предлагает весь спектр возможностей, необходимых для оценки объемов земляных работ. Используя инструменты вкладки «Модель», предварительно убрав лишние участки модели, автоматически рассчитывались объем и площадь карьера (рис. 3). Результаты, полученные таким способом, согласно данным из различных источников признаются и активно применяются в официальных документах земле-

пользователями. Однако автоматизированный неконтролируемый процесс создания вспомогательных поверхностей при формировании закрытых фигур для оценки объемов может привести к значительным ошибкам, особенно при работе со сложными многоуровневыми объектами, такими как карьерные разработки.

Одна из возможных альтернатив – это измерение объемов внутри Agisoft Metashape не на осно-

ве полигональной модели, а на основе карты высот. К сожалению, если площадь основания измеряемого объема велика и основание имеет большой угол относительно горизонта, ошибки измерения и здесь оказываются весьма значительными [11].

По нашему мнению, для достижения результатов заданной точности и обеспечения возможности их использования как основы для инженерных и иных изысканий необходимо привлечение дополнительного программного обеспечения.

В рамках проведенных исследований использовался модуль Geonics системы автоматизированного проектирования nanoCAD. Программа позволяет готовить модель к расчетам по настраиваемым параметрам, применяет для построения картограмм (расчета объемов) стандартные методики, соответствующие ГОСТам, и, кроме прочего, предоставляет возможность бесплатного использования в рамках учебной и научной деятельности.

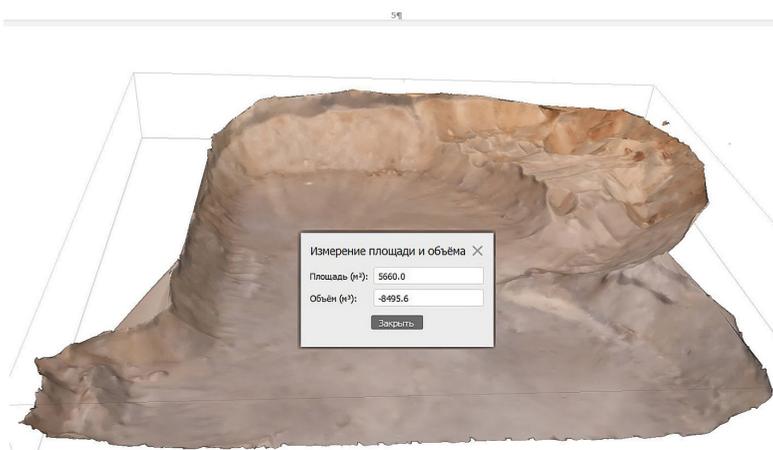
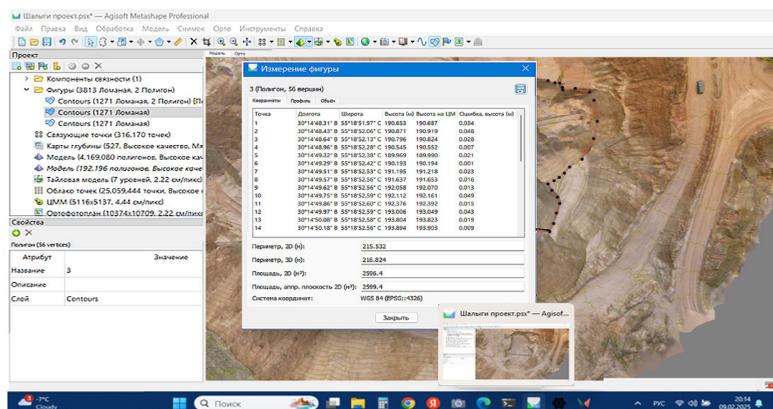


Рисунок 3 – Расчет площади и объема выемок в Agisoft Metashape

С целью последующего использования данных, полученных в Agisoft Metashape, облако точек и цифровая модель местности сохранялись в общепринятых форматах, совместимых с геоинформационными системами и системами автоматизированного проектирования, таких как .GeoTIFF и .las. Однако высокая точность данных, полученных с помощью беспилотной съемки, приводит к их значительному объему и предъявляет высокие требования к аппаратному обеспечению для дальнейшей работы [9]. Существует несколько способов адаптации данных к техническим возможностям исследователя, включая использование внутренних инструментов nanoCAD Geonics (например, уменьшение

плотности облака точек при экспорте) и преобразование данных с помощью функций геоинформационных систем.

