

**В.И.ВОРОПАЕВ, А.Г.ЧЕРНЯВСКИЙ,  
С.А.ЕМЕЛЬЯНОВ**  
*Государственная комиссия  
по запасам полезных ископаемых  
Министерства природных ресурсов, Москва*

## **ВОПРОСЫ ЭКСПЕРТИЗЫ МАТЕРИАЛОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

В России на экспертизу все чаще представляются материалы подсчета запасов, выполненные с геостатистическим моделированием, есть опыт компаний, использующих современные технологии обработки данных для повышения эффективности добычи. В этих условиях требуется обновление технического оснащения, методического обеспечения и экспертной службы. На период перехода от традиционных методов к компьютерным технологиям не менее 20 % от суммы запасов, подсчитанных по блочной модели, должно подтверждаться подсчетом обычными методами (геологических блоков, разрезов и т.п.). Пока нет действующих нормативных документов, регламентирующих содержание и порядок представления на государственную геологическую экспертизу материалов компьютерного моделирования в составе ТЭО кондиций и отчета с подсчетом запасов, но ГКЗ подготовлены «Методические рекомендации по представлению материалов ТЭО кондиций и подсчета запасов на машинных носителях». Представлены основные положения этого документа, приведены перечни цифровой и текстовой информации на машинных носителях, необходимые для полномасштабной экспертизы компьютерного подсчета запасов, и указаны 11 компаний-разработчиков и их компьютерные программы, апробированные в мировой практике и одинаково приемлемые для ГКЗ.

In Russia, materials on calculated mineral reserves are represented at the State Expertise Commission (SEC) as realized with computer modeling and geostatistical simulation. There is even real experience of numerous companies heightening performance of a mining with the help of modern know-hows of data processing. In these conditions, the State expert service needs upgrading a hardware and methodical supply. On a period of transferring from traditional methods to computer know-hows, not less than 20 % from the sum of reserves calculated on the unitized pattern, should be confirmed by counting in customary methods (geologic blocks, sections, etc.). While there are no acting normative documents regulating the contents and an order of submission on the state geologic expertise of materials with computer simulation, their composition, and feasibility of the report for quality requirements, but SEC has yet prepared «The Methodical recommendations on presentation of materials of the feasibility and quality requirements for calculation of reserves with the computer bearers». The princip positions of this document are displayed, the lists of the digital and text information on the computer bearers indispensable for the whole-scale expertise of computer calculation of reserves, and list of 11 companies – implementators and their computer programs, approved in global practice and equally reasonable for SEC are indicated.

Широкому внедрению математических методов подсчета запасов в современной российской практике препятствует некоторая архаичность геологических наук: далеко не все закономерности строения недр можно описать строгим математическим языком. Геология находится еще на ранней стадии своего развития, в изменчивом, многофак-

торном поле процессов в земной коре выявлены далеко не все связи. В изучении недр действует своеобразный симбиоз науки и искусства, где велика роль исследователя-человека, с особенностями его мышления, личного опыта, ошибками и заблуждениями. Неизбежная субъективность исполнителя, в сочетании с другими изменчивыми и не

поддающимися учету факторами, оказывает значительное влияние на трактовку результатов даже при математической обработке разведочных данных, вплоть до принципиально противоположных заключений.

В мировой геологии широкое внедрение математических методов относится к 1970-1980 годам и обусловлено развитием персональных компьютеров и разработкой специального программного обеспечения. В России этот переход был осложнен социально-экономическими факторами: в те годы компьютеризация в стране базировалась на организации крупных вычислительных центров. Эта стратегия рухнула вместе с распадом государства, за которым последовала к тому же и потеря региональных геологических школ.

При оценке внедрения математических методов в современную российскую геолого-разведочную практику необходимо учитывать следующие аспекты проблемы и их сочетание:

- кадровое обеспечение – наличие квалифицированных специалистов, региональных геологических школ;
- техническое и программное обеспечение;
- нормативно-правовое обеспечение.

