

Исследования показывают, что тенденция к потеплению в связи с резким усилением антропогенного воздействия на окружающую среду сохранится в ближайшие десятилетия. Однако неизвестно, как долго будет продолжаться рост температур и до какого предела они будут возрастать, как будет изменяться количество осадков и т. д. Такая направленность может постепенно измениться на противоположную, поскольку голоценовое межледниковье, как и все предыдущие в гляциоплейстоцене, должно смениться новой ледниковой эпохой. Глобальные причины, обуславливающие естественную направленность природного процесса на протяжении плейстоцена, возможно, окажутся гораздо более существенными по сравнению с антропогенным воздействием.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Юркевич, И. Д. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование (с «Картой растительности Белорусской ССР» масштаба 1 : 600 000) / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адерихо. – Минск : Наука и техника, 1979. – 248 с.

2. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь: Проект ClimaEAST / В. Мельник, В. Яцухно, Н. Денисов [и др.]. – Минск ; Женева, 2017. – 84 с.

3. Рылова, Т. Б. Региональные особенности палиностратиграфии муравинских отложений, межледниковой растительности и климата на территории Центральной Беларуси / Т. Б. Рылова, А. В. Шидловская // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 55–75.

УДК 623.746:55(476.5)

**А. Б. ТОРБЕНКО, А. Н. ГАЛКИН, И. А. КРАСОВСКАЯ,  
К. С. МАЛЬКОВ**

Беларусь, Витебск, ВГУ имени П. М. Машерова  
E-mail: torbenko\_a@mail.ru, galkin-alexandr@yandex.ru

### **ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ГИС, САПР И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТКРЫТЫХ КАРЬЕРНЫХ РАЗРАБОТОК**

Моделирование карьерных разработок, расчет объемов земляных работ, оценка устойчивости бортов и прочие изыскания в целях рационального недропользования являются сегодня исключительно актуальным направлением, т. к. количественные оценки позволяют предельно точно установить соответствие проводимых работ проектной документации, требованиям экологической

безопасности, стандартам отрасли и прочим нормативным параметрам. Особенно востребованными оказываются решения, основанные на применении дистанционных данных. Однако интерпретация данных, например, беспилотной съемки в среде различных программных продуктов не является идентичной. Целью данной работы является сравнение возможностей фотограмметрического программного обеспечения, геоинформационных систем и систем автоматизированного проектирования в отношении определения объемов земляных работ по данным беспилотной съемки на примере одного из действующих песчаных карьеров в Витебском районе.

Исходные данные для оценки объемов земляных работ получены в результате использования беспилотного комплекса Phantom со встроенным модулем RTK, что обеспечило высокий уровень точности съемки. Съемка производилась в автоматическом режиме, с рекогносцировочными настройками, в сложных метеоусловиях ( $t < 5$  °С, ветер 6–10 м/с, слабый дождь). Высота полета 60 м, что обеспечивает разрешение 2,5 см/пиксель. Наложение снимков 70 % по обоим осям. Позиционирование материалов осуществлялось на основе систем GPS, RTK и оптических систем беспилотного летательного аппарата (БЛА). Результаты сравнивались с данными землепользователя, полученными через базовую мобильную станцию GNSS. Анализ данных, построения и расчеты производились на базе использования российского (Agisoft Metashape, nanoCAD Geonics) и свободно распространяемого (QGIS) программного обеспечения.

С помощью программы Agisoft Metashape произведена обработка и построены ортофотоплан, модель, облако точек и цифровая модель местности (ЦММ) территории карьера (рисунок 1). Основной задачей при использовании данного ПО является обработка первичных данных, однако Agisoft Metashape позволяет предварительно рассчитывать объемы земляных масс по модели «на лету» (рисунок 2).

