

Алтаева А.^{1*}, Съедина С.¹, Балтиева А.¹, Кашников Ю.²

¹докторант Казахского национального исследовательского технического университета
им. К.И. Сатпаева, Казахстан, г. Алматы, *e-mail: a.aselya_92@mail.ru, тел.: +7 727 257 7063

²д.т.н., профессор Пермского национального исследовательского
политехнического университета, Россия, г. Пермь, тел.: +7 342 219 8088

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время в Казахстане ряд крупных горнодобывающих компаний успешно внедряют в работу современные горно-геоинформационные технологии, которые позволяют существенно повысить эффективность разведки и добычи минерального сырья. К таким компаниям можно отнести Корпорацию Казахмыс, Жайремский горно-обогатительный комбинат (ГОК), Белогорский ГОК, ТОО Казцинк, Жезкентский ГОК и другие. Эти предприятия используют современные горно-геоинформационные технологии известных мировых компаний («Datamine», «GEMCOM», «Vulcan», «Micromine», «Surpac» и др.) и с его помощью успешно выполняют трехмерное моделирование сложных геологических объектов, проводят многовариантную оценку запасов месторождений, выполняют оптимизацию и проектирование карьеров и подземных рудников. Также, в данной статье продемонстрированы возможности применения геоинформационных (ГИС) технологий в проектировании и создании автоматизированных картографических информационных систем для решения широкого круга инженерных и научных задач горного производства – горно-технических, экологических и социально-экономических проблем, возникающих при освоении недр. Основной целью данной статьи является создание 3D-модели месторождения с помощью ГИС технологий для повышения эффективности и безопасности ведения горных работ.

Ключевые слова: горно-геоинформационные технологии, трехмерная модель месторождения, геомеханика, каркасная модель, блочная модель.

Altaeva A.^{1*}, Sedina S.¹, Baltieva A.¹, Kashnikov Ju.²

¹Doctoral student of the Kazakh National technical research university
named after K.I. Satpayev, Kazakhstan, Алматы, *e-mail: a.aselya_92@mail.ru, tel.: +7 727 257 7063

²Doctor of technical sciences, professo of the Perm National research polytechnic university,
Russian, Perm, tel.: +7 342 219 8088

Method for creating a 3D model of the field with the use of geoinformation technologies

At present, in Kazakhstan a number of large mining companies successfully introduce modern mining and geo-information technologies that significantly improve the efficiency of exploration and extraction of mineral raw materials. Such companies include Kazakhmys Corporation, Zhayrem's QUM, Belogorsk QUM, Kazzinc LLP, Zhezkent QUM and others. These enterprises use modern mining and geo-information technologies of world famous companies («Datamine», «GEMCOM», «Vulcan», «Micromine», «Surpac», etc.) and with its help successfully perform three-dimensional modeling of complex geological objects, Reserves of deposits, optimize and design quarries and underground mines. Also, this article demonstrates the possibilities of using geoinformation (GIS) technologies in the design and creation of automated cartographic information systems for solving a wide range of engineering and scientific problems of mining – mining, environmental and socio-economic problems arising from the development of subsoil. The main purpose of this article is to create a 3D model of the field using GIS technologies, to improve the efficiency and safety of mining operations.

Key words: mining and geo-information technologies, three-dimensional model of the field, geomechanics, wireframe model, block model.

Алтаева А.^{1*}, Съедина С.¹, Балтиева А.¹, Кашников Ю.²

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің докторанты, Қазақстан, Алматы қ., *e-mail: a.aselya_92@mail.ru, тел.: +7 727 257 7063

²Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университетінің т.ғ.д., профессоры, Ресей, Пермь қ., тел.: +7 342 219 8088

Геоақпараттық технологиялардың көмегімен кенорынның 3D моделін құрудың әдістемесі

