

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГГИС MICROMINE

Андрей Александрович Басаргин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (383)343-18-53, e-mail: abaspirant@mail.ru

Виктор Семенович Писарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-18-53, e-mail: viktor@ssga.ru

Современные тенденции развития средств информационной поддержки горной технологии диктуют необходимость комплексного решения технологических задач на базе единой программной платформы, обеспечивающей возможность быстрой адаптации базового функционала и разработки нового к условиям горного предприятия. Ключевое значение при этом приобретает идеология построения и развития информационных систем.

Предложенная авторами методика моделирования подходит для решения текущих задач геологической службы горных предприятий. При этом разработаны такие программные средства и инструменты, как выделение рудных кондиционных и сортовых интервалов, многокритериальные выборки данных опробования для оценки запасов полезных компонентов в целом по месторождению и в выемочных единицах, а также интерактивный ввод геофизического опробования для подземных горных работ.

Разработанные программные средства в ГГИС Micromine проходят апробацию на горных предприятиях России и совершенствуются для более полного удовлетворения запросов геологических служб.

Ключевые слова: геологическое моделирование, MICROMINE, геостатистика, кригинг, горно-геологическая информационная система

FEATURES OF MODELING OF OBJECTS OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN THE DEVELOPMENT OF SOLID MINERAL DEPOSITS USING GGIS MICROMINE

Andrei A. Basargin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Systems, phone: (383)343-18-53, e-mail: abaspirant@mail.ru

Viktor S. Pisarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: viktor@ssga.ru

Modern trends in the development of information support for mining technology dictate the need for a comprehensive solution of technological problems on the basis of a single software plat-

form, which provides the ability to quickly adapt the basic functionality and develop a new one to the conditions of a mining enterprise. In this case, the ideology of building and developing information systems is of key importance.

The modeling technique proposed by the authors is suitable for solving the current problems of the geological service of mining enterprises. At the same time, such software and tools have been developed as the allocation of ore standard and grade intervals, multi-criteria sampling of sampling data for assessing the reserves of useful components for the field as a whole and in mining units, as well as interactive input of geophysical sampling for underground mining.

The developed software in GIS Micromine is being tested at mining enterprises in Russia and is being improved to better meet the needs of geological services.

Keywords: geological modeling, MICROMINE, geostatistics, kriging, mining and geological information system

Введение

Горнодобывающее предприятие представляет собой сложную природно-техническую систему, постоянно меняющуюся под воздействием технологических процессов, связанных с добычей полезного ископаемого (ПИ). Это приводит к появлению выработанного пространства и последующему изменению его геометрии, что влияет на геомеханическое состояние массива горных пород (ГП) и зачастую приводит к потере его устойчивости. Горные работы ведутся в условиях ограниченного пространства с постоянной тенденцией понижения их высотной отметки, что приводит к увеличению затрат на проветривание горных выработок и транспортирование горной массы. Сами горные работы связаны с перемещением больших объемов руды и вскрыши, что приводит к изменению рельефа местности и отрицательно влияет на окружающую среду. Горнодобывающее предприятие работает в условиях рынка, что требует минимизации затрат при необходимости сохранения безопасности горных работ и снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.

На сегодня единственным методом, обеспечивающим системный подход к решению задач освоения и эксплуатации месторождений ПИ, является компьютерное моделирование объектов и процессов горной технологии.

Программные средства для решения геологических задач, оценки запасов полезных ископаемых и их учет при проектировании и планировании горных работ являются важной и ответственной частью горно-геологических информационных систем. Особенности строения геологической среды определяют все ключевые технологические решения по разработке месторождений, поэтому создание моделей, адекватных реальным объектам, является одной из основных целей геологической службы предприятия. Обязательной частью ГГИС являются развитые средства моделирования трёхмерных природных и техногенных объектов, таких как рудные тела, пласты, разновидности литологических типов, открытые и подземные выработки, насыпи, отвалы и пр. Для решения текущих задач геологической службы горного предприятия в системе Micromine разработан большой спектр программных средств и инструментов [1, 2].

Системный подход при решении задач горной технологии на первом этапе моделирования

Системный подход при решении задач построения горно-геологических объектов заключается в совместной обработке данных, полученных из разных источников. В результате реализованы варианты формирования выборки на основе данных опробования непосредственно в трёхмерном окне системы: добавление в набор по одной пробе, добавление целиком кондиционного интервала, выбор конкретной выработки или скважины, добавление проб, попавших внутрь каркаса выбранного объекта. с задания региона моделирования, представляющего собой прямоугольный параллелепипед, с заданными размерами сторон, и указания параметров привязки.