В качестве примера можно привести создание горизонталей на основе данных ЦММ в ГИС и их последующий экспорт в САПР. Хотя горизонтали также можно формировать с использованием Agisoft Metashape, мы считаем, что для работы с геоданными более эффективно использовать инструменты геоинформационных систем. Поэтому обработка информации о рельефе местности и подготовка ее для экспорта в nanoCAD Geonics была выполнена в программе QGIS (рис. 4).

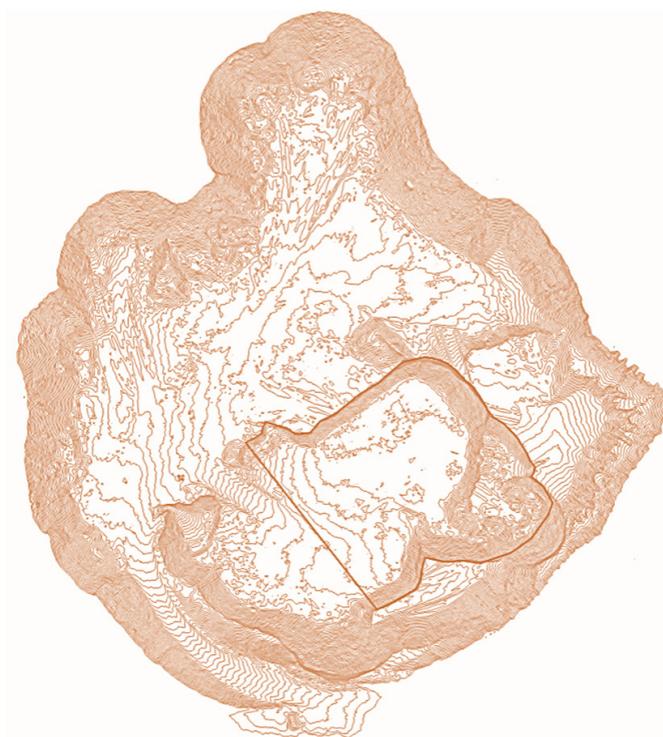


Рисунок 4 – Массив горизонталей, построенный по данным БПЛА в QGIS

На основе импортированных горизонталей в nanoCAD Geonics были построены поверхности для расчета объемов выемки и насыпи. Особое внимание на данном этапе необходимо уделить построению отсекающей поверхности, т. к. именно ее некорректные параметры могут привести к ошибочным результатам. Используя вкладку «Картограмма» модуля «Вертикальная

планировка», были выполнены итоговые построения и расчеты объемов и площадей земляных работ. Картограммы земляных масс строились по квадратам – аналог ручного способа расчетов (рис. 5). Программа имеет еще более точный вариант расчетов по призмам, но поскольку ГОСТ предполагает первый метод [5], то большинство изыскателей использует именно его.

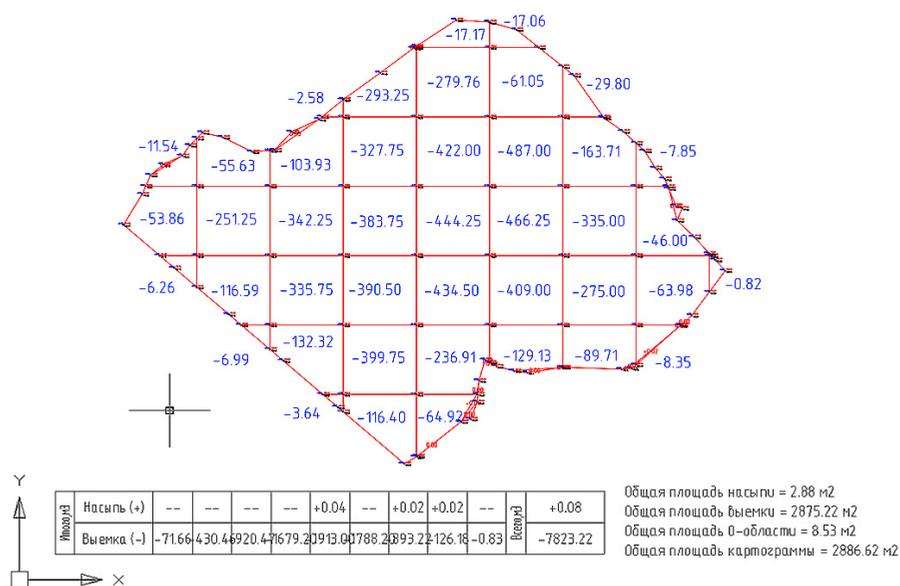


Рисунок 5 – Картограмма расчета земляных масс выемки

На основе сравнения полученных данных с информацией землепользователя можно сделать следующие выводы. Во-первых, точность моделей, созданных с использованием беспилотной съемки, значительно превышает результаты, полученные в ходе наземных работ (рис. 6), что также отражается на большей точности

итоговых расчетов. Во-вторых, эффективность, скорость и безопасность работ, основанных на беспилотной съемке, также выше. Тем не менее наилучший результат можно достичь, объединив планово-высотную основу, созданную в результате наземных измерений, с данными беспилотной съемки.