Қазіргі таңда Қазақстандағы көптеген ірі тау-кен өндіруші кәсіпорындар өз жұмыстарына заманауи тау-кен геоақпараттық технологияларды енгізуде. Бұл технологиялар минералдық шикізатты өндіру мен барлаудың тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді. Мұндай ірі тау-кен кәсіпорындарына Қазахмыс корпорациясын, Жайрем кен байытушы комбинатын (КБК), Белогорск КБК, Казцинк ЖШС, Жезкент КБК және т.б. жатқызуға болады. Бұл кәсіпорындар әлемге әйгілі компаниялардың заманауи тау-кен геоақпараттық технологияларын қолданады, атап өтетін болсақ («Datamine», «GEMCOM», «Vulcan», «Micromine», «Surpac» және т.б.). Бұл технологиялардың көмегімен қиын геологиялық объектілердің үшөлшемдік моделін құруға, кенорынның қорын бағалаудың көпнұсқасын жасауға және карьерлер мен жер асты кенішін жобалау мен оңтайландыруға болады. Сонымен қатар, бұл мақалада геоақпараттық технологияларды автоматтандырылған картографиялық ақпараттық жүйелерді құруда, жобалауда қолдануға және тау-кен өндірісінің ғылыми және инженерлік есептерін шешуде, атап айтқанда, кен игеруде түйіндейтын тау-кен техникалық, экологиялық және әлеуметтік-экономикалық мәселелерін шешуде қолдануға болатыны көрсетілген. Бұл мақаланың негізгі мақсаты – тау-кен жұмыстарын қауіпсіз және тиімді жүргізу үшін геоақпараттық технологиялардың көмегімен кенорынның 3D моделін құру болып табылады.

Түйін сөздер: тау-кен геоақпараттық технологиялар, кенорынның үшөлшемдік моделі, геомеханика, қаңқалы модель, блоктық модель.

Введение

На сегодняшний день, ресурсы недр нашего государства являются одним из главных составляющих нашего экономического и политического потенциала, нашего влияния и нашего благосостояния. Для его точной обоснованной оценки и выявления перспектив на будущее необходимы изыскания (геология, геофизика...) и современные технологии, в том числе геоинформационные.

С помощью ГИС-технологий можно интегрировать и упорядочить информацию о ресурсном потенциале полезных ископаемых нашей планеты и представить их в удобном для понимания, анализа и управления картографическом виде, начиная с подробного обследования осваиваемых месторождений, проведения на них изысканий – и до масштабов всей страны и планеты (Гохман 2015:5).

В настоящее время горнодобывающие компании являются одними из основных потребителей широких возможностей картографии, пространственного анализа и моделирования, которые предоставляет геоинформатика. ГИС-технологии позволяют горнодобывающим компаниям решать широкий спектр практических задач: создание 3D модели месторождения, разведки, добычи, транспортировки полезных ис-

копаемых, составления и ведения геологических карт и атласов, оценки запасов и составления отчетности, а также в вопросах охраны природы и при оценке воздействия на окружающую среду, при реагировании на нештатные ситуации и др. (Гохман 2015:5; Басаргин 2015:15).

Объект исследования

Объектом исследования в данной статье является Жезкентский горно-обогатительный комбинат, который расположен в Семипалатинской области Республики Казахстан. Данный горно-обогатительный комбинат работает на базе открытого и разведанного Орловского колчеданно-полиметаллического месторождения с 1963 г. Орловское месторождение расположено в одном из блоков Орловской горст-антиклинали и приурочено к вулканогенно-осадочным образованиям среднего и верхнего девона (рис. 1).

Исходные данные и методы исследования

В качестве исходных данных были использованы данные Жезкентского горно-обогатительного комбината, который включает в себя подземный рудник Орловского месторождения, строящуюся обогатительную фабрику, ремонт-

но-механический цех, карьер по добыче закладочного материала и другое.