В основе моделей горно-геологических объектов лежат их векторные конструкции. Исходные данные для моделирования векторных конструкций включают в себя в основном информацию по скважинному опробованию месторождения и контакты рудных тел. Данные рядового опробования скважин и выработок импортируются в геологический редактор, в котором они при необходимости корректируются с учетом всевозможных проверок на ошибки.

Также в редакторе происходит выделение кондиционных и сортовых интервалов, необходимых для дальнейшего оконтуривания геологических объектов. Существуют несколько сценариев выделения кондиционных интервалов: для угольных месторождений, для урановых месторождений и для рудных месторождений. После автоматического выделения кондиционных интервалов возможна их ручная корректировка.

Набор скважин, отображающихся в трёхмерной среде в виде последовательности отрезков, представляет собой модель геологического опробования. Координаты начала и конца проб определяются с учётом координат устья и данных инклинометрии. На основе модели геологических проб решаются задачи по созданию моделей рудных тел, геостатистическому исследованию месторождений, оценки запасов полезных компонентов по месторождению и в выемочных единицах.

Для проведения статистического анализа геологической информации и дальнейшего подсчета запасов система предлагает многокритериальные выборки данных опробования: ограничения как по типу данных, по компонентам, по содержанию, по принадлежности к различным геологическим признакам, так и пространственную фильтрацию, включающую в себя выбор проб, попавших в рудные тела, а также удовлетворяющих конкретным кондициям.

Например, данный инструмент позволяет рассчитать качественные показатели в объектах горной технологии в случаях, когда опробование не попадает в каркас объекта (для планируемой выемки), или когда необходимо исключить из расчёта непоказательные пробы. В трёхмерной среде MicroMine добавление проб в выемочную единицу осуществляется двумя способами: интерактивно (с указанием непосредственно координат мышкой на экране) и вручную (с заданием необходимых параметров). Также есть возможность загрузки данных опробования из текстовых файлов, полученных с приборов.

Этапы геометрического моделирования

В геологии и горном деле для решения задач геометрического моделирования используются методы векторного, сеточного, каркасного (триангуляционного) и блочного моделирования. К геологическим объектам относятся все структурные образования в массиве горных пород, выделение которых в виде тел и поверхностей позволяет смоделировать изменчивость свойств среды.

Оконтуривание рудных тел и привязка контуров рудных тел к моделям геологических проб производится на основе набора разрезов с замкнутыми контурами рудных тел и проекциями скважин на плоскость разреза. При построении модели с использованием двух систем разрезов, чаще всего это комбинация горизонтальных и вертикальных разрезов (рис. 1), возникает необходимость применения более сложных алгоритмов построения триангуляции.

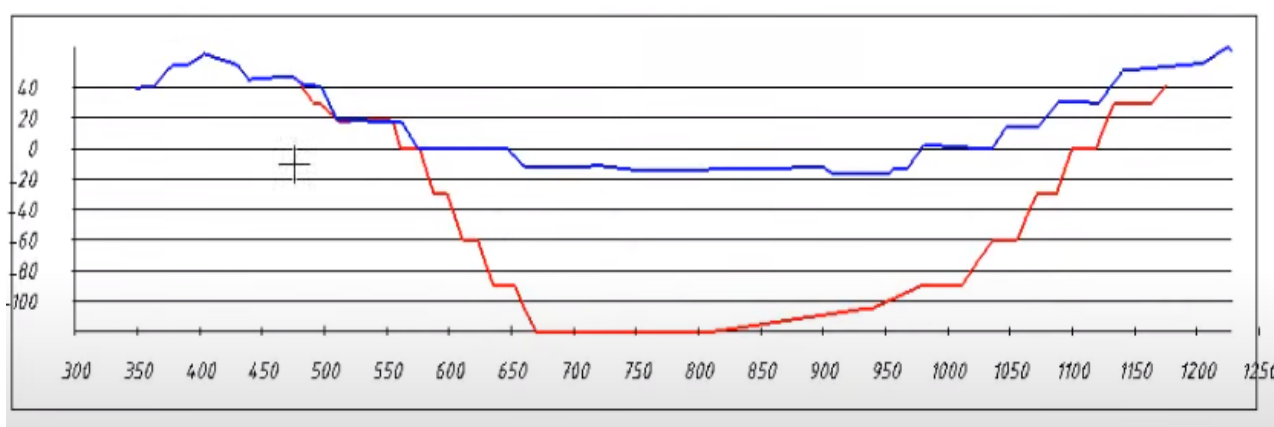


Рис. 1. Построение модели с использованием двух систем разрезов

В этом случае поверхность тела разбивается на четырехсторонние области, ограниченные участками контуров вертикальных и горизонтальных разрезов. Локализованные таким образом участки поверхности моделируются с помощью метода Кунса (рис. 2) [3].

