Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского
Серия «География». Том 24 (63). 2011 г. №3, С. 122-131.

УДК 551.43+004.94

ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ КАР'ЄРУ

Меліка Л. І., Шипулін В. Д.

Харківська національна академія міського господарства, Харків, Україна
E-mail: ludik-m@yandex.ru ; vshypulin@yahoo.com.

Впровадження геоінформаційних систем як ефективного засобу інформаційного забезпечення гірничо видобувних робіт пов'язане із виконанням комплексу робіт, у складі якого суттєвими є роботи із збору просторових даних, їх обробки, створення просторових моделей, забезпечення необхідних розрахунків. Розроблена технологія моделювання кар'єру на основі аерофотознімків у програмному забезпеченні ArcGIS 9.3 й методика обчислення об'ємів вийнятих гірських порід.Створена просторова модель може застосовуватися у задачах планування, експлуатації, управління гірничо видобувних робіт, кар'єрним автотранспортом.
Ключові слова: просторова модель кар'єру, технології забезпечення геопросоторовими даними, об'єми вироблення гірських порід.

ВСТУП

Розвиток автоматизованих методів планування й організації відкритих гірничих робіт, диспетчерського управління кар'єрним автотранспортом пов'язаний з необхідністю створення математичних моделей як самого кар'єру, так і систем транспортних комунікацій для транспортування добутої сировини. У сучасних умовах все ширше впроваджуються сучасні методів збору, зберігання, обробки геопросторової інформації, 3D-моделювання поверхні робочої зони кар'єру з точним представленням контурів уступів та інших елементів гірничих робіт, а також мережі транспортних комунікацій з точним представленням її структури.

Впровадження геоінформаційних систем як ефективного засобу інформаційного забезпечення гірничо видобувних робіт пов'язане із виконанням комплексу робіт, у складі якого суттєвими є роботи із збору просторових даних, їх обробки, створення просторових моделей, забезпечення розрахунків об'ємів добутих корисних копалин та ін. Особливості виконання цих робіт розглянуті на прикладі залізно рудного кар'єру (рис.1, рис.2).

Діючий кар'єр відпрацьовує запаси залізистих кварцитів. Гірничодобувні роботи проводяться на 24 горизонтах, довжина кар'єру по поверхні — 5,8 км, ширина — 1,5 км, глибина у південній частині — 340 м, у північній — 150 м. Загальний об'єм виготовлення окатишів із добутої в кар'єрі сировини — 10 млн. т станом на 2010 р.

Рис. 1. Представлення кар'єру на космічному знімку Google.

Рис. 2. Представлення кар'єру на топографічній карті.

1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОПРОСТОРОВИМИ ДАНИМИ

Для створення геоінформаційної моделі кар'єру та подальшого її використання у виробничому процесі необхідне визначення відміток поверхні землі за допомогою однієї або комбінування декількох наведених нижче технологій.

1.1 Традиційні методи зйомки

Метод *аерофозйомки* можливо застосовувати для складання плану у виробленнях із значними перепадами висот, так наприклад, кар'єр має площу близько 1200 га та глибину 340 м. У цих випадках великі об'єми робіт забезпечать відносно невелику його вартість.

При моделюванні кар'єру були використані дані аерофотозйомки, вони дозволяють варіювати точність даних, тим самим допомагаючи створювати декілька варіантів апроксимацій, які можна буде застосовувати для вирішення різноманітних задач. Вибір потрібного наближення залежить від важливості поставленого завдання та розміру території, на якій воно буде реалізовуватися, але ці декілька варіантів будуть однаково ефективно сприйматися спеціалістами із різним рівнем підготовки.

Обробка знімків виконувалась на ЦФС «Дельта» у програмному продукті Delta/Digitals ГНПП «Геосистема», м. Вінниця (рис. 3).

