

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА КАРЬЕРНОЙ ДОБЫЧИ ДОЛОМИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. А. Басаргин

ИПКОН РАН, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация: Приведены результаты практического применения различных методов съемки для определения объема карьерной добычи доломитового месторождения с помощью программных продуктов. Приведен анализ методов вычисления объемов карьерной добычи при использовании различных вариантов геодезической съемки и программ расчета объемов с помощью цифровой модели поверхности. Обоснован подход применения различных типов геодезических измерительных приборов при проведении измерений на месторождении полезного ископаемого. Детально описаны процессы съемки, которые используются при различных методах измерений, позволяющие получить данные о размерах и форме объектов на месторождении. Эти геопространственные данные затем используются для расчета объемов карьерной добычи и других задач, связанных с геологоразведкой и добычей полезных ископаемых. Результаты исследований могут быть использованы в процессе добычи полезных ископаемых, позволяющие получить точную информацию о месторождении и объемах ресурсов.

Ключевые слова: карьерные разработки, тахиметрические методы съемки, ГНСС, дистанционное зондирование, модель поверхности

Для цитирования: Басаргин А. А. Практическое применение различных методов съемки для определения объема карьерной добычи доломитового месторождения // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 72-76. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_72_76.

PRACTICAL APPLICATION OF VARIOUS SHOOTING METHODS FOR DETERMINATION OF THE VOLUME OF QUARRY PRODUCTION OF DOLOMITE DEPOSITS

A. A. Basargin

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract: The article presents the results of the practical application of various survey methods to determine the volume of quarry mining of a dolomite deposit using software products. An analysis of methods for calculating quarry production volumes using various options for geodetic surveys and programs for calculating volumes using a digital surface model is presented. The approach to using various types of geodetic measuring instruments when taking measurements at a mineral deposit is substantiated. The survey processes that are used in various measurement methods and provide data on the size and shape of objects in the field are described in detail. This geospatial data is then used to calculate quarry production volumes and other exploration and mining tasks. The research results can be useful in the mining process, providing accurate information about the deposit and the volume of resources.

Keywords: quarrying, tachymetric survey methods, GNSS, remote sensing, surface model

For citation: Basargin A. A. Practical application of various shooting methods for determination of the volume of quarry production of dolomite deposits. *Mine Surveying and Subsoil Use*. 2024;(4):72-76. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_72_76.

Введение

Компании, добывающие полезные ископаемые, обязаны ежегодно составлять отчеты об объеме добытых полезных ископаемых за определенный период и постоянно вести учет их количества. Это требует проведения точных измерения их объемов.

Для создания цифровой модели месторождения могут

использоваться различные методы измерений. Например, тахеометрическая съемка, GPS-съемка и дистанционное зондирование. В результате этих измерений получают данные о длине линий, углах и высотах точек. В зависимости от цели различают вертикальные, горизонтальные и топографические измерения [1].

Для получения объемов карьерной добычи необходимо

проведение топографических измерений на местности, чтобы получить данные о ситуации на местности и отметки высоты.

Выделяют три различных метода измерений:

- тахеометрический метод измерения;
- метод глобального позиционирования;
- метод дистанционного зондирования.

При выполнении измерительных работ геодезисты должны использовать геодезические инструменты, прошедшие контроль и соответствующие требованиям точности, установленным производителями.

При выполнении топографических измерений на местности можно использовать заранее полученную топографическую информацию о данной территории. Если измерения проводятся повторно, то разница в значениях отметок должна быть не более 30 см, а разница в координатах в горизонтальной плоскости — не более 20 см. Для местности с четкими контурами и объектами эти требования снижаются: до 5 см — для горизонтальных координат и 3 см — для высотных отметок.

Для подсчета объемов добычи полезных ископаемых используются специализированные программные средства, которые позволяют выполнять различные виды расчетов.

Точность расчета объемов полезных ископаемых зависит от точности созданной цифровой модели месторождения, используемой для расчета. Разница в результатах измерений объемов на разных этапах разработки месторождения не должна превышать 5 %.

Геодезисты, проводящие топографические съемки, должны использовать методы измерений, которые обеспечивают получение данных высокого качества. Только из таких данных можно создать точную и достоверную цифровую модель месторождения. Для этого необходимо проводить измерения в соответствии с методиками, обеспечивающими получение максимально точных результатов. Также это касается применения любых программных продуктов для создания цифровой модели поверхности [2].