Точки противоположных сторон такой области, соединяясь между собой, задают геометрию ее внутреннего пространства, координаты точек которого вычисляются с помощью билинейной интерполяции в двух направлениях. Исходные и сгенерированные точки становятся основой для построения каркасной триангуляционной модели геологического тела. Для пластовых месторождений предусмотрен вариант неявного (имплицитного) моделирования, заключающийся в автоматическом построении модели поверхности кровли и подошвы пласта по кондиционным интервалам скважинного опробования. Каркасная модель строится в два этапа: на первом строится модель пласта по простиранию и падению с ограничивающими контурами нулевой мощности, которые отстраиваются на основе анализа рудных и пустых скважин, на втором по этой модели выделяются участки кондиционной мощности (рис. 3).

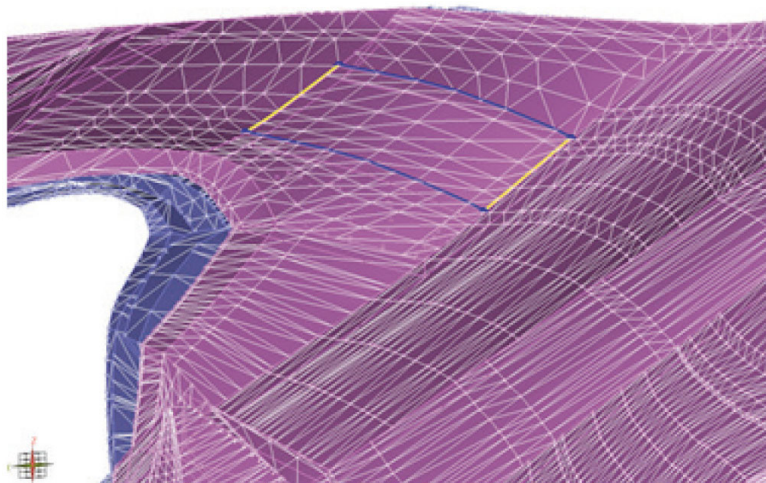


Рис. 2. Локализованные участки поверхности для построения триангуляции замкнутой поверхности методом Кунса