Методы исследования. Процесс создания 3D модели месторождения с помощью ГИС-технологий состоит из нескольких этапов:

- разработка структуры базы данных для хранения первичной информации по данным геологической разведки;
- наполнение базы информацией геологического и геофизического опробования;



Рисунок 1 – Географическое расположение горно-обогатительного комбината Жезкента, Орловское месторождение

- статистический анализ первичных геологических данных, исправление ошибок, группировка данных, заверка базы, выявление закономерностей;

- построение скважин в пространстве модели, группировка по профилям;

- выделение и оконтуривание рудных и нерудных интервалов по стратиграфическому принципу, уточнение интервалов по значениям бортового содержания (интерпретация геологических данных);

- уточнение границ пространственного размещения пород, с учетом тектонических нарушений, а также за данными геофизических исследований (сейсмика, гравиметрия, электро-разведка);

- каркасное моделирование месторождения (выделение рудных тел и пород сопутствующей вскрыши, моделирование пластов, аномалий, ловушек и пр.);

- создание пустых блочных моделей;

- геостатистический анализ данных разведки, вариография, определение законов простран-

ственной изменчивости геологических характеристик компонентов;

- моделирование содержания компонентов математическими методами: ближайшего соседа (полигональный метод), обратных расстояний в степени (IDW), крайгинга (в модификациях) и др.;

- моделирование гидродинамических систем, расчет массопереноса, загрязненности, химического состава и пр.;

- уточнение контуров распространения пород в месторождении по заданным кондициям.

Обзор литературы

Уровень развития горно-геоинформационных систем в мире за последние 40 лет значительно повысился. Это привело к изменению самого характера деятельности горных компаний и к закономерному росту их производительности (Кабетенов Т.К. 2015:38).

Как нам известно, в области горной промышленности ГИС можно применять во многих операциях, таких как разведка, расчет

скважина, производство разведочных проб грунта, вычисление объема запасов месторождений, трехмерное моделирование, 3D анализ, прогнозирование погружения скважины, прогнозирование богатых и слабых слоев залежи минеральных ресурсов и другие. Кроме этого различные виды геологических наборов данных, таких как геофизические эхограммы, геохимические и геологические карты, результаты радиометрических измерений, скважины и месторождения полезных ископаемых могут быть также отображены и анализированы с использованием данных технологий (Esri company, issue of ArcNews 2006:1).

На сегодняшний день, в мировом рынке коммерческих компьютерных программ для горных предприятий работают десятки фирм, предлагающих более 1000 программных продуктов различного класса, предназначенных для автоматизации самых различных функций управления горным производством. Сравнительный анализ применения интегрированных геоинформационных программ в горном деле приведена в таблице 1 (Mining programs of Gemcom (2017); Datamine (2017); MineScape (2017); Surpac Vision(2017); Micromine (2017); GeoTech-3D (2017); Geoblock (2016); Milena M. (2007:109); Годжаманов М. (2010:305)).

Таблица 1 – Характеристика основных интегрированных геоинформационных программ используемых в горном деле

ГИС	Задачи недропользования				
	разведка	проектирование	моделирование	планирование	технологические процессы
Gemcom	функции по работе с геологоразведочными скважинами	функции построения детальной геометрической модели карьера и шахты	блочное моделирование, сеточное моделирование поверхности	функции детального календарного планирования открытых горных работ	функции имитационного моделирования работы парка горного и транспортного оборудования; функции проектирования БВР
Datamine	-	проектирование открытых и подземных горных работ	моделирование месторождений, каркасное моделирование пространственных тел и поверхностей, блочное моделирование	календарное планирование горных работ, краткосрочное планирование	-
MineScape	геологоразведочная база данных	блок «Карьеры»	моделирование пластовых месторождений	-	бурение и взрывание
Surpac Vision	обработка геологоразведочной информации; обработка данных по скважинам	проектирование карьеров и БВР проектирование подземных рудников и БВР	моделирование и оценка запасов месторождений, включая геостатистику	календарное планирование	-
Micromine	классический статистический анализ геологоразведочной информации	автоматизированное проектирование карьеров и шахт с заданными параметрами	построение блочных моделей с заданным размером элементарных блоков интерактивное трехмерное каркасное моделирование рудных тел	-	-