Далее будут рассмотрены в основном последний и, отчасти, второй аспекты проблемы. Сейчас реально происходит техническое перевооружение информационной базы геолого-разведочных и горно-добывающих предприятий, все чаще на экспертизу представляются материалы подсчета запасов, выполненного с геостатистическим моделированием.

Государственной комиссией по запасам МПР России определен регламент государственной геологической экспертизы ТЭО кондиций и подсчета запасов, а также перечень представляемых недропользователями материалов. Экспертиза выполняется группой высококвалифицированных специалистов, в которую привлекаются наиболее опытные профессионалы, с многолетним опытом изучения месторождений данного вида полезных ископаемых. Однако состояние экспертной службы по технической ос-

нащенности и методическому обеспечению можно считать неудовлетворительным. Главные причины следующие: отсутствие достаточного числа экспертов, имеющих и разведочный опыт, и опыт работы с современными компьютерными системами; отсутствие до 2003 г. таких систем в распоряжении ГКЗ; отсутствие инструкций и методических указаний по компьютерным методам оценки запасов (блочный кригинг), составлению и оформлению отчетов, машинной графики и т.д.

Многие горно-добывающие компании и геолого-разведочные организации в России располагают современными компьютерными системами и могут выполнять оценку запасов как традиционными методами (геологических блоков, параллельных сечений, «ближайшего района» и др.), так и с использованием распространенных в мире геостатистических способов и блочного моделирования (кригинг), выполнять многовариантную оценку запасов комплексных руд, проектирование и планирование горных работ.

Есть реальный опыт работы горно-добывающих и консалтинговых компаний, которые используют современные технологии обработки данных для существенного повышения эффективности добычи и переработки минерального сырья. Среди них следует отметить МНПО «Полиметалл», ОАО ГМК «Норильский никель», ОАО «Карельский окатыш», Михайловский ГОК, Качканарский ГОК, ОАО «Бурятзолото», ЗАО «Корякгеолдобыча», ОАО «Алданзолото», ЗАО «Высочайший», институты «Гипроникель», «Гипроруда», «Якутнипроалмаз», компания «ВИСТ Групп» и др. Эти предприятия и организации используют программное обеспечение известных мировых компаний, выполняют с его помощью блочное моделирование сложных геологических объектов, проводят многовариантную оценку запасов, проектируют на компьютерах открытые и подземные рудники с оптимизацией контуров разработки.

Государственная комиссия по запасам неоднократно рассматривала ТЭО кондиций, составленные на основе повариантного подсчета запасов методами геостатистики.

Удачными примерами такого моделирования можно признать материалы по месторождениям Джульетта (1996 г.), Тас-Юрх (1997 г.), Куранах (1999 г.), Дукал (2000 г.) и Зун-Холба (2002 г.). Вместе с тем материалы геостатистического моделирования по этим месторождениям представлялись в ГКЗ только при консультациях, на предварительной стадии. В окончательном варианте авторы исключали компьютерный подсчет из содержания ТЭО и представляли подсчет запасов, выполненный вручную, в традиционной, т.е. легко проверяемой, воспроизводимой форме.

В 2003 г. ОАО РЭП «Березовское» представило на экспертизу геостатистический подсчет запасов по золоторудному месторождению Сосновое, которое относится к 4-й группе сложности геологического строения. Из-за весьма неравномерного оруденения и допущенных методических ошибок разведки результаты геостатистического моделирования противоречили данным экспертного подсчета традиционным методом. В итоге авторы ТЭО признали правомерность подсчета запасов месторождения Сосновое, выполненного экспертами методом геологических блоков с введением коэффициента рудоносности.