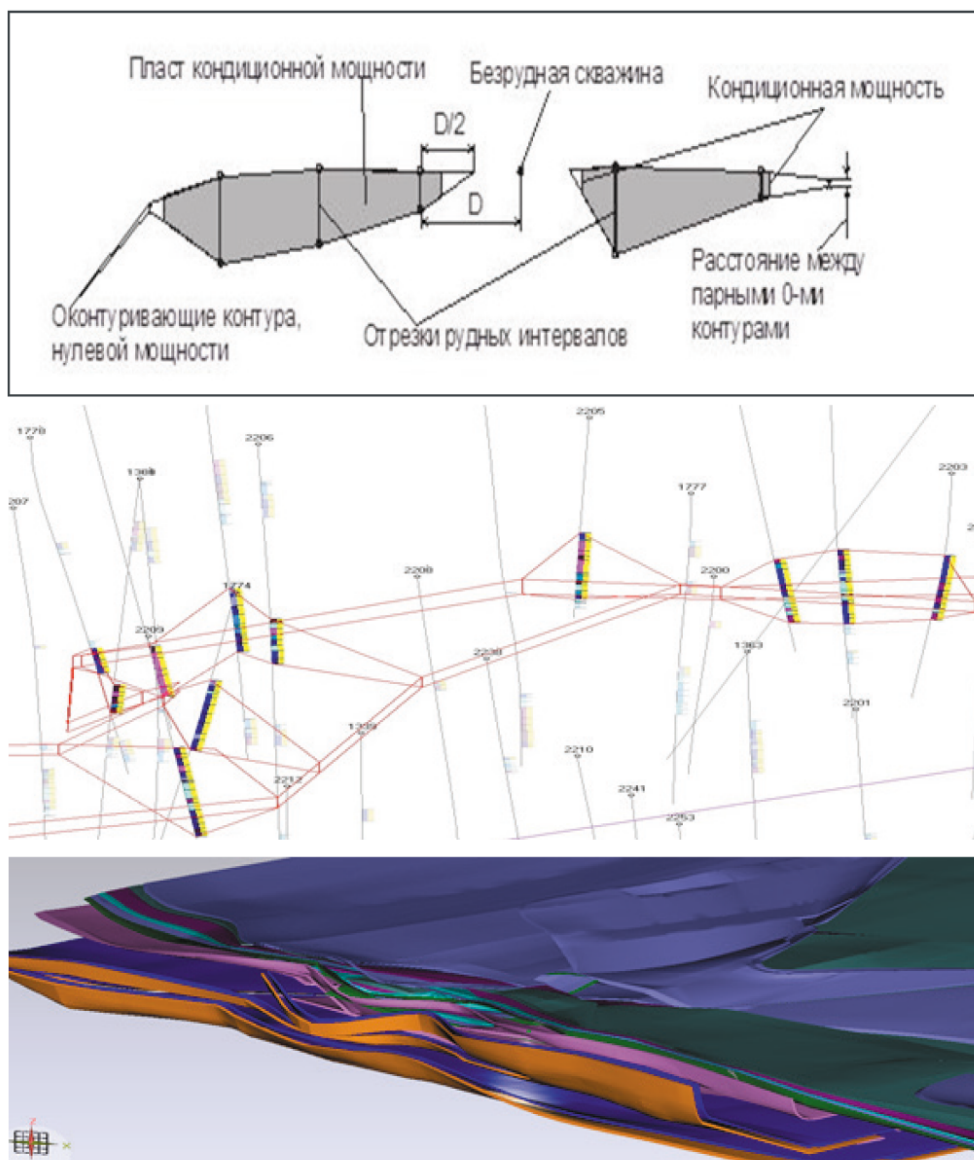


Рис. 3. Схема моделирования пласта

Для сглаживания и детализации триангуляции поверхностей пластов и топоповерхностей используются методы сеточного моделирования. При построении сеточной модели в поверхность добавляются дополнительные точки, являющиеся узлами прямоугольной или треугольной сетки в проекции на некоторую плоскость, чаще всего горизонтальную. Для расчета высотных отметок добавленных точек применяется метод обратных взвешенных расстояний, согласно которому влияние известных точек на расчетную точку сетки обратно пропорционально расстоянию между ними. Качество триангуляции влияет на результаты расчетов, основанных на каркасных моделях.

Для исключения ошибок в триангуляции, которые могут привести к некорректной дальнейшей работе с каркасными моделями, авторами создан инструмент с большим спектром проверок триангуляционных моделей на правильность построения (рис. 4). Также предусмотрены инструменты для быстрой корректировки и модификации триангуляционной модели [4]. Наиболее широкое распространение получил блочный метод моделирования месторождений. Блочная модель представляет собой упорядоченное множество блоков, ребра которых параллельны координатным осям моделируемой области пространства. Чаще всего блочная модель формируется внутри замкнутой поверхности, ограничивающей тело. Для более точного моделирования граничной области, примыкающей к триангуляционной поверхности, исходные блоки 1-го ранга могут быть «разбиты» на субблоки более низкого ранга (2-го, 4-го, 8-го).

