

УДК 528.91:622

## **СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Андрей Александрович Басаргин*

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (383)343-18-53, e-mail: abaspirant@mail.ru

Задача усовершенствования методов интерпретации и полноты использования геологоразведочных данных как основы для подсчета запасов является весьма актуальной. Получение информации о состоянии горного массива и маркшейдерской ситуации является одной из основных задач. Данную информацию можно получить с помощью цифровой модели месторождения, которая в полном объеме отражает пространственные закономерности распределения широкого комплекса параметров минерализации для месторождений твердых полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** геостатистические методы, ГГИС Micromine, трехмерное компьютерное моделирование, блочное моделирование, крайгинг.

## **DEVELOPMENT OF NATURAL RESOURCES DEPOSITS DIGITAL MODELS WITH THE APPLICATION OF UP-TO-DATA TECHNOLOGIES**

*Andrey A. Basargin*

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., senior lecturer, Department of Applied Informatics and Information Systems, tel. (383)343-18-53, e-mail: abaspirant@mail.ru

The task of interpretation methods and effective geological exploration data application as the basis of the mineral reserves calculation is very urgent. The information concerning the mountain massif state and mining surveying situation is one of the main tasks nowadays. This information can be obtained with the help of a deposit digital model that reflects spatial regularities of a broad range of mineralization parameters distribution for hard mineral formation reserves.

**Key words:** geostatistical methods, GGIS Micromine, 3d computer modelling, block modelling, Kriging.

В современном мире становится все больше предприятий, которые занимаются вопросами изысканий и геологической разведки, активно внедряют компьютерное моделирование [1–10], используя специальные программные средства и информационные системы.

Так одним из наиболее распространенных программных комплексов является Micromine. На основе данной программы можно решать большой комплекс геологоразведочных задач, возникающих при проектировании горнорудных предприятий. Наиболее распространенными задачами являются статистический анализ геологической информации, автоматизация процессов обработки и интерпретации данных геологической разведки, а также использование их для мо-

делирования месторождений в целях выполнения всевозможных расчетов и оценок [11–14].

Главным отличием моделей, создаваемых при помощи геологической геоинформационной системы (ГГИС) Micromine, является возможность их дальнейшего использования и уточнения по результатам отработки месторождения. При этом общий размер модели ограничен только аппаратными возможностями компьютера.

Компьютерное моделирование месторождений при помощи ГГИС Micromine позволяет использовать статистические и геостатистические методы. Цифровые модели, полученные на основе этих методов, наиболее точно и в полном объеме отражают пространственные закономерности распределения широкого комплекса параметров минерализации для месторождений твердых полезных ископаемых. Количественная оценка минерального сырья на основе компьютерных моделей определяет большую точность в сравнении с традиционными методами, поскольку позволяет учитывать произвольное количество показателей, которые влияют на подсчет запасов.

Адаптация трехмерного компьютерного моделирования и технологий подсчета запасов для месторождений полезных ископаемых разного типа к современным условиям недропользования позволяет усовершенствовать методику создания геологических моделей, повысить точность, надежность и правдивость оценки запасов месторождений. Эти обстоятельства являются весьма актуальными в современных экономических условиях.

Трехмерные модели месторождений создаются разными методами и зависят от структуры месторождения и вида полезных ископаемых. В большинстве систем реализован способ пространственного моделирования по данным опробования разведочных буровых скважин с возможностью уточнения параметров размещения рудных тел и залежей по результатам геофизических исследований (сейсмических, гравиметрических, магнитных, электромагнитных и т. п.) [12–15].

Так процесс моделирования на основе ГГИС Micromine состоит из следующих этапов, представленных на рис. 1.

Последовательность формирования цифровых моделей месторождений полезных ископаемых различных видов имеет существенные отличия на этапе интерпретации данных разведки. Во всех остальных аспектах методика моделирования практически идентична и может лишь незначительно меняться.

Аналогично для месторождений, которые уже находятся в эксплуатации, моделирование может несколько отличаться от вышеприведенного. Для них, как правило, уже создан и ведется набор горно-графической документации (планы, разрезы, карты) касательно контуров распространения пород в месторождении, уточненных по результатам эксплуатационной разведки, опробований и фактической отработки.

Для месторождений рудных полезных ископаемых при уточнении контуров простираения рудных тел и оценки запасов используется блочное моделирование с интерполяцией содержания компонентов [12, 13].