Геостатистическое моделирование, расчеты вариограмм были использованы для обоснования геометрии и плотности разведочной сети на месторождениях Асачинское, Гумешевское, Покровское, а также для залежей железомарганцевых концентратов в Финском заливе. Такое моделирование является корректным при условии, что среднее расстояние между разведочными пересечениями не превышает радиус автокорреляции (влияния кригинга) для значений наиболее изменчивого подсчетного параметра (мощность или содержание) с учетом анизотропии его изменчивости. Достаточная разведанность достигается при параметрах ячейки сети вдвое меньших радиуса автокорреляции.

Горная часть ТЭО кондиций на основе компьютерного моделирования обычно не вызывает затруднений для горно-технической экспертизы при условии представ-

ления качественной и полноценной графики. Кроме того, исполнители не должны забывать, что проектирование карьера методом Лерча – Гроссмана является итерационной процедурой, где вначале не известны экономические показатели, вводимые как исходные. Поэтому после расчетов экономической части ТЭО необходимо всякий раз проверять правильность отстройки проектного контура карьера и вносить коррективы. Примером здесь служит первый вариант Покровского карьера, построенный по методу Лерча – Гроссмана; вне его контуров оказалось более 40 % балансовых запасов месторождения.

В период перехода от рутинных статистических методов к компьютерным технологиям требование тестировать данные геостатистического моделирования результатами традиционного подсчета запасов представляется необходимым. Оно не противоречит практике зарубежных горнорудных и консалтинговых компаний, которые обычно используют для контроля метод «ближайшего района».

В «Методическом руководстве по применению классификации запасов к золоторудным месторождениям» (1999 г., пункт 6.9) ГКЗ отметила достоинства блочного моделирования, но из-за названных выше причин потребовала 20 % запасов, подсчитанных по блочной модели, пересчитывать традиционным способом (методом геологических блоков, разрезов и т.п.). Проверка экспертами результатов расчета вручную позволяет оценить и достоверность основного – геостатистического способа подсчета запасов.

На сегодняшний день эксперты ГКЗ могут проводить компьютерную обработку поступающих материалов, и это существенно сокращает сроки и повышает качество экспертизы. Но пока еще нет действующих методических и нормативных документов, регламентирующих содержание, оформление и порядок представления на государственную геологическую экспертизу материалов компьютерного моделирования.

В конце 2003 г. ГКЗ были подготовлены «Методические рекомендации по пред-

ставлению материалов ТЭО кондиций и подсчета запасов на машинных носителях», но из-за организационных проблем они пока не утверждены. Рекомендации не имеют обязательной силы, поэтому недропользователи, не располагающие необходимым компьютерным оснащением, могут по-прежнему представлять материалы только в традиционной форме.

Недропользователи, освоившие технологии компьютерного моделирования месторождений, оценки запасов минерального сырья, проектирования и планирования горных работ, могут представлять на экспертизу выполненные модели (в том числе блочные), проектные разработки карьеров и подземных рудников. Для проверки обоснованности результатов моделирования необходимо соблюдать правила оформления материалов. На экспертизу должны быть представлены следующие материалы.

- База первичной геологической информации в полном объеме в форматах: MS Excel (Access) – табличные материалы; DXF – графические материалы.

- Каркасные модели рудных тел, топографии поверхности, литологических, тектонических и прочих границ (в том числе в формате DXF).

- Блочные модели месторождения (в том числе – литологическая) в формате MS Excel (Access). Файл блочной модели в этом формате должен содержать обязательные поля: координаты ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) центра блока; все показатели качества руды и коды пород.

- Параметры блочной модели: начальная точка отсчета, количество блоков по координатам  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , размеры блоков по  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

- Файлы результатов опробования месторождения с расчетом положения центров всех проб в трехмерном пространстве.

- Отчет о геостатистических расчетах вариограмм, используемых методах и параметрах интерполяции при оценке содержаний в блоках модели.

- Таблицы подсчета запасов по всем вариантам бортовых содержаний.

- Используемые макросы.