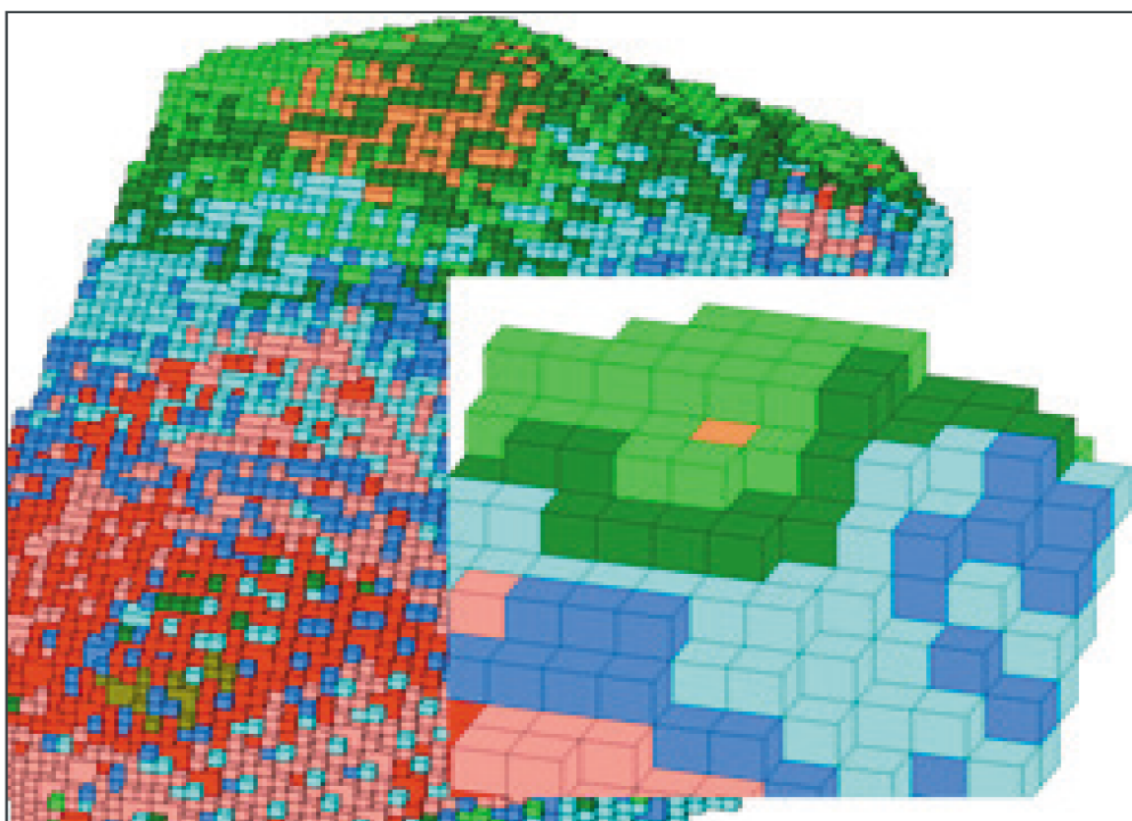


Рис. 4. Переблокировка

Реализована возможность создания произвольного количества субблоков по всем трём пространственным направлениям, что позволяет установить, например, субблокирование 4x2x1 для получения более точной блочной модели в каком-то одном направлении без необходимости создания большого количества блоков в других направлениях. Разработаны методы блочного моделирования, позволяющие создавать блочные конструкции сложных геологических структур, включающие алгоритмы и программные средства объединения, вычитания и переблокировки моделей.

Алгоритм переблокировки позволяет перестраивать блочную модель, изменяя ее параметры, такие как субблокирование или размеры блока, при этом рассчитанное в блоках содержание по всем компонентам перераспределяется по новым блокам. Также реализован инструмент корректировки блочной модели по каркасной модели, позволяющий, не перестраивая всю модель и сохраняя рассчитанное в блоках содержание, добавить или удалить блоки в соответствии с изменением каркаса.

Предусмотрена возможность субблокирования блочной модели по границе выбранной каркасной модели. Данные инструменты могут использоваться при фильтрации блочных моделей относительно триангуляционных поверхностей. Имеется возможность построения блочной модели с установкой произвольного размера граничных блоков в зависимости от его расположения относительно каркасной модели в выбранном направлении (рис. 5).