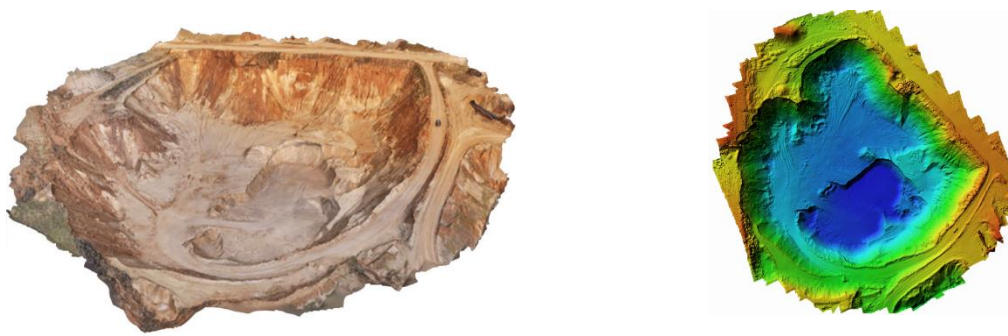


Рисунок 1 – Результаты обработки данных аэрофотосъемки в Agisoft Metashape

Результаты, согласно материалам из различных источников, признаются и широко используются в официальных документах землепользователями. Однако в программе отсутствует возможность контролировать процесс построений и создания вспомогательных поверхностей. В рамках инструментария программы построение отсекающих поверхностей проходит автоматически и результаты

нескольких попыток расчетов, произведенных на одних исходных данных, оказывались разными, хотя и близкими по значению. По нашему мнению, оценка точности расчетов средствами Agisoft Metashape и возможность их использования как материалов для инженерных и иных целей требует проведения дополнительных экспериментальных изысканий. В программе QGIS анализ объемов проведенных земляных работ основывался на использовании расчетного метода «подсчета средневзвешенных толщин» пластов между горизонталями (рисунок 3) и предварительной обработке данных о рельефе в программе SAGA с помощью инструмента Valley Depth. Расчеты проводились по формуле:

$$V = \Sigma S \times (\Sigma(h \times S) / \Sigma S),$$

где  $V$  – объем выемки,  $\text{м}^3$ ;  $S$  – площадь между соседними горизонталями в плане,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – разница между соседними горизонталями по высоте, м.



Рисунок 2 – Расчет площади и объема выемок в Agisoft Metashape

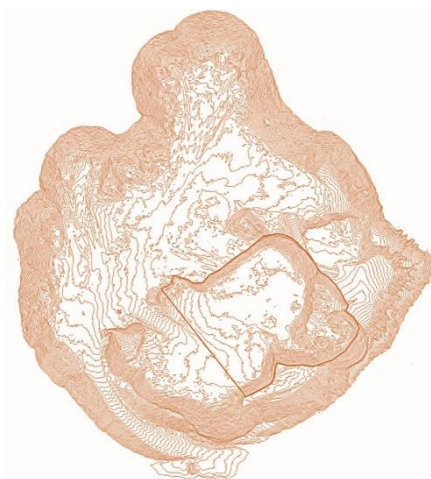


Рисунок 3 – Массив горизонталей, построенный по данным БЛА в QGIS

Метод позволяет получать более устойчивые и предсказуемые результаты, т. к. в данном случае все поверхности и исходные параметры являются настраиваемыми.

Однако «подсчет средневзвешенных толщин» не является стандартным инженерным методом определения объемов, в связи с чем могут возникать вопросы к результатам на стадии утверждения документации и контроля.

Подготовка горизонталей в QGIS или прямо в Agisoft является также важным этапом подготовки дистанционных данных для определения объемов выемок и насыпей в инженерных программах, таких как AutoCAD, nanoCAD и др. Третий вариант расчетов проводился на базе специализированного модуля российского аналога AutoCAD – nanoCAD Geonics. Построение поверхностей проводилось несколькими способами на базе импортированных облака точек (.txt) и горизонталей (.shp). Картограммы земляных масс построены по квадратам (аналог ручного способа расчетов) (рисунок 4). Программа включает еще более точный вариант расчетов по призмам, но т. к. ГОСТ предполагает первый метод, большинство придерживается именно его. Проблема построения модели исходного объема заключается в данном случае в построении плоскости отсечения, т. к. она строится по точкам разного уровня и представляет собой в результате сложную поверхность, не связанную с реальными высотами исходного рельефа. Проведенные тремя способами расчеты дали в целом сопоставимые результаты, но различия, обусловленные вышеуказанными моментами, налицо. Кроме того, полученные данные сравнивались с материалами наземной съемки, полученными через базовую мобильную станцию GNSS. По всем параметрам модель поверхности для расчета, полученная по дистанционным данным, оказалась в разы точнее, чем полученная по результатам наземной съемки.