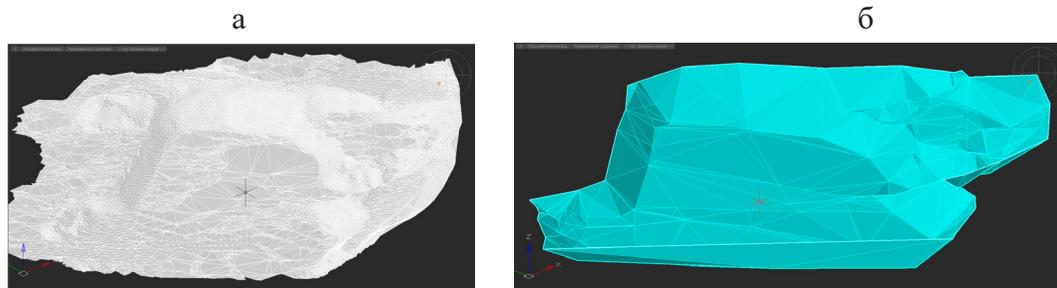


Рисунок 6 – Поверхности для расчета объемов выемки, построенные по данным: а) беспилотной съемки и б) наземных измерений

Применение современных беспилотных комплексов для замены наземных измерений и мультипрограммный подход к расчетам имеют свои особенности. При анализе результатов и сравнении данных из различных источников важным аспектом является выбор проекций и системы координат модели. Большинство картографических материалов в настоящее время создаются в широко используемой проекции WGS 84, в то время как расчеты и построения для землепользователя в рамках эксперимента выполнялись с использованием СК63 и проекции Гаусса-Крюгера. Это привело к необходимости перепроецирования материалов. Все программы, примененные в проекте, предлагают инструменты для перепроецирования, однако алгоритмы их реализации различаются, что может привести к искажениям в результатах. Кроме того, в современных условиях важно перейти на российское и свободно доступное программное обеспечение, что позволит решать инженерно-экологические задачи по контролю выполнения норм недропользования независимо от внешних геополитических и иных факторов.

## ВЫВОДЫ

Применение современных беспилотных технологий, оснащенных высокоточными система-

ми позиционирования и совмещенных с мультипрограммной обработкой дистанционных данных, представляет собой весьма перспективный подход для оценки объемов земляных работ. Это необходимо для контроля соблюдения экологических и инженерно-технических норм недропользователями, а также для оценки воздействия объектов на окружающую среду и проведения экологической экспертизы проектов. Высокое качество, скорость, эффективность, легитимность и безопасность получаемых результатов обеспечиваются за счет следующих факторов:

- наличия трехуровневой системы позиционирования, которая включает RTK, GPS/ГЛОНАСС и оптическую навигацию;
- высокой разрешающей способности и стабилизации съемочного оборудования;
- возможности дистанционной работы в труднодоступных и опасных местах;
- широкого диапазона погодных условий, при которых возможно выполнение работ;
- использования специализированного лицензионного программного обеспечения российского производства или свободно распространяемого на всех этапах работы;
- применения стандартных методик в расчетах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алгоритмическое** и программное обеспечение с применением беспилотных летательных аппаратов для оценки остатков угля на открытых складах / О. В. Тайлаков [и др.] // Уголь. – 2015. – № 2. – С. 68–71.
2. **Волошина, Е. А.** Обоснование применения беспилотных летательных аппаратов для определения объема складов полезного ископаемого / Е. А. Волошина, С. Ю. Новоженин, С. К. Келехсаев // Горный

информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 305–321. – DOI : 10.25018/0236\_1493\_2023\_111\_0\_305.

3. **Вьюнов, М. В.** Оценка использования возможности применения аэрофотосъёмочных БПЛА для учета горных работ при добыче полезных ископаемых [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://config.com/files/pdf/презентации\\_2017/Вьюнов.pdf](http://config.com/files/pdf/презентации_2017/Вьюнов.pdf). – Дата доступа: 04.03.2025.

4. **Гафуров, А. М.** Возможности использования беспилотного летательного аппарата для оценки почвенной и овражной эрозии / А. М. Гафуров // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2017. – Т. 159, кн. 4. – С. 654–667.