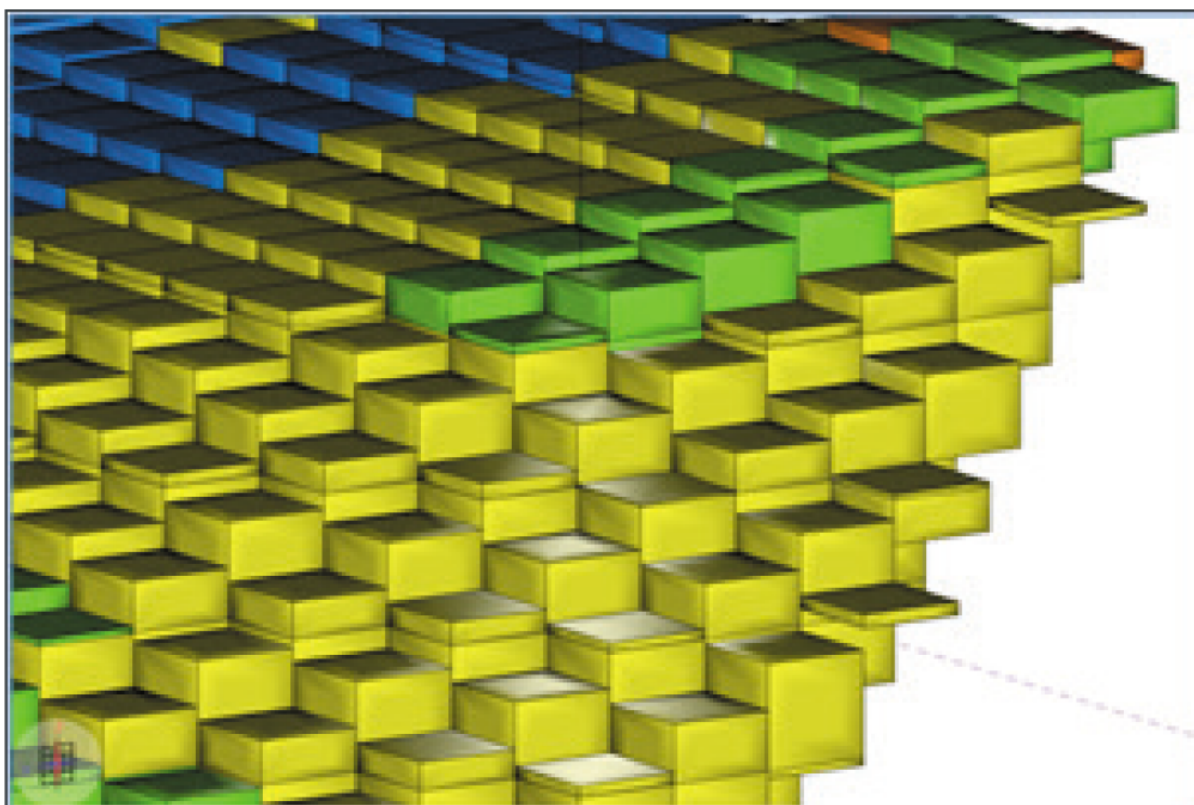


Рис. 5. Корректировка размера блоков по каркасной модели

При построении блочной модели может быть рассчитан коэффициент доли руды, которые показывает, какая часть блока попадает в рудное тело. Разработанные программные средства для табличного представления блочной модели позволяют отобразить всю информацию о модели: количество блоков, координаты центра каждого блока, значения всех атрибутов блока. Реализована возможность добавления новых атрибутов и их расчет по заданным формулам, а также возможность пространственной и условной фильтрации блоков и назначения отдельным блокам или их группе значений атрибутов. Данные операции могут быть применены как для одной блочной модели, так и сразу для нескольких моделей рудных тел (рис. 6).