ГИС	Задачи недропользования				
	разведка	проектирование	моделирование	планирование	технологические процессы
GeoTech-3D	-	проектирование векторных и каркасных моделей элементов открытой и подземной систем разработки визуализация элементов систем разработки	построение векторных, каркасных и блочных моделей рудных тел	функции коррективки; оптимизация границ карьера по экономическим показателям	проектирование массовых взрывов для открытых и подземных горных работ
Geoblock	анализ скважинных данных и их преобразование; компоновка скважинных проб по слоям и горизонтам	-	моделирование степени раскрытия минералов и прогноз обогатимости руд блочное моделирование	-	-

Как видно из таблицы 1, в мире имеется более 5 лидирующих интегрированных геоинформационных программ применяемые в горнодобывающих предприятиях. Приведем некоторые зарубежные опыты применения данных программ.

Например, Tianxuan и др. ГИС применяли для предсказания взрыва опасности газа в угольной промышленности способом анализа графического перекрытия, основанным на инструмент ГИС (Tianxuan 2005:1744). С помощью этой системы визуализации, становится возможным оценить для данного района запасы взрывоопасных газов, и тем самым предлагается новый, удобный для расчета интуиционистский метод для регионального прогнозирования взрыве опасности газов.

Tim Warner ГИС инструмент и методы дистанционного зондирования применял для прогнозирования роста городов в области Morgantown Западной Виржинии. Методику, разработанную в данной работе можно применять для определения границ подземных горных работ на склоне (Warner T. 2009:398).

Yousefi and Kamkar-Rouhani использует ГИС для отображения на карте местонахождение золота и других металла в области Mahnesan, Иран. Они разработали методику, с помощью которой можно вычислить общее количество запасов золото и другие металл из различных месторождений, чтобы сделать прогноз мине-

рально-сырьевых потенциалов. ГИС позволяет выполнять количественные расчеты запасов сырьевых ресурсов, на основе чего прогнозировать благоприятные области месторождений полезных ископаемых. В соответствии с разработанной моделью месторождений золота и других металлов установлено пространственное распределение 20 известных залежей полезных ископаемых (Yousefi 2008:434; Jianping C. 2005:285).

Результаты и обсуждение

На Орловском руднике для повышения эффективности и безопасности ведения горных работ, контроля и оценки эффективности мероприятий по рациональному способу добычи полезного ископаемого, предупреждения возникновения аварийных ситуаций и т.д. была создана трехмерная геомеханическая модель с применением специализированных ГИС-технологий.

Данная модель на месторождении используется для оценки геомеханического состояния выработанного пространства и горных выработок. Изменение напряженного состояния и деформации вышележащих пород могут оказывать влияние на устойчивость, а также могут воздействовать на окружающую среду. Для того чтобы оптимизировать работу всей шахты и правильно оценить риски, необходимо с самого начала принимать во внимание геомеханическое поведение объекта разработки и окружающих его пород.

Трёхмерная геомеханическая модель Орловского рудника была построена на основе геологической модели. Отличие геомеханической модели от геологической состоит в том, что помимо геологических факторов, она должна отражать механические процессы, происходящие в массиве. Разработка расчетных геомеханических моделей горного массива ведется на базе

данных, полученных по результатам специальных натуральных и лабораторных исследований в шахте и мониторинга за сдвижением земной поверхности.

Также, для построения трёхмерной геомеханической модели Орловского рудника необходимо создание векторной, каркасной и блочной модели геологических тел (рис. 2).