Рис. 1. Этапы создания цифровой модели месторождения

В системе присутствует инструментарий для выполнения такого анализа. Он включает построение и моделирование вариограмм. Последовательность действий при их создании и расчете классическая. Первоначально выполняется построение всенаправленной вариограммы. На ее основе выполняется построение розы направленных вариограмм, из которой, в свою очередь, определяется направление максимальной непрерывности. Строится роза вертикальных вариограмм в плоскости максимальной непрерывности и определяется угол ее падения. Далее определяются углы и азимуты падения основных осей пространственной анизотропии минерализации [11, 16, 18].

По данным вариограмм для каждого направления по заданной модели (линейная, экспоненциальная, логарифмическая или сферическая) формируются

соответствующие модели интерполяции значений содержания (учет эффекта самородком, пороговые значения и интервалы влияния для каждой структуры).

Завершающим этапом для создания моделей месторождений руд является блочное моделирование. Этот процесс заключается в создании пустых блочных моделей, ограниченных каркасами; интерполяции значений содержания компонентов на базе установленного закона распределения и уточнении контуров пород по заданным кондициям [12, 14].

При моделировании распределения компонентов учитывается большое число факторов: характер изменчивости геологических характеристик, структура и морфология месторождения, густота и равномерность разведочной сети. В связи с этим используются различные методы пространственной интерполяции: полигональный, обратных расстояний в степени IDW, крайгинга (обычный, индикативный, полииндикативный) [11, 12]. После формирования блочной структуры выполняют корректировку каркасных моделей путем исключения областей с некондиционными породами [11, 15].

С помощью ГГИС Micromine в настоящее время выполнено моделирование месторождений в подмосковном угольном бассейне (Мосбассе). Исходными данными для моделирования служат табличные данные по выработкам, их съемке и опробованию. Эти данные импортируются в программу и, с использованием встроенных алгоритмов проверки, проверяются на различные несоответствия. Цифровая модель месторождения представлена на рис. 2.

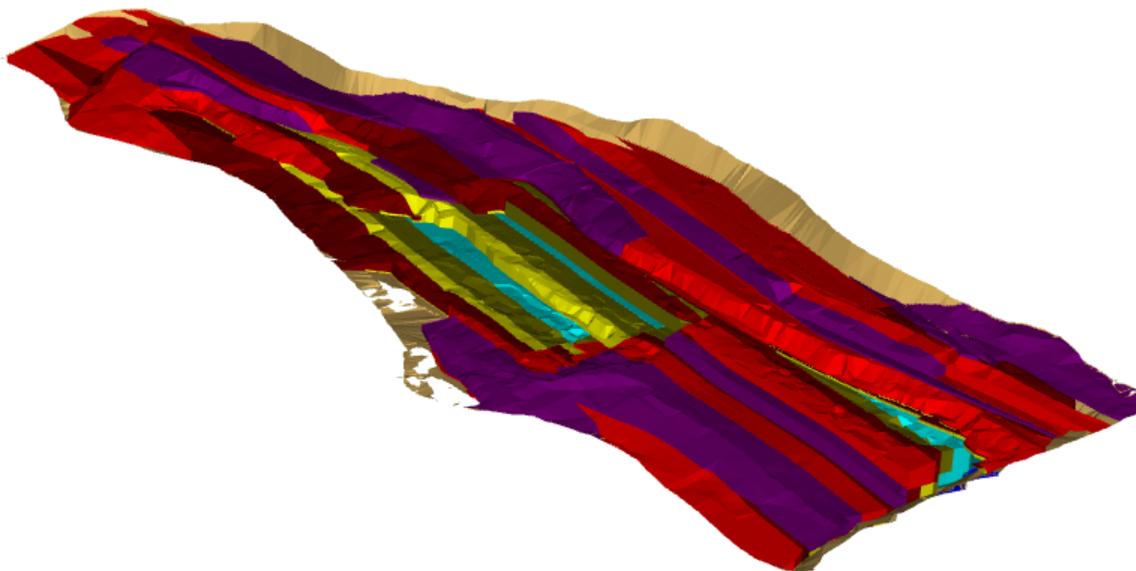


Рис. 2. Цифровая модель месторождения

Месторождения этого типа имеют, как правило, линзообразное строение. Площадь залежей сравнительно невелика – несколько десятков квадратных километров. Глубина залегания мала (до десятков метров). Разведка таких залежей производится по сетке различной формы со сторонами 200–300 м, иногда

со сгущением на отдельных участках до 50–75 м. Результаты разведки сводятся в каталог разведки.