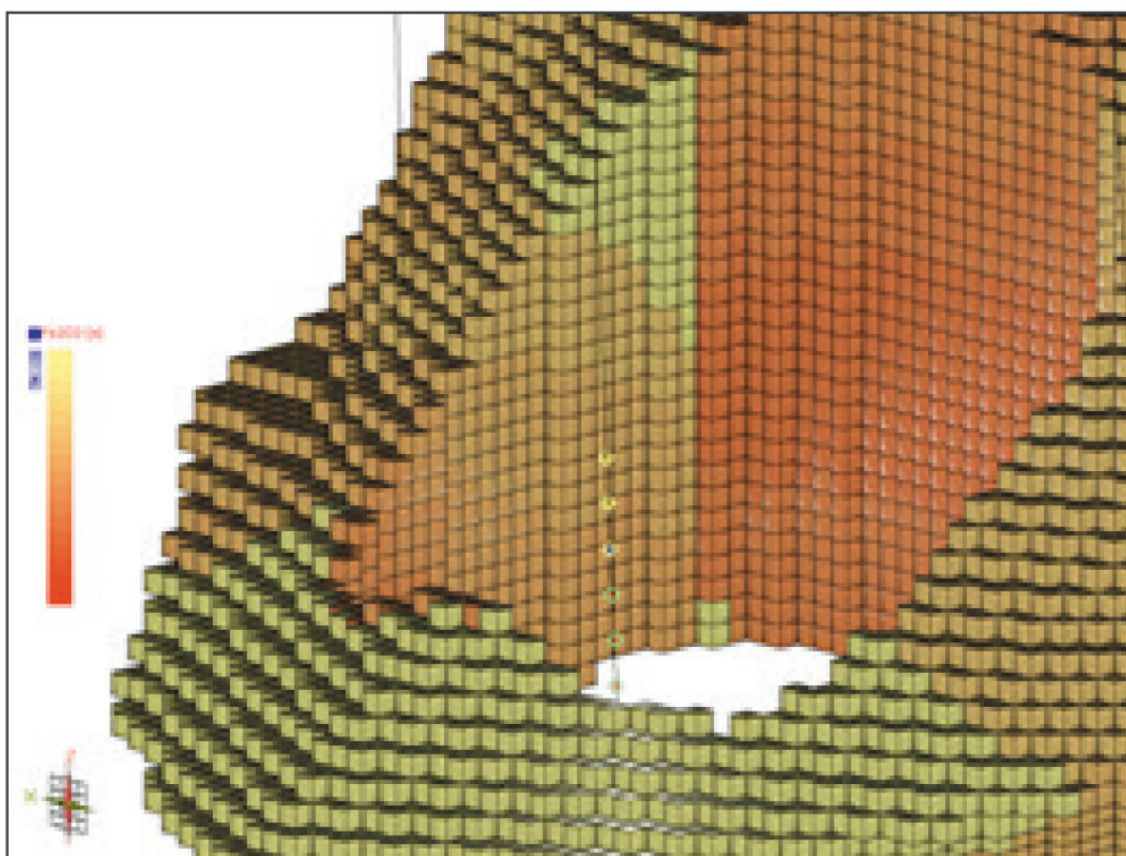


Рис. 6. Блочная модель с корректировкой размера блока по каркасной модели

Интерполяция содержаний полезного компонента в блочной модели

Блочное моделирование с интерполяцией содержаний полезного компонента в рудных телах и выемочных единицах проводят геометрическими методами (метод ближайшей пробы) и методами дистанционного взвешивания (обратные расстояния и геостатистический метод (кригинг)). Оба метода в качестве исходных данных используют пробы, приведенные с помощью процедуры ком-

позирования к одной длине. Такие пробы моделируются точками в пространстве, координаты которых лежат посередине отрезков одинаковой длины, а содержание представляет собой средневзвешенное значение по всем составляющим их частям исходных проб. Наличие достаточно надежной корреляционной связи между пробами в пространстве и отсутствие в исследуемой зоне резких изменений в значениях содержаний полезных компонентов позволяет применить геостатистику для получения наиболее достоверной информации о запасах полезных ископаемых на место рождения [5].

Инструменты геостатистического анализа, представленные в Micromine [6], включают в себя большой набор алгоритмов от изучения корреляции содержаний полезного компонента в пространстве с выявлением возможной анизотропии в данных до нахождения оценки средневзвешенного значения пространственной переменной в блоке, то есть кригинга.

Также для выделения категорий ресурсов на блочных моделях по CRIRSCO (Комитет по международным стандартам отчетности о запасах) реализован алгоритм, основанный на использовании минимального количества проб, взятого при интерполяции содержаний в каждом блоке, и зоны влияния проб [7]. В зависимости от результата расчета блоки классифицируются как измеренные (Measured), исчисленные (Indicated) и предполагаемые (Inferred). Одной из задач данного метода, является решение вопроса о необходимости дальнейшего изучения исследуемого участка недр, сгущения разведочной сети и определения направления ведения геологоразведочных работ.

На ранних стадиях разведки классификация минеральных ресурсов возможна по анализу вариограмм (рис. 7).