Объект исследований

Талановское месторождение расположено в северной части Кузнецкого Алатау, в нижнем течении р. Талановой, левого притока р. Кии (система р. Чулым). Оно находится на территории Тисульского района Кемеровской области в 25 км от пос. Полысаево, связанного железнодорожной веткой с Транссибирской магистралью (рис. 1).

Район Талановского месторождения приурочен к геологическим структурам северной части Кузнецкого Алатау, которые далее к северу перекрываются осадочным чехлом Западно-Сибирской низменности, а с запада ограничиваются Кузнецкой впадиной. Он расположен примерно в 30 км к западу от Кузнецко-Алтайского разлома, в пределах Пезасского поднятия, входящего в состав Золотокитат-Кондомской структурно-формационной зоны океанического типа.

Для сравнения и контроля объемов добытых полезных ископаемых производится обмер территории карьеров с целью расчета объемов по полученным данным измерений. В ходе исследования произведен обмер территории карьера «Талановское».

На площади месторождения проведены поисковые работы с применением поверхностных горных выработок.

В процессе исследования использовались три различных метода измерения объемов добычи в карьере: тахеометриче-

ский; GNSS-позиционирования и дистанционного зондирования (с использованием БПЛА).



Рис. 1. Талановское месторождение доломита

Fig. 1. Talanovskoye dolomite deposit

Материал и методы

В тахеометрическом методе измерений использовался электронный тахеометр Leica TCR805 power. Для выполнения измерительных работ были установлены точки опоры геодезической сети. Координаты точек опорной сети получены путем измерений с помощью комплекта ГНСС-приемника Leica GX1230. При проведении тахеометрических измерений производилась фиксация измерений, чтобы можно точнее охарактеризовать поверхность карьера в данный момент [3–5].

При использовании метода позиционирования использовался ГНСС-приемник Leica GX1230. При измерении методом GNSS учитывались возможные неблагоприятные последствия многократного отражения сигнала в конкретном месте, а также другие факторы, влияющие на точность. Перед выполнением измерений проводились работы по планированию с целью получения оптимального количества спутников и оптимального положения в выбранном месте и в выбранное время. Измерения осуществлялись в режиме кинематики реального времени (RTK) в рамках базовой системы координат.

При реализации метода дистанционного зондирования использовался беспилотный летательный аппарат DJI Phantom-4 с фотограмметрической камерой. Поскольку обмеры карьера проводились несколько раз, каждый раз перед выполнением полета наземные контрольные точки располагались равномерно. Опорные точки измерялись при каждом сеансе измерений и привязывались к определенным системам координат и высот. Такой подход обеспечил измерение поверхности карьера в единой пространственной системе отсчета и позволил правильно рассчитать объемы извлекаемых месторождений. Высота полета в процессе измерений была установлена 50 м, а также определен охват фотосъемки во время полета, фронтальный охват — 80 %, боковой охват — 70 % [6].

Измерительные кампании в карьере «Талановское» доломитового месторождения в 2023 году проводились трижды (табл. 1).

Описанными выше методами были получены цифровые модели поверхностей для карьера на конкретную дату. С использованием полученных моделей поверхности удалось произвести расчет объемов добычи полезных ископаемых. Принцип расчета объема добычи полезных ископаемых основан на полученных поверхностях в разные даты изме-

рений. В результате получается тело, объем которого характеризует объем извлечения полезного ископаемого между двумя датами измерения (рис. 2).

Таблица 1 / Table 1

Методы измерения и время выполнения
Measurement methods and execution time

Метод измерения	Время измерения		
	Дата 1. Июнь	Дата 2. Сентябрь	Дата 3. Ноябрь
Тахиметрический	+	+	+
Позиционирование GNSS	+	+	+
Дистанционное зондирование	+	+	+



Рис. 2. Принцип расчета объема полезного ископаемого
Fig. 2. The principle of calculating the volume of minerals

Результаты исследований и их обсуждение

Данные, полученные в результате измерений, могут быть использованы для различных целей, включая расчеты объемов полезных ископаемых. Для этого используются специальные программы, такие как Virtual Survey и Bentley Microstation Power survey V8i. Эти программы позволяют обрабатывать данные измерений, создавать модели объектов и проводить анализ данных. В результате можно получить информацию о размерах и форме объекта, а также рассчитать его объем [7-10].