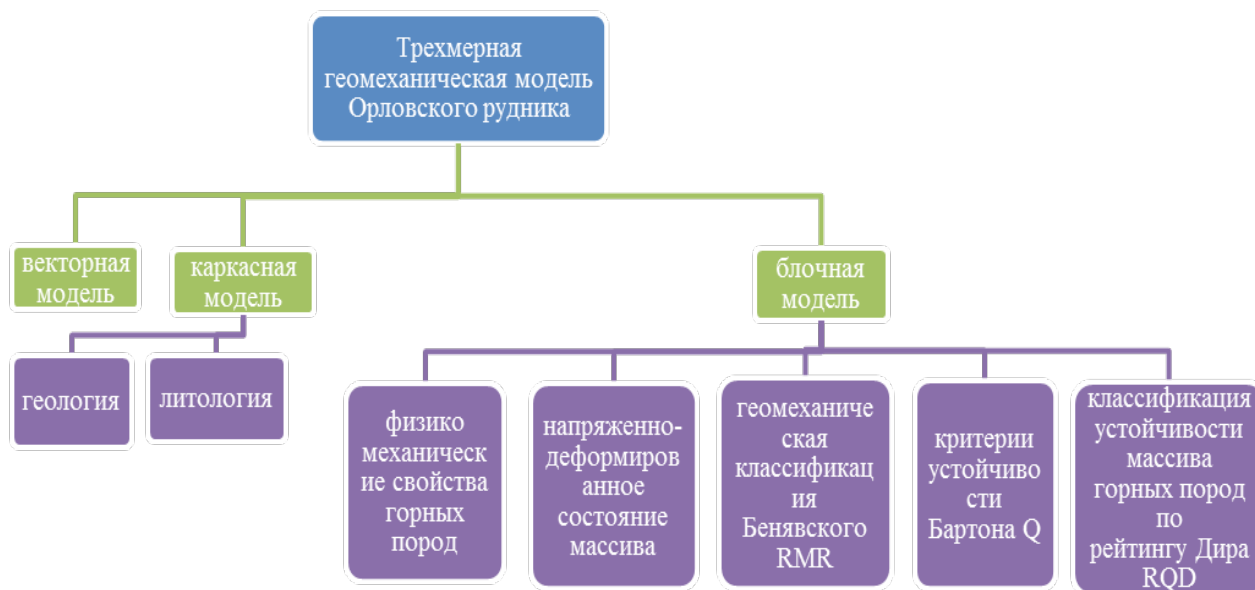


Рисунок 2 – Иерархическая структура геомеханической модели Орловского рудника

Векторные модели могут создаваться с использованием модели геологических проб, которые, в свою очередь, могут быть представлены в виде кондиционных интервалов. Для ускорения создания векторных моделей (при наличии геологических разрезов на бумажных носителях) их векторизованные изображения могут быть построены на плоскости разреза также при помощи сплайнов, как контуры создаваемой модели геологического объекта.

Каркасная модель (КМ) – модель объекта в трёхмерной графике, представляющая собой совокупность вершин и рёбер, которая определяет форму отображаемого многогранного объекта. Также, каркасная модель является продуктом трёхмерной триангуляции. КМ может быть создана путем соединения стрингов, представляющих собой контуры рудных тел на разрезах, сеткой, состоящей из треугольников, которые используют для соединения полигональных геометрических объектов в солид (объект с по-

ложительным объемом) или полость (объект с отрицательным объемом). Результирующие объекты могут быть использованы для визуализации; вычисления объемов; извлечения разрезов в любом направлении; пересечения с данными, созданными на основе модуля геологической базой данных; создания блочной модели.

Создание каркасной модели представляет собой трудоемкий процесс, включающий в себя несколько этапов (рис. 3).



Рисунок 3 – Этапы создания каркасной модели месторождения

Результат каркасной модели показан на рисунке 4 на примере Орловского месторождения.