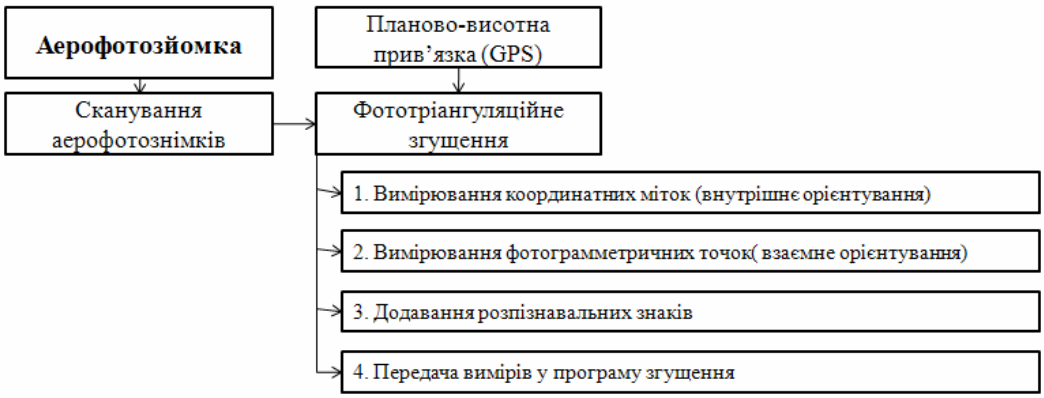

Рис. 3. Спрощена схема обробки фотограмметричної інформації на ЦФС «Дельта».

Тахеометрична зйомка може застосовуватися на будь-яких геологічних виробленнях. Для правильного відображення форм рельєфу зйомці підлягають характерні точки місцевості. При використанні електронних тахеометрів досягається необхідна точність висот і координат. Масштаб зйомки залежить від площі вироблення і необхідної за інструкцією із проведення маркшейдерських робіт точності. Метод донедавна застосовувався для контролю вироблень у кар'єрі, поки не був замінений зйомкою за допомогою GPS.

1.2 Зйомка із застосуванням новітніх технологій

Лазерне сканування — метод, що дозволяє створити цифрову модель об'єкта, представивши його набором точок із просторовими координатами. Основна відмінність від тахеометрів — значно більша швидкість отримання вимірювань. Для потреб моделювання кар'єру даний метод не використовується через значну вартість та неможливість встановлення сканера у важкодоступних та небезпечних місцях.

Побудова просторових моделей за допомогою *фотозйомки цифровим фотоапаратом* — метод, що не потребує дорогого обладнання, дозволяє оперативно отримувати фотозображення. Застосовується поки що, в основному, для створення тривимірних моделей об'єктів. Значним недоліком є необхідність підбору спеціального програмного забезпечення та калібрування камер під необхідний вид та точність робіт.

Зйомка за допомогою супутникових систем позиціювання. При використанні лише супутникових даних методика топозйомки може варіюватися залежно від необхідної точності, розмірів майданчика, його рельєфу. Для визначення координат і висот пікетів одночасно використовується не менше двох базових станцій, які встановлюються на опорні маркшейдерські пункти і пункти державних або зйомочних геодезичних мереж. Можливе застосовування статичного й кінетичного способів.

Для потреб моделювання кар'єру та оперативного контролю за об'ємами вироблень в даному випадку доцільно використовувати кінематичний спосіб — «stop-and-go». При виконанні зйомки кількість приймачів необмежена. Перед початком роботи пересувний приймач прив'язують до базового вектора (ініціалізація). Принцип роботи: оператор із приймачем або стоїть на точці 5-30 сек, що визначається, — «stop» або переміщується між точками «go». Режим «stop-and-go» є еквівалентом традиційної тахеометричної зйомки.

Перевагою супутникової топозйомки у режимі кінематики є невисока вартість робіт, швидкість отримання координат, обробки та можливість їх експорту у формати, сумісні із багатьма програмними продуктами.

При аерофотозйомці на дні кар'єру не вдалося отримати дані необхідної точності, тому для найглибшої частини було застосовано зйомку за допомогою приймачів GPS.