В июне 2023 года организован первый этап обмера карьера. Эти данные используются для планирования и управления процессом добычи, а также для оценки возможных экологических последствий. Средняя разница высот между GNSS и тахеометрическим методом измерения составляет от 1 до 2 см, а в некоторых местах может достигать 5 см. Это связано с тем, что геодезические вешки располагаются в разных местах при использовании разных методов измерения. Точность GNSS-позиционирования составляет около 1 см как по горизонтали, так и по вертикали, и она сохраняется в измерениях, проведенных в сентябре и ноябре. Разница высот между данными дистанционного зондирования и измерениями GNSS и тахеометрии составляет до 3 см.

В сентябре и ноябре 2023 года были проведены второй и третий этапы измерений карьера с использованием трех методов измерений. На основе полученных данных созданы модели поверхности карьера в программных продуктах Virtual Survey и Bentley Microstation PowerSurvey V8i. Это позволило провести визуальное сравнение полученных моделей.

Если сравнить модели, созданные на основе данных

тахеометрической съемки за сентябрь, то модель, созданная с помощью программы Bentley PowerSurveyV8i, показанная на рисунке 4 (см. цветную вклейку на стр. 46), выглядит более качественно, чем модель, созданная другой программой.

В результате анализа выяснилось, что в модели поверхности Virtual Survey детализация меньше. Тем не менее использование обеих программ позволяет получить полный набор данных для проведения различных видов анализа на месторождении полезного ископаемого [11-13].

С июня велась добыча доломита, и объемы добычи рассчитывались на основе цифровых моделей поверхностей, созданных по данным измерений. Для расчетов использовались геопространственные данные, которые обрабатывались в программах Virtual Survey и Bentley Microstation Power Survey V8i. В эти программы вводились одинаковые данные (координаты X, Y и Z), полученные на разных этапах измерений.

Так, полученные результаты можно сравнивать и анализировать. Расчеты объемов добычи и их изменения между этапами измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Расчеты объемов добычи
Production volume calculations

Метод измерения	Расчет значений Virtual Survey (м³)		Расчет значений Bentley PowerSurvey V8i (м³)		Разница извлекаемых объемов (м³)	
	Июнь - сентябрь	Сентябрь - ноябрь	Июнь - сентябрь	Сентябрь - ноябрь	Июнь - сентябрь	Сентябрь - ноябрь
Тахиметрический	19 555	3 948	19 473	3 805	82	143
Позиционирование GNSS	19 712	3 924	19 614	3 792	98	132
Дистанционное зондирование	18 835	3 654	18 663	3 611	172	43

Различия в объемах добычи между разными методами измерения существенные. Это связано с различными факторами, такими как изменения в технологии добычи, погодные условия или даже ошибки в измерениях. Чтобы точно ответить на этот вопрос, необходимо иметь больше информации о конкретном проекте добычи и условиях, в которых он проводился. Чтобы точно определить причину различий, необходимо провести глубокий анализ данных и учесть все возможные факторы, влияющие на объемы добычи.

После проведения взрывных работ в сентябре и ноябре поверхность карьера стала неровной с большим количеством доломитовых обломков. Это делает съемку рельефа с использованием тахиметрического метода и GNSS сложной задачей [14, 15].

Измерение участков взорванного доломита размером от 4 до 8 метров может быть затруднительным. Это связано с тем, что такие участки могут быть покрыты большим количеством доломитовых обломков, что затрудняет проведение точных измерений.

Разница в объемах добычи объясняется особенностями процесса дистанционного зондирования. В этом методе

используются беспилотные летательные аппараты, которые могут собирать информацию о поверхности более точно, чем при использовании методов с другим инструментарием. Данный фактор обуславливает разницу в объемах добычи в период июня – сентября, когда использовалось дистанционное зондирование.

Учет добычи полезных ископаемых может быть осуществлен с использованием различных геодезических методов измерений. Каждый метод имеет особенности подготовки, проведения измерений и обработки полученных данных. Важно, чтобы при проведении измерений была обеспечена процедура контроля, таким образом обеспечивается максимально высокая достоверность конечного продукта.