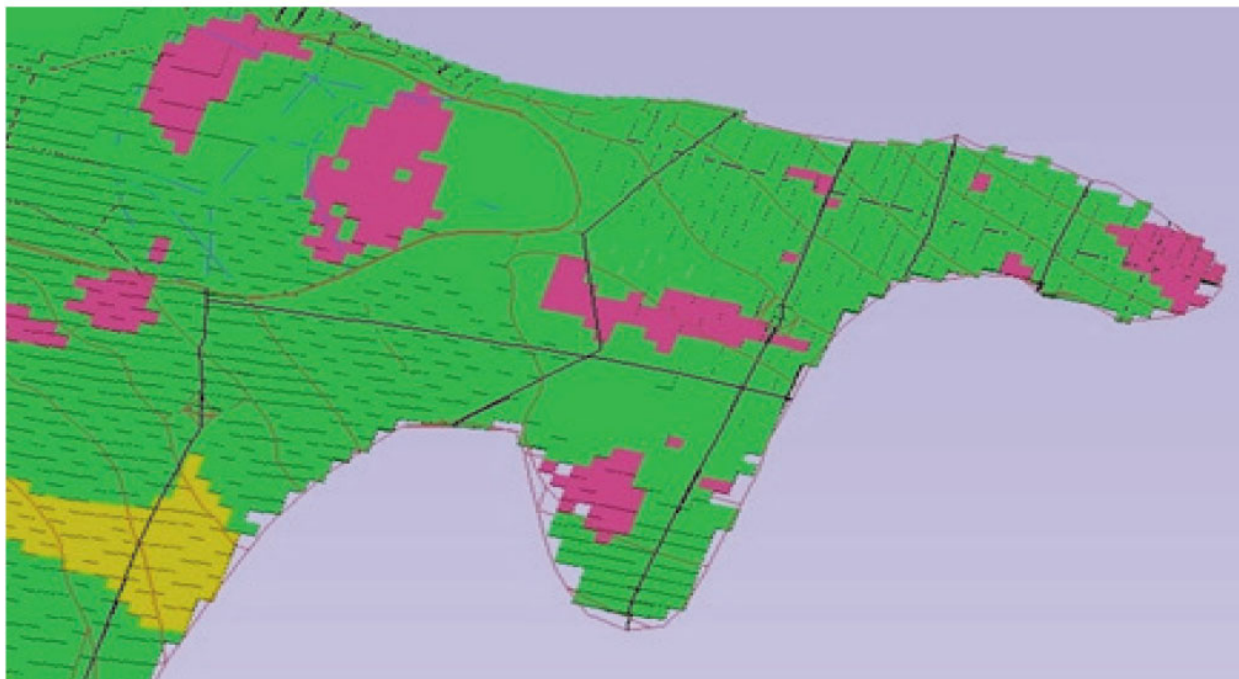


Рис. 7. Классификация минеральных ресурсов на основе анализа вариограммы

В случае низкого «эффекта самородков» (C0) относительно редкая сеть скважин может обеспечить определение измеренных минеральных ресурсов. Когда «эффект самородков» достигает 66%, определение этих ресурсов невозможно, так как требует затратной плотности разведочной сети.

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что средства моделирования горно-геологических объектов направлены на создание гибких и удобных инструментов решения задач геотехнологии, а также на расширение области их применения. Цифровые модели объектов значительно облегчают процесс планирования горных работ, так как на любом этапе работы имеется наглядное визуальное представление объектов в трёхмерном виде, и корректировка данных возможна с минимальными затратами по перестроению и пересчету характеристик при добавлении новой информации. Разрабатываемые программные средства ГГИС Micromine проходят апробацию на горных предприятиях России и совершенствуются для более полного удовлетворения запросов геологических служб.

Особенности моделирования в ГГИС Micromine позволяет получить оптимальную последовательность отработки месторождения, итоговую отчетность по отработанным объемам за заданный период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черагина Д. И. Управления проектами обустройства на примере куста скважины №221 Вынгапурского месторождения // В сборнике: управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 частях. – 2017. – С. 24-27.
2. Басаргин А. А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий // Вестник СГГА" №1 (25). – 2014 г. – С. 34-40.
3. Басаргин А. А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine // Сборник материалов междунар. Науч. конгр. «ГЕО- Сибирь - 2015». Т. 1 «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия», ч.1 – Новосибирск : СГУГиТ, С. 15-20.
4. Урумов В.А., Босиков И.И. 3d-модель и закономерности распределения полезных компонентов залежи Анненская жезказганского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. – 2015. – т. 7. № 1. С. 11-16
5. Шульга Е. С. Чем порадует 2018 год пользователей программы Micromine // Золото и технологии. – 2017. – № 4 (38). С. 50-53.
6. Осипов В. Л. Определение рудных интервалов при подсчете запасов в программе Micromine // Горные науки и технологии. – 2018. – № 2. С. 23-31.
7. Шевкун Е. Б., Лещинский А. В., Галимьянов А. А. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способности. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 4. С. 331-336.
8. Свод Правил СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Министерство регионального развития Российской Федерации. – М.: 2012 г.

9. 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.

10. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Бедарев А. С., Даулетова А. О. Исследование возможности 3D моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 178–183.

© А. А. Басаргин, В. С. Писарев, 2021