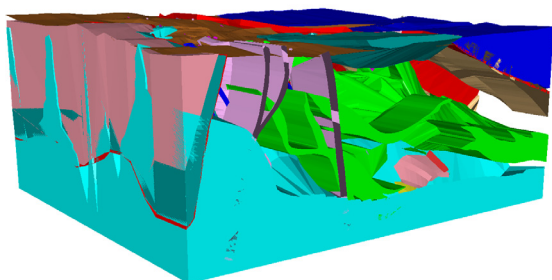


Рисунок 4 – Каркасная модель Орловского месторождения

Блочная модель является простейшим типом трехмерной модели месторождения, т.е. это прямоугольная пространственная решетка, где каждая ячейка имеет одинаковую ориентацию и содержит единственную характеристику для каждой переменной. Именно этот тип используется большинством геоинформационных систем (ГИС) (Петров С.В. 2010:34; Капутин Ю.Е. 2007:188; Шамганова Л.С. 2017:45). Размер ячеек должен быть достаточно мал для того, чтобы учесть все нюансы формы и внутренней структуры рудного тела. Блочная модель может быть построена на всем пространстве месторождения, однако обычно при ее создании используют готовый каркас или набор каркасов (рис. 5).

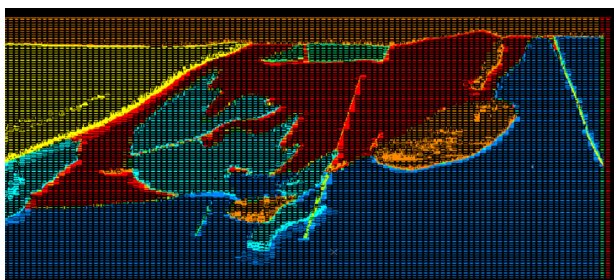


Рисунок 5 – Пример создания блочной модели Орловского рудника с различными блоковыми атрибутами (литология, объёмный вес породы, содержание полезного ископаемого, категория разведаности руды и т.д.)

Таким образом, применение трехмерной геомеханической модели на Орловском руднике позволяет контролировать выполнения горных работ в любой момент времени для всех служб горнодобывающих предприятий, обеспечивает безопасность ведения горных работ, выполняет план производства и снижает затраты на добычу.

Также, данная модель является единой информационной базой для принятия технически обоснованных решений по разработке месторождений полезных ископаемых. Относительно высокие затраты на создание 3D моделей позволяют существенно сократить время на выполнение проектных решений и плановых направлений развития горных работ и обеспечивают возможность принятия наиболее оптимальных инженерно-технических решений с учетом многовариантных проработок и расчетов.

Выводы

В заключении отметим, что создание трехмерных моделей месторождения с помощью ГИС-технологий, позволяют горнодобывающим компаниям:

- получить целостное представление о территории деятельности предприятия, расположенных на ней активах и их техническом состоянии;
- анализировать ресурсные базы месторождения, построение прогнозных моделей, планирование геолого-разведочных работ;
- оптимизировать пространственную структуру наземных объектов с привязкой к местности;
- минимизировать убытки и избежать жертв;
- получать пространственный 3D-анализ и геостатистический анализ;
- оперативно получать точные сведения о текущем состоянии рудника;
- управлять работами по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и объектов инфраструктуры месторождения;
- интегрировать со SCADA-системами возможность интеграции с данными TECHBASE®, Vulcan, MineSight®, SURPAC2000™, Mining Visualization System (MVS), Schlumberger и др.;

Литература

- 1 Автоматизированное планирование горных работ GEOTECH-3D (2017) [Automated mining planning GEOTECH-3D], Russia, <http://www.mineframe.ru>.
- 2 Басаргин А.А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine. – Новосибирск. – 2015. – С. 15-21.
- 3 Гохман В. ГИС в горном деле: информ.-аналит.журн. / ArcReview. – Калифорния, 2015. – № 3 (74). – С. 5-8.