5. **ГОСТ 21.508–2020.** Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. – М. : Стандартинформ. – 2020. – 38 с.

6. **Золкин, А. Л.** Цифровой мониторинг агроэкосистем на основе космических и беспилотных технологий как основа органического земледелия / А. Л. Золкин, Е. В. Матвиенко, Ю. В. Осоргин. – М., 2023. – 66 с.

7. **Зуев, Н. А.** Использование беспилотных авиационных систем при проведении маркшейдерских работ на разработках открытого типа / Н. А. Зуев, Е. А. Кобзева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 9 т. Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. – Новосибирск : СГА, 2018. – Т. 1. – С. 26–33.

8. **Катаев, М. Ю.** Анализ практических возможностей применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / М. Ю. Катаев, О. А. Пасько, Е. Ю. Карташов // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 1 (190). – С. 54–62.

9. **Колесатова, О. С.** Использование БПЛА для съёмки объектов открытых горных работ / О. С. Колесатова, А. В. Красавин // Глобус: геология и бизнес. – № 4 (63). – 2020. – С. 124–126.

10. **Реализация** возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в горном деле / И. А. Гришин [и др.] // Уголь. – 2022. – № 5. – С. 36–41. – DOI: 10.18796/0041-5790-2022-5-36-41.

11. **Следюк, Д.** Подсчет объемов с применением дронов. Ожидания и реальность // Взгляд с небес [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://aerophoto.com.ua/2022/01/18/drone-volume-counting/>. – Дата доступа: 04.02.2025.

12. **Уведомление** о планируемой деятельности. Планируемая деятельность: «Разработка и рекультивация месторождения песчано-гравийно-валунного материала (гравийно-песчаной смеси) и песка Шалыги (северо-западная часть) Витебского района Витебской области, строительства и обслуживания подъездной автомобильной дороги к нему Витебского района Витебской области. Внесение изменений». Общественные обсуждения [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://vitebsk.vitebsk-region.gov.by/ru>. – Дата доступа: 04.02.2025.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 05.03.2025

Рэцэнзент А. І. Паўлоўскі

## ПРЫМЯНЕННЕ БЕСПІЛОТНЫХ ЛЯТАЛЬНЫХ АПАРАТАЎ ДЛЯ ВЫЗНАЧЭННЯ ЗДАБЫВАЕМЫХ АБ'ЁМАЎ ЗЕМЛЯНЫХ МАС З АДКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБАТАК

**А. Б. Тарбенка, А. М. Галкін, К. С. Малькоў**

Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П. М. Машэрава  
Маскоўскі прасп., 33, 210038, Віцебск, Беларусь  
E-mail: [galkin-alexandr@yandex.ru](mailto:galkin-alexandr@yandex.ru)

Мэта работы – разгледзець на прыкладзе аднаго з кар'ераў па здабычы агульнараспаўсюджаных карысных выкапняў на тэрыторыі Віцебскай вобласці магчымасці выкарыстання беспілотных лятальных апаратаў для дакладнага падліку здабываемых аб'ёмаў земляных мас, якія дазваляюць аптымізаваць працэсы планавання і кіравання прыроднымі рэсурсамі. У якасці тэставага палігона для адпрацоўкі метадыкі разлікаў і здымкі быў выбраны пясчаны кар'ер радовішча «Шалыгі-1», размешчаны ў паўночнай частцы Віцебскага раёна за 0,9 км на паўночны захад ад цэнтра в. Шалыгі, за 0,5 км на поўдзень – паўднёвы ўсход ад цэнтра в. Трыгубцы і за 14,0 км на поўнач ад цэнтра г. Віцебска, які эксплуатаецца з 2023 года. Ацэнка аб'ёмаў здабываемых земляных мас была выканана з выкарыстаннем сучасных праграмных рашэнняў і тэхналогій, што забяспечыла высокую дакладнасць і эфектыўнасць аналізу. У ходзе работы прымяняліся метады вектарызацыі (Easy Trace і інш.), фотаграмэтрычнага аналізу (Agisoft Metashape) і геаінфармацыйнага аналізу (QGIS, Аксіёма), а таксама камп'ютарнае мадэляванне на аснове САПР (модуль Geonics