2. 3D-МОДЕЛЮВАННЯ КАР'ЄРУ

Залізорудний кар'єр має складну тривимірну форму глибиною 340 метрів. Для підвищення ефективності використання просторової інформації та її аналізу створена просторова модель кар'єру. Візуалізація об'єктів реальності у програмному середовищі найкраще сприймається при використанні ефектів тривимірності й анімації. При цьому реалізуються чотири головні властивості:

- поєднання в одному геозображенні властивостей карти перспективного знімка, блок-діаграми і анімації;
- можливість програмного управління цим синтезованим геозображенням;
- інтерактивна взаємодія з самим геозображенням та оточуючим його середовищем;
- зменшення властивостей знаковості і умовності геозображення, додання йому реалістичних меж.

Крупномасштабні тематичні віртуальні зображення дають детальне уявлення про рельєф, об'єкти, споруди, шляхи сполучення. Можливість інтеграції різноманітної тематичної інформації у єдиній моделі — одна із позитивних якостей віртуального зображення.

Процес створення віртуальних зображень по топографічній карті, аеро- або космічному знімку виконується набір відміток висот або горизонталей, після цього проводиться моделювання місцевості. Детальна технологія моделювання кар'єру, що використовувалась в даному випадку, представлена на рис. 4.

Рис. 4. Технологія просторового моделювання кар'єру.

Функція побудови тривимірних моделей досконало реалізована у програмному продукті ArcGIS by ESRI. Просторова модель кар'єру наведена на рис. 5 та рис. 6.

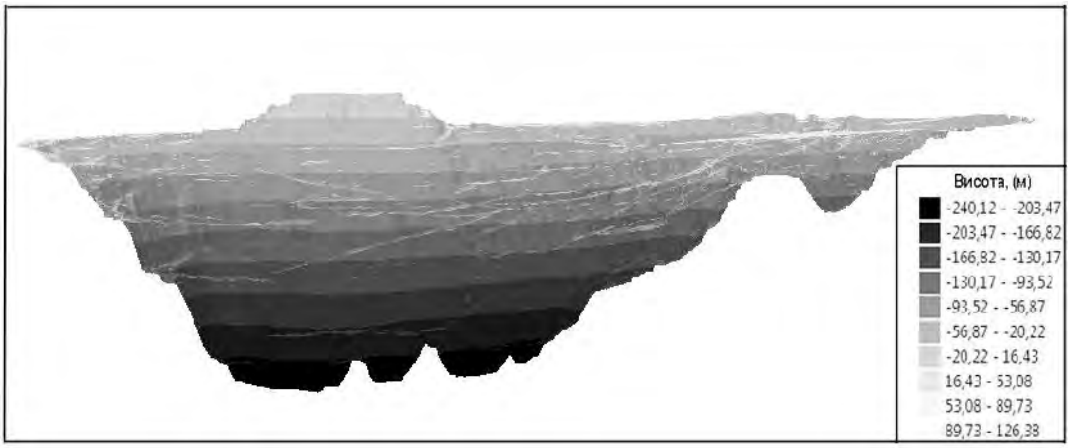

Рис. 5. Просторова модель кар'єру - вигляд збоку.