При этом должны соблюдаться следующие требования.

1. Текстовые файлы представляются на машинных носителях: CD-дисках, переносных жестких дисках (HDD), JetFlash-носителях и т.д. – с соответствующей емкостью памяти. Независимо от вида носителя, он должен обеспечивать возможность копирования информации на жесткий диск компьютера ГКЗ.

2. Текстовые документы представляются в формате MS Word или в одном из форматов, распознаваемых MS Word (при использовании нестандартных шрифтов должны прилагаться файлы с этими шрифтами). Таблицы текстовых приложений представляются в формате MS Excel или MS Access.

3. Иллюстрации текстового документа готовятся в векторном или растровом формате, распознаваемом MS Word, и должны быть вставлены в текст.

4. Графические файлы представляются на машинных носителях: CD-дисках, стриммерных лентах, переносных жестких дисках, с помощью flash-памяти соответствующей емкости и т.д. Независимо от вида носителя должна быть обеспечена возможность переписывания информации на жесткий диск компьютера ГКЗ РФ.

5. Графическая информация представляется в одном из распространенных векторном или растровом форматах; предпочтительней векторный формат с реальными трехмерными координатами. Вся графическая информация должна быть распечатана в соответствующих стандартных масштабах на качественной бумаге форматов А4-А0 в выверенном (чистовом) виде.

6. Модели месторождений и проекты горных предприятий должны быть выполнены с использованием компьютерных систем, распространенных и апробированных в мировой практике (табл.1).

Таблица 1

**Перечень компаний-разработчиков компьютерных пакетов и программ**

Название компании, страна	Название компьютерной системы
BRGM, Франция	GDM
DATAMINE (Mineral Industries Computing Ltd), Великобритания	Datamine и NPV Scheduler
GEMCOM SERVICES, Inc, Канада	GEMS и модули Whittle
KRJA SYSTEMS / MAPTEK, Австралия	VULCAN
LYNX GEOSYSTEMS, Inc, ЮАР	LYNX
MICROMINE Pty Ltd, Австралия	Micromine
MINCOM Pty Ltd, Австралия	MINESCAPE
MINESOFT Ltd, США	TECHBASE
MINTEC Inc, США	Medsystem/MineSight
SURPAC SOFTWARE INT, Австралия	SURPAC VISION
SYSTEMS INTERNATIONAL Inc, Канада	GEOSTAT

7. В соответствии с международным законодательством, предприятия должны представить сертификаты от производителей программного обеспечения, подтверждающие право его использования и квалификацию исполнителей.

8. Вместе с готовыми моделями и проектными разработками представляется полная компьютерная база данных с описанием всех файлов (назначение, перечень полей и т.д.), используемых макросов, технологии и исходных параметров каждой основной операции моделирования.

В настоящее время для ГКЗ одинаково приемлемы программные комплексы всех перечисленных компаний (табл.1). Ответственность за выбор программного комплекса, соответствующего конкретным условиям, полностью несут авторы-исполнители и заказчики-недропользователи. Как отмечалось, для выполненного компьютерного моделирования требуется обязательное подтверждение традиционным способом подсчета не менее чем 20 % запасов месторождения на представительных участках.

Целесообразно отметить и программы, разработанные для геостатистического моделирования месторождений в России

в 1990-2000 годах (GST В.А.Мальцева) и упрощенных геолого-экономических расчетов (Auga, Finplan С.Н.Таранова и др.). Их достоинством является относительная простота и адаптация к российским условиям, но они не получили распространения из-за ограниченного круга решаемых задач.

Для проведения полномасштабной экспертизы компьютерного подсчета запасов полезных ископаемых должен быть представлен следующий комплекс цифровой и текстовой информации на машинных носителях.

1. По скважинам: координаты устьев выработок; данные инклинометрии стволов; данные опробования; другие виды информации (литолого-стратиграфические колонки, данные каротажа, выход керна