КАРЫСНЫЯ ВЫКАПНІ

папоCAD) і праграмаванне раішэнняў. Зыходныя даныя былі атрыманы ў выніку аўтаматычнай аэрафотаздымкі з выкарыстаннем камеры высокага разрознення БПЛА Phantom. У выніку праведзенай аэрафотаздымкі кар'ера атрыманы масіў з 527 здымкаў у бачным спектры (RGB) з разрозненнем 2,5 см/піксель. З дапамогай праграмы Agisoft Metashape пабудаваны артафотоплан, мадэль, воблака кропак і лічбавая мадэль мясцовасці тэрыторыі кар'ера. Акрамя таго, папярэдне былі разлічаны аб'ёмы земляных мас на мадэлі «на ляту». Далей у праграме QGIS праводзілася апрацоўка даных аб рэльефе тэрыторыі і іх падрыхтоўка для экспарту ў папоCAD Geonics. Асноўныя разлікі праводзіліся на базе спецыялізаванага модуля расійскага аналага AutoCAD – папоCAD Geonics. Пабудова паверхняў ажыццяўлялася некалькімі спосабамі на базе імпартаваных аб'ектаў кропак (.las) і гарызанталей (.shp). Картаграмы земляных мас пабудаваны на квадратах (аналаг ручнога спосабу разлікаў). Выніковыя разлікі былі супастаўлены з матэрыяламі традыцыйнай наземнай здымкі нетракарыстальніка. Выкарыстанне адзіных метадык разліку і пазіцыянавання дазваляе гаварыць аб тым, што розніца ў выніках звязана з больш высокай дакладнасцю мадэлявання на аснове даных беспілотнай здымкі. Такім чынам, зыходзячы з якасці вынікаў у сукупнасці з больш высокім узроўнем бяспекі і аператыўнасці, можна гаварыць аб тым, што дыстанцыйная ацэнка колькасных параметраў нетракарыстання з'яўляецца пераважнай у параўнанні з традыцыйнымі метадамі.

Ключавыя словы: беспілотны лятальны апарат (БПЛА), фотаграметрыя, лічбавая мадэль рэльефу (ЛМР), лічбавая мадэль мясцовасці (ЛММ), мабільная базавая станцыя GNSS, карысныя выкапні, кар'ер, здабыча, вызначэнне аб'ёмаў, мадэляванне.

## USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TO DETERMINE EXTRACTED VOLUMES OF EARTH MASS FROM OPEN MINING

A. Torbenko, A. Galkin, K. Ma'kov

Vitebsk State University named after P. M. Masherov  
33, Moscovski Avenue, 210038, Vitebsk, Belarus  
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

The purpose of the work is to consider, using the example of one of the quarries for the extraction of common minerals in the Vitebsk region, the possibilities of using unmanned aerial vehicles to accurately calculate the volumes of extracted earth masses, allowing to optimize the processes of planning and management of natural resources. The sand quarry of the Shalygi-1 deposit, located in the northern part of the Vitebsk region, 0,9 km northwest of the center of the village of Shalygi, 0,5 km south-southeast of the center of the village of Trigubtsy and 14,0 km north of the center of Vitebsk, which has been in operation since 2023, was chosen as a test site for practicing the calculation and survey methodology. The assessment of the volumes of extracted earth masses was carried out using modern software solutions and technologies, which ensured high accuracy and efficiency of the analysis. The work involved the use of vectorization methods (Easy Trace, etc.), photogrammetric analysis (Agisoft Metashape), and geoinformation analysis (QGIS, Axiom), as well as computer modeling based on CAD (Geonics nanoCAD module) and solution programming. The initial data were obtained as a result of automatic aerial photography using a high-resolution camera of the Phantom UAV. As a result of the aerial photography of the quarry, an array of 527 images was obtained in the visible spectrum (RGB) with a resolution of 2.5 cm/pixel. Using the Agisoft Metashape program, an orthophotoplan, model, point cloud, and digital terrain model of the quarry territory were built. In addition, the volumes of earth masses were preliminarily calculated using the model "on the fly". Then, in the QGIS program, the data on the terrain of the territory was processed and prepared for export to nanoCAD Geonics. The main calculations were carried out on the basis of a specialized module of the Russian analogue of AutoCAD – nanoCAD Geonics. The construction of surfaces was carried out in several ways based on imported point clouds (.las) and contours (.shp). Cartograms of earth masses were constructed by squares (analogous to the manual calculation method). The final calculations were compared with the materials of the traditional ground survey of the subsoil user. The use of unified calculation and positioning methods allows us to say that the difference in the results is due to the higher accuracy of modeling based on unmanned survey data. Thus, based on the quality of the results in combination with a higher level of safety and efficiency, we can say that remote assessment of quantitative parameters of subsoil use is preferable compared to traditional methods.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle (UAV), photogrammetry, digital elevation model (DEM), digital terrain model (DTM), mobile GNSS base station, minerals, quarry, mining, volume determination, modeling.