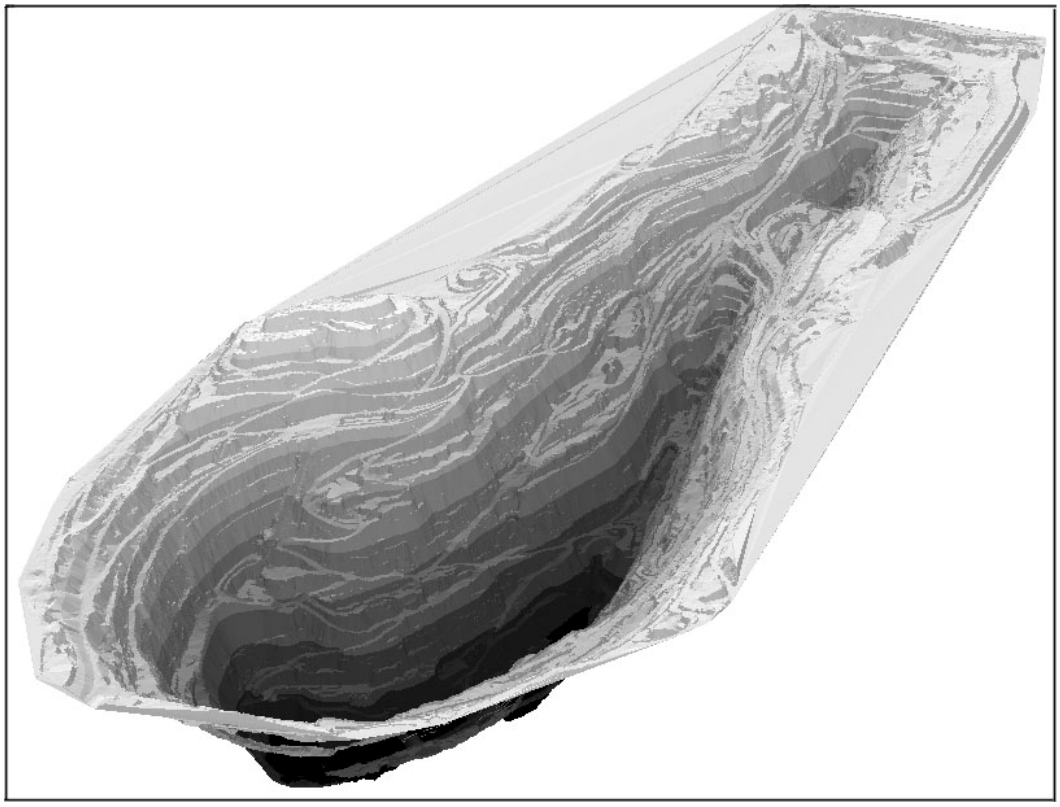

Рис. 6. Просторова модель кар'єру - вигляд зверху

У програмному забезпеченні ArcGIS поєднується наочне і ефективне представлення даних, багатофункціональний інструментарій, що дозволяє керувати точністю, кольором, освітленням, наближенням.

3. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ОБ'ЄМІВ ВИРОБЛЕННЯ В ARCGIS

Для підрахунку об'єму вироблення гірських порід необхідно визначити «чорні» відмітки поверхні землі та фактичні відмітки після проведення робіт після виїмки гірських порід. «Чорними» називають існуючі відмітки денної поверхні землі до початку робіт по виїмці гірських порід або відмітки, отримані після виїмки попереднього шару гірських порід. Вони приймаються за даними топографічної зйомки.

При традиційних технологіях об'єми вийнятих гірських порід за даними зйомки визначають «вручну» способами вертикальних і горизонтальних перетинів, тригранних призм, об'ємної палетки. Кожний з цих спосіб має свою сферу застосування.

У разі використанння комп'ютерних програм для вирішення цієї задачі у багатьох випадках, на основі даних зйомки, фігура, що характеризує вийняті

породи, автоматично розбивається на прості геометричні фігури (найчастіше — прямокутні ділянки — параллелепіпеди), в кожній з яких визначається об'єм заповнений породою та порожній. Об'єм всього вироблення дорівнює сумі заповнених породою об'ємів у кожній ділянці (рис. 7).

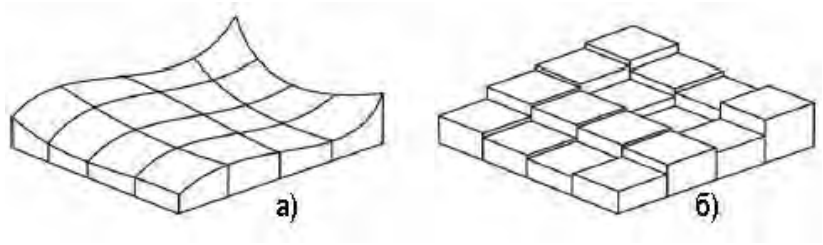

Рис. 7. Илюстрація принципу розбиття вийнятих гірських порід на прямокутні ділянки для обчислення об'єму: а) поверхня обчислюваної ділянки; б) заміна поверхні простими геометричними фігурами.