Результаты измерений могут различаться в зависимости от того, какая программа используется для обработки данных. Это связано с алгоритмами, используемыми в этих программах, а также с качеством исходных данных. Для неопровержимых доказательств необходимо провести дополнительные исследования.

Заключение

1. В статье приведены результаты исследований различных методов съемки для определения объема карьерной

добычи доломитового месторождения. Таким образом, учет добычи полезных ископаемых возможен с использованием различных методов геодезических измерений. Каждый из методов имеет разные процессы подготовки, измерения и обработки полевых данных.

2. Установлено, что тахиметрический метод может использоваться в любых условиях, так как он не зависит от видимости GNSS или зоны покрытия GSM. Это делает его универсальным методом геодезических измерений. Метод GNSS требует «открытого горизонта» и хорошего покрытия GSM для успешного позиционирования. Дистанционное зондирование позволяет создать однородную модель поверхности, но зависит от климатических условий. Точность цифровой модели месторождения полезных ископаемых и поверхности карьера зависит от выбранного метода измерений.

3. Выявлено, что различия значений объемов полезных ископаемых между Virtual Survey и Bentley Microstation Powersurvey V8i не превышают 5 %. Полученные результаты исследования показывают, что при расчете объемов следует использовать оба пакета программ для достижения точности с использованием соответствующего технического оборудования и программного обеспечения для обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басаргин, А. А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий / А. А. Басаргин // Вестник СГГА. – 2014. – Т. 1, № 25. – С. 34–40.
2. Басаргин, А. А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine / А. А. Басаргин // Сборник материалов Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2015». Т. 1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск, 2015. – С. 15–20.
3. Урумов, В. А. 3D-модель и закономерности распределения полезных компонентов залежи Анненская жезказганского месторождения / В. А. Урумов, И. И. Босиков // Устойчивое развитие горных территорий. – 2015. – Т. 7, № 1. – С. 11–16.
4. Шульга, Е. С. Чем порадует 2018 год пользователей программы Micromine / Е. С. Шульга // Золото и технологии. – 2017. – № 4 (38). – С. 50–53.
5. Осипов, В. Л. Определение рудных интервалов при подсчете запасов в программе Micromine / В. Л. Осипов // Горные науки и технологии. – 2018. – № 2. – С. 23–31.
6. Шевкун, Е. Б. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способности / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, А. А. Галимьянов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 4. – С. 331–336.
7. Свод Правил СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096789> (дата обращения: 14.06.2024).
8. Нурмухаметова, А. Т. 3-х мерное моделирование при подсчете объемов полезного ископаемого // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. – Томск, 2017. – С. 582–583.
9. Исследование возможности 3D моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, А. С. Бедарев, А. О. Даулетова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. мат-лов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 2. – С. 178–183.
10. Уорсли, Дж. PostgreSQL для профессионалов / Дж. Уорсли, Дж. Дрейф. – СПб.: Питер, 2003. – 496 с.
11. Дроздов, А. Ю. Решение задач сетевого анализа с применением PostgreSQL / PostGIS / А. Ю. Дроздов // Строительство и архитектура – 2015. Современные информационно-экономические технологии: тенденции и перспективы развития: мат-лы Межд. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2015. – С. 71–72.
12. Ермолаев, Н. Р. Использование программного обеспечения QGIS при подготовке картографических материалов / Н. Р. Ермолаев // Ломоносов-2018: тезисы докладов XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 09–13 апреля 2018 года / Сост. Л. А. Поздняков. – М.: МАКС Пресс, 2018. – С. 250–251.
13. Пашковская, О. В. Анализ данных в геоинформационной системе QGIS / О. В. Пашковская, О. В. Новоселов, И. А. Потапенко // Решетневские чтения: материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2020, г. Красноярск): в 2 ч. – Красноярск, 2020. – Ч. 2. – С. 345–346.
14. Установка модулей расширения для QGIS [Электронный ресурс]. – URL: <http://gis-lab.info/qa/qgis-install-plugin.html> (дата обращения: 03.08.2023).
15. Хританькова, А. А. Сравнение возможностей программных средств ArcGis и QGIS для сетевого анализа в сфере транспортной логистики (на примере г. Минска) / А. А. Хританькова, Н. В. Ковальчик // ГИС-технологии в науках о Земле: мат-лы республ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых. – Минск, 2020. – С. 9–13.