- 4 Годжаманов М., Абд Эль Рахим Имбаби. Применение ГИС технологий для прогнозирования месторождения железной руды в области Насер Египта. – Алматы, 2010. – С. 305-308.
- 5 Кабетенов Т.К., Сабиев Г.Ш. Интеграция геоинформационных систем в горнодобывающую отрасль Республики Казахстан // Горный журнал Казахстана. – Алматы. – 2015. № 10. – С. 38-40.
- 6 Капутин Ю.Е. Моделирование месторождений и оценка минеральных ресурсов (с использованием СТУДИИ 3). – Санкт-Петербург. – 2007. – 188 с.
- 7 Петров С.В., Мишулович П.М., Смоленский В.В., Плеханова Г.В. Принципы создания блочной геолого-технологической модели месторождения. – Санкт-Петербург. – 2010. – 34 с.
- 8 Разработка геомеханических моделей Артемьевского, Орловского, Иртышского месторождений: отчет о НИР (итоговый): рук. Шамганова Л.С., исполн.: Балтиева А.А. [и др.]. – Алматы, – 2017. – 45 с.
- 9 Esri company (2006) GIS for mining [ГИС в горном деле]. (Reprinted from the Spring 2006 issue of ArcNews). New York-USA, pp. 1-30.
- 10 Gemcom mining software solutions (2017) [Программные решения для разработки программного обеспечения Gemcom], Australia, <http://www.gemcom.com>.
- 11 Intuitive Mining Solutions Micromine (2017) [Интуитивные горные решения Micromine], Russia, <http://www.micromine.ru>.
- 12 Jianping C, Wang Gongwen, and Hou Changbo (2005) Quantitative Prediction and Evaluation of Mineral Resources Based on GIS. [Количественное прогнозирование и оценка минеральных ресурсов на основе ГИС]. Southwestern China, vol. 14, no. 4, pp. 285-294.
- 13 Mining software Datamine (2017) [Горное программное обеспечение Datamine], England, <http://www.dataminesoftware.com>.
- 14 Mining software MineScape (2017) [Горное программное обеспечение MineScape], Western Australia, <http://www.miningsoftware.org/portfolio-posts/minescape>.
- 15 Mining software Surpac Vision (2017) [Горное программное обеспечение Surpac Vision], Australia, <http://www.miningsoftware.org/portfolio-posts/surpac>.
- 16 Mining software Geoblock (2016) [Горное программное обеспечение Geoblock], Russia, <http://geoblock.sourceforge.net>.
- 17 Milena M., Cebasek V., Nebojsa G. (2007) Computer programs for design and modelling in mining [Компьютерные программы для проектирования и моделирования в горнодобывающей промышленности]. Belgrade, pp. 109-124.
- 18 Tianxuan, Jianping and Fuchang (2005) Application in gas outburst prediction by graph overlap analysis based on MapObjects [Применение в прогнозировании газового выброса с помощью анализа перекрытия графа на основе MapObjects]. China, pp. 1744-1747.
- 19 Tim Warner (2009) Remote Sensing and GIS Application in the Prediction of Urban Growth in Morgantown Area [Дистанционное зондирование и применение ГИС в прогнозе роста городов в районе Моргантауна]. West Virginia, pp. 398-401.
- 20 Yousefi, M and Kamkar-Rouhani A. (2008) Modelling of mineral potentials of gold and base metals using GIS in Mahneshan area [Моделирование минеральных потенциалов золота и неблагородных металлов с использованием ГИС в районе Махнешана]. Iran, pp. 434-440.