Обчислення відбувається за формулою Сімпсона:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \int_a^b p_2(x)dx = \frac{b-a}{6}\left(f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b)\right), \qquad (1)$$

де $f(a)$, $f(b)$ — значення фукції на початку та в кінці відрізку;

$f\left(\frac{a+b}{2}\right)$ — значення функції в середині відрізку.

Обчислення за формулою Сімпсона пов'язане із апроксимацією функції $f(x)$ квадратним поліномом $P(x)$ (рис. 8).

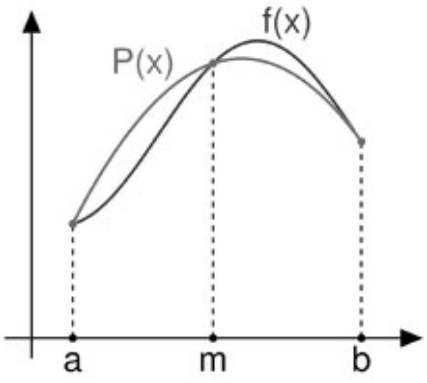

Рис. 8. Ілюстрація сутності методу обчислення за формулою Сімпсона.

Розрахунок об'ємів вироблення реалізується циклічною обробкою однотипних даних, які отримують в результаті виконаних польових робіт на різний час. Прив'язка просторових даних до моменту часу вирішується різними способами. Одним з варіантів є формування часових рядів даних, де в процесі введення інформації в систему різночасні дані наносяться на окремі шари, кожен з яких відповідає своєму часовому відрізку, в межах якого дані можна вважати статичними.

У більшості програмних продуктів (ArcGIS, ГИС Карта 2008) розрахунок об'ємів гірських вироблень, розрахунок земляних робіт базується на використанні двох поверхонь: початкової, такої, що описує місцевість до проведення земляних робіт і проектною, такою, що описує місцевість після проведення земляних робіт (рис. 9).

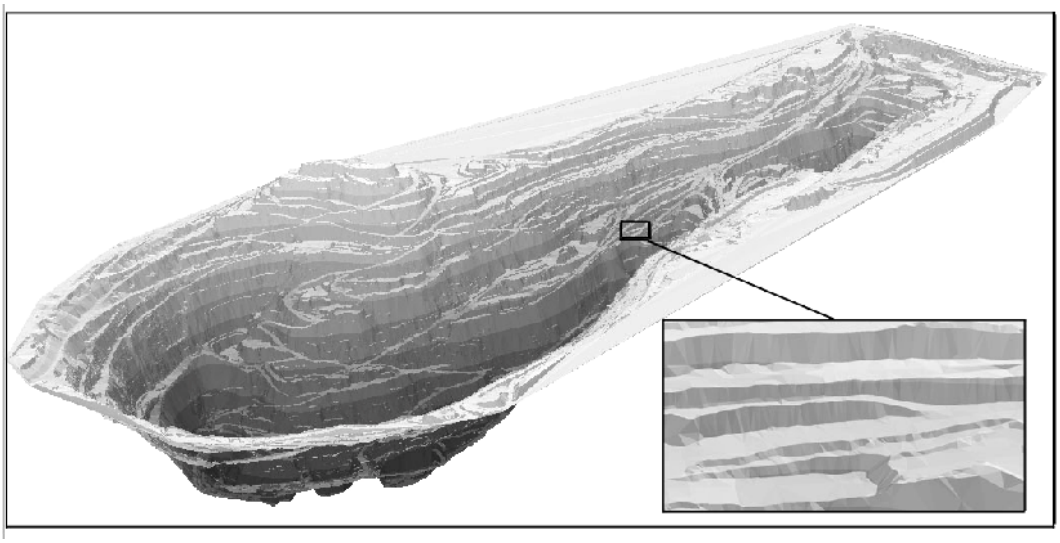

Рис. 9. Фрагмент просторової моделі кар'єру для виконання розрахунків.