REFERENCES

1. Basargin AA. Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies. Bulletin of the SSGA. 2014;1(25):34-40 (In Russ.).
2. Basargin A. A. Methodology for creating three-dimensional geological models of deposits using the Micromine geographic information

system. Collection of materials international. Scientific Congr. "GEO-Siberia-2015". T. 1 "Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying". Novosibirsk, 2015:15-20 (In Russ.).

3. *Urumov VA, Bosikov II*. 3D model and patterns of distribution of useful components of the Annenskaya deposit of the Zhezkazgan deposit. Sustainable development of mountain territories. 2015;7(1):11-16 (In Russ.).

4. *Shulga ES*. What will 2018 please users of the Micromine program. Gold and Technologies. 2017;4(38):50-53 (In Russ.).

5. *Osipov VL*. Determination of ore intervals when calculating reserves in the Micromine program. Mining Sciences and Technologies. 2018;2:23-31 (In Russ.).

6. *Shevkun EB, Leshchinsky AV, Galimyanov AA*. Short combined driving of blast holes with high locking ability. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2015;4:331-6 (In Russ.).

7. Code of Rules SP 47.13330.2012 Engineering surveys for construction. Basic provisions. Updated edition of SNiP 11-02-96. MINISTRY OF REGIONAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION/M.: 2012. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200096789> (In Russ.).

8. *Nurmukhametova A. T.* 3-dimensional modeling when calculating the volume of mineral resources. Problems of geology and subsoil development: proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M. A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 130th anniversary of his birth Professor M.I. Kuchin. Tomsk, 2017:582-3 (In Russ.).

9. *Besimbaeva OG, Khmyrova E N, Bedarev AS [et al.]*. Study of the possibility of 3D modeling for surveying support for mining operation. Interexpo GEO-Siberia-2014. X International scientific Congr.: Int. scientific conf. "Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying": collection. materials in 2 volumes (Novosibirsk, April 8-18, 2014). Novosibirsk, 2014:178-83 (In Russ.).

10. *Worsley J, Drake J*. PostgreSQL for professionals. St. Petersburg.: Piter, 2003 (In Russ.).

11. *Drozov AYU*. Solving network analysis problems using PostgreSQL/PostGIS. "Construction and Architecture – 2015". Modern information and economic technologies: trends and development prospects. Materials of the International Scientific and Practical Conference. – Rostov on Don, 2015:71-2 (In Russ.).

12. *Ermolaev NR*. Using QGIS software in the preparation of cartographic materials / Lomonosov-2018: abstracts of the XXV International Scientific Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists. – Moscow, 2018:250-1 (In Russ.).

13. *Pashkovskaya OV, Novoselov OV, Potapenko IA*. Data analysis in the geoinformation system QGIS / Reshetnev Readings: materials of the XXIV International. scientific-practical conf., dedicated in memory of the general designer of rocket and space systems, academician M. F. Reshetnev (November 10–13, 2020, Krasnoyarsk): at 2 o'clock - Siberian State University named after. M. F. Reshet-Neva. – Krasnoyarsk, 2020:345-6 (In Russ.).

14. Installing extension modules for QGIS. Available from: <http://gis-lab.info/qa/qgis-install-plugin.html> (In Russ.).

15. *Khritankova AA, Kovalchik NV*. Comparison of the capabilities of ArcGIS and QGIS software for network analysis in the field of transport logistics (using the example of Minsk). GIS technologies in Earth sciences: materials of the republican scientific and practical seminar of students and young scientists. Minsk, 2020:9-13 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Басаргин Андрей Александрович –
старший научный сотрудник № 3.1 лаборатории
геологоструктурного моделирования, ИПКОН
РАН, г. Москва, Россия,
e-mail: abaspirant@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Andrey A. Basargin –
Senior Researcher No. 3.1 Laboratory of Geological-
Structural Modeling, Institute of Comprehensive
Exploitation of Mineral Resources of the Russian
Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation,
e-mail: abaspirant@mail.ru.