В процессе проведения разведочных работ по каждой скважине определяют мощности вскрытых пород, отметки почвы и кровли угольного пласта, по отдельным скважинам дебиты водоносных горизонтов.

При проектировании вскрытия и нарезки шахтного поля, а также при эксплуатации определяющую роль в условиях Мосбасса играют условия залегания и структура угольных пластов. Особенно важную роль играют величина и характер изменения мощности угольного пласта, характер залегания почвы и кровли угольного пласта, изменение зольности в пределах шахтного поля и др. Перечисленные факторы являются наиболее изменчивыми для данного района и определяют выбор направления основных выработок, системы разработки и возможность отработки отдельных участков [12, 15, 16].

Как показывает опыт, ГГИС Micromine является современной системой, которая может применяться для решения полного спектра задач при моделировании месторождений полезных ископаемых различного вида. Математический аппарат системы постоянно совершенствуется, пополняется новыми процедурами и функциями пространственного моделирования систем.

Применение технологий цифрового моделирования месторождений позволяет сделать процесс управления горными работами максимально прозрачным и понятным на всех уровнях [15, 17, 18].

Сформированная цифровая трехмерная модель месторождения может быть использована для подсчета запасов полезных ископаемых или участков месторождения, геолого-экономической оценки, задач календарного планирования и определения экономически целесообразных контуров отработки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Золотарев И. И. Роль ресурсного потенциала в инновационном развитии экономики России // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 3, ч. 1. – С. 45–48.
2. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Технология изучения изменений во времени деформаций блоков зменой коры при освоении месторождений Кузбасса // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 3–9.
3. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Новый этап развития геодезии – переход к изучению деформаций блоков земной коры в районах освоения угольных месторождений // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 3–9.
4. Жарников В. Б., Щукина В. Н. Обеспечение условий устойчивого землепользования в проектах разработки месторождений на территориях традиционного природопользования // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 72–78.
5. Вдовин С. А. Совершенствование инструментов моделирования в программах рационального природопользования // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 3, ч. 1. – С. 7–14.
6. Лапин П. С. Новейшие движения и индекс успешности поисково-разведочного бурения в верхнеюрском НГК (Каймысовская нефтегазоносная область) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование.

Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 91–95.

7. Запивалов Н. П. Минерально-сырьевые ресурсы сибирских регионов и современные темпы их освоения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 123–128.

8. Мартъянов А. С., Власов А. А. Программный инструментарий анализа данных электротомографии // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 151–155.

9. Корсаков М. А., Антонов Е. Ю., Кожевников Н. О. Программно-алгоритмическая система для моделирования и совместной интерпретации данных импульсных индукционных зондирований с учетом внезапной поляризации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 182–186.

10. Капутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: Недра, 2002. – 424 с.

11. Малютин Ю. А., Мордовин П. Н. Пример использования современных информационных компьютерных технологий на Раменском горно-обогатительном комбинате (Московская область) // IV конгресс обогатителей стран СНГ. – Т. 2. – С. 152–153.

12. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд / пер. с англ. – Л.: Недра, 1980. – 360 с.

13. Groshong R. H., Jr. 3D structural geology: a practical guide to surface and subsurface map interpretation / Groshong R. H., Jr. – Berlin: SpringerVerlag. – 1999. – 324 p.

14. Лесонен М. В., Сень М. С. Использование блочной модели для технико-экономической оценки месторождений ТПИ (на примере открытого способа отработки) // Экономика. – 2010. – Июнь. – С. 85–86.

15. Об использовании компьютерного моделирования при подсчете запасов / Т. О. Бабина, С. Н. Жидков, П. И. Кушнарев, Н. С. Маркова // Недропользование – XXI век. – 2007. – № 6. – С. 30–33.

16. Кошелев В. А., Карлин К. С., Чахлова А. П. Особенности развития разбивочной основы в условиях горной местности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 87–92.

17. Применение наземного лазерного сканирования для съемки разрезов и подсчета запасов руды / В. А. Середович, А. В. Середович, А. В. Иванов, А. К. Карпов // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 135–140.

18. Бударова В. А. Опыт создания карт 3D сейсморазведки с использованием геоинформационных технологий // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 187–191.

Получено 26.02.2014

© А. А. Басаргин, 2014