На підставі 3D-моделі кар'єру розроблена методика автоматизованого розрахунку об'ємів видобутку гірської породи засобами ArcGIS by ESRI. Вихідний стан місцевості зафіксований у моделі № 1. За результатами виконання робіт за звітний період проводиться зйомка місцевості, і результати відображаються окремим шаром даних, що служить для розрахунку об'єму вироблення та оновлення моделі № 1, що приймає вигляд моделі № 2. Порядок розрахунку об'єму вироблення в ArcGIS представлена на рис. 10.

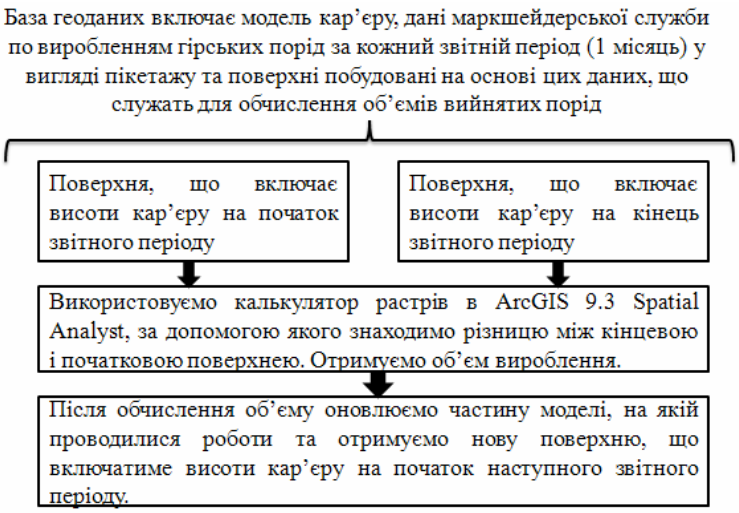

Рис. 10. Порядок виконання розрахунку об'єму вироблення в ArcGIS.

Процес оновлення моделі даними зйомки представлений графічно на рис. 11.

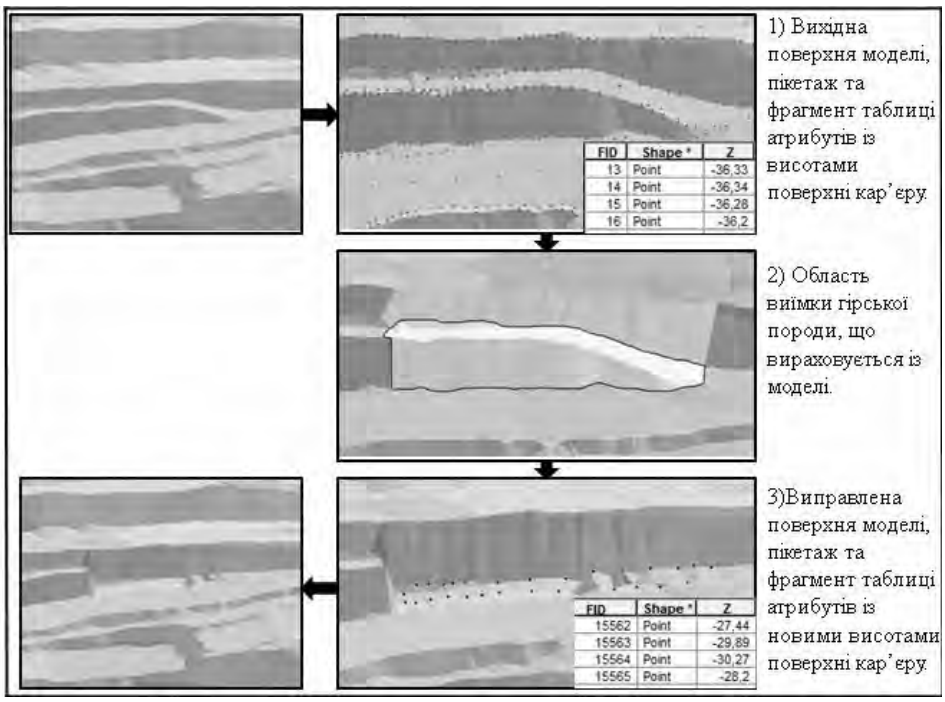

Рис. 11. Область оновлення просторової моделі за даними GPS.