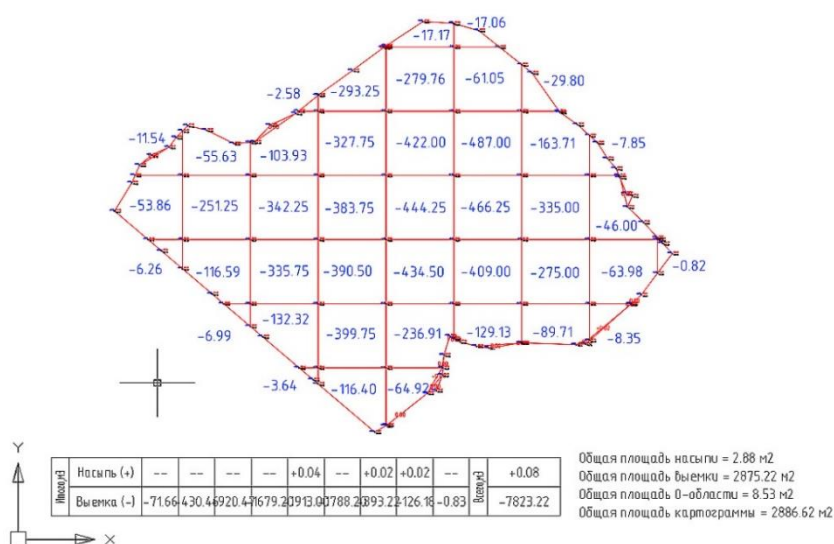


Рисунок 4 – Картограмма расчета земляных масс выемки

*Заключение.* Проведенный эксперимент демонстрирует широкие возможности современного программного обеспечения в определении состояния и параметров открытых карьерных выработок и позволяет сделать следующие выводы:

1. Использование БЛА для получения данных о земляных работах, сопоставимых по качеству с традиционными методами, значительно экономит

время и, что особенно важно, исключает необходимость присутствия оператора в опасной зоне карьера.

2. Применение отечественного сертифицированного инженерного ПО и ГИС-систем в расчетах позволяет избежать сложностей, связанных как с уходом зарубежных программ (AutoCAD, ArcGIS и т. д.) с российского рынка, так и с юридическими и техническими нюансами использования полученных данных.

3. Обнаруженные технические трудности легко устранимы. Это позволяет сделать заключить, что дистанционные методы определения параметров карьеров и других объектов землепользования обеспечивают более высокую точность, скорость и эффективность.

4. Выбор программного обеспечения должен основываться на задачах исследования, типе исходных данных и доступных технических ресурсах. Для инженерно-экологических и подобных изысканий рекомендуется использовать nanoCAD Geonics, т. к. его алгоритмы расчетов соответствуют актуальным нормативным требованиям.

УДК 504;550.3;556.552;574

**В. Т. ТРОФИМОВ, В. А. КОРОЛЕВ, М. А. ХАРЬКИНА**

Россия, Москва, МГУ имени М. В. Ломоносова

E-mail: trofimov@rector.msu.ru, va-korolev@bk.ru, kharkina@mail.ru

### **ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ – ЗНАНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ**

Инженерно-экологические изыскания введены в России относительно недавно – в 1996 г. с выходом в свет СНиП 11-02-96<sup>1</sup> «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». При инженерно-экологических изысканиях предписывается изучать все земные среды (литосферу, педосферу, гидросферу, атмосферу, биосферу) и влияние на них техногенных (строительство) воздействий. Рассматривая экосистему как среду обитания биоты, можно утверждать, что с выходом в свет СП 11-102-97<sup>2</sup> состоялось внедрение экосистемного подхода в практику изыскательских работ. Нормативно-техническая база инженерно-экологических изысканий постоянно совершенствуется. Действующим документом в Российской Федерации является СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания. Общие правила производства работ», в терминологическую часть которых включен термин «экосистема». Именно в СП 502.1325800.2021 наиболее полно освещены и регламентированы исследования абиотических и биотических компонентов экосистем (таблица).

<sup>1</sup> СНиП – строительные нормы и правила.

<sup>2</sup> СП – строительные правила