References

- 1 Avtomatizirovannoe planirovanie gornyh rabot GEOTECH-3D (2017) [Automated mining planning GEOTECH-3D], Russia, <http://www.mineframe.ru>.
- 2 Basargin A.A. (2015) Metodika sozdaniya trehmernyh geologicheskikh modelej mestorozhdenij s ispol'zovaniem geoinformacionnoj sistemy Micromine [Method of creating three-dimensional geological models of deposits using the geoinformation system Micromine]. Novosibirsk-Russia, pp. 15-21.
- 3 Gohman V. (2015) GIS v gornom dele [GIS in Mining]. ArcReview Magazine. – California. – No. 3 (74). – pp. 5-8.
- 4 Godzhamanov M., Abd Jel' Rahim Imbabi (2010) Primenenie GIS tehnologij dlja prognozirovaniya mestorozhdenija zheleznoj rudy v oblasti Naser Egipta [Application of GIS technologies for forecasting the iron ore deposit in the Nasser region of Egypt]. Almaty, s. 305-308.
- 5 Kabetenov T.K., Sabiev G.Sh. (2015) Integracija geoinformacionnyh sistem v gornodobyvajushhuju otrasl' Respubliki Kazahstan [Integration of geoinformation systems into the mining industry of the Republic of Kazakhstan]. Almaty-Kazakhstan, no 10, s. 38-40.
- 6 Kaputin Ju.E. Modelirovanie mestorozhdenij i ocenka mineral'nyh resursov (s ispol'zovaniem STUIDII 3). – Sankt-Peterburg. – 2007. – s. 188.
- 7 Petrov S.V., Mishulovich P.M., Smolenskij V.V., Plehanova G.V. Principy sozdaniya blochnoj geologo-tehnologicheskoy modeli mestorozhdenija. – Sankt-Peterbur. – 2010. – s. 34.
- 8 Razrabotka geomehaniicheskikh modelej Artem'evskogo, Orlovskogo, Irtyshskogo mestorozhdenij: otchet o NIR (itogovyy): ruk. Shamganova L.S., ispoln.: Baltieva A.A. [i dr.]. – Almaty, – 2017. – s. 45.
- 9 Esri company (2006) GIS for mining [ГИС в горном деле]. (Reprinted from the Spring 2006 issue of ArcNews). New York-USA, pp. 1-30.
- 10 Gemcom mining software solutions (2017) [Программные решения для разработки программного обеспечения Gemcom], Australia, <http://www.gemcom.com>.

- 11 Intuitive Mining Solutions Micromine (2017) [Интуитивные горные решения Micromine], Russia, <http://www.micromine.ru>.
- 12 Jianping C, Wang Gongwen, and Hou Changbo (2005) Quantitative Prediction and Evaluation of Mineral Resources Based on GIS. [Количественное прогнозирование и оценка минеральных ресурсов на основе ГИС]. Southwestern China, vol. 14, no. 4, pp. 285-294.
- 13 Mining software Datamine (2017) [Горное программное обеспечение Datamine], England, <http://www.dataminesoftware.com>.
- 14 Mining software MineScape (2017) [Горное программное обеспечение MineScape], Western Australia, <http://www.miningsoftware.org/portfolio-posts/minescape>.
- 15 Mining software Surpac Vision (2017) [Горное программное обеспечение Surpac Vision], Australia, <http://www.miningsoftware.org/portfolio-posts/surpac>.
- 16 Mining software Geoblock (2016) [Горное программное обеспечение Geoblock], Russia, <http://geoblock.sourceforge.net>.
- 17 Milena M., Sebsek V., Nebojsa G. (2007) Computer programs for design and modelling in mining [Компьютерные программы для проектирования и моделирования в горнодобывающей промышленности]. Belgrade, pp. 109-124.
- 18 Tianxuan, Jianping and Fuchang (2005) Application in gas outburst prediction by graph overlap analysis based on MapObjects [Применение в прогнозировании газового выброса с помощью анализа перекрытия графа на основе MapObjects]. China, pp. 1744-1747.
- 19 Tim Warner (2009) Remote Sensing and GIS Application in the Prediction of Urban Growth in Morgantown Area [Дистанционное зондирование и применение ГИС в прогнозе роста городов в районе Моргантауна]. West Virginia, pp. 398-401.
- 20 Yousefi, M and Kamkar-Rouhani A. (2008) Modelling of mineral potentials of gold and base metals using GIS in Mahneshan area [Моделирование минеральных потенциалов золота и неблагородных металлов с использованием ГИС в районе Махнешана]. Iran, pp. 434-440.