Розрахований для даної ділянки кар'єру об'єм вийнятих гірських порід складає 213,11 м^3.

ВИСНОВОК

Тривімірне моделювання кар'єру за описаною технологією у програмному продукті ArcGIS 9.3, подальше доповнення і корегування цієї моделі новими даними супутникових систем позиціювання після дозволяє проводити аналіз, вести поточний облік стану виїмки гірських порід, займатись плануванням подальшого розвитку видобутку корисних копалин.

Список літератури

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ (утверждена Госгортехнадзором СССР 20.02.1985) [Electronic Resource] – URL: LawMix. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.lawmix.ru/docs_cccp.php?id=3475. – 02.04.2011.
2. Панжин А. А., Голубко Б. П. Применение спутниковых систем в маркшейдерском деле / Научный проект – Геомеханика On-Line [Electronic Resource] – URL: [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://igd.uran.ru/geomech/articles/paa_003/index.htm. – 25.03.2011.
3. Берлянт А. М. Виртуальное картографирование / А. М. Берлянт // Природа. – 2002. – №7.
4. Берлянт А. М. Картография / Александр Михайлович Берлянт – М.: Аспект Пресс, 2002. – 336 с.
5. Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных пород при добыче полезных ископаемых открытым способом (РД 07-604-03). – [действует от 2003-06-06] / Complexdoc нормативные документы [Electronic Resource] .- URL[Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.complexdoc.ru/ntdtext/550882. – 11.04.2011.
6. Едигарьев В. Г., Леонтьев А. А. Компьютерное решение задачи оценки показателей извлечения руды для месторождений с неравномерным оруденением / В. Г. Едигарьев, А. А. Леонтьев // Вестник МГТУ. – 2009. – №4.
7. Рогова Т. Б. Подсчет запасов угольных месторождений / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин, В. О. Ярков // Кемерово, 2010. – 136 с.

Мелика Л. И. Пространственное моделирование карьера / Л. И. Мелика, В. Д. Шипулин // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. – 2011. – Т. 24 (63). – № 3 − С.122-131.

Внедрение геоинформационных систем как эффективного средства информационного обеспечения горнодобывающих работ связанно с выполнением комплекса работ, в составе которого существенными являются работы по сбору пространственных данных, их обработке, созданию пространственных моделей, обеспечению необходимых расчетов. Разработана технология моделирования карьера на основе аэрофотоснимков в программном обеспечении ArcGIS 9.3. Созданная пространственная модель предназначена для использования в задачах планирования, эксплуатации, управления карьерным автотранспортом, вычисления объемов вынутых горных пород.
Ключевые слова: пространственная модель карьера, технологии обеспечения геопространственными данными, объемы выработки горных пород.

Melika L. I. Open-cast mine spatial modeling / L. I. Melika, V. D. Shypulin // Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2011. – Vol. 24 (63). – № 3 − P. 122-131.

Introduction of geoinformation systems as effective means information ensuring of mining based on fulfilment of works complex: spatial data collection and processing, creation spatial models. Spatial modeling technology based on using aerial photographs is developed with ArcGIS 9.3 software. Three-dimensional model can use in open-cast mine planning, exploitation, mining transport management. Paper describes the volume of rock solving method with using open-cast mine model.
Keywords: Spatial model of open-cast mine, spatial data collection technologies, volume of rock solving method.

Поступила в редакцию 15.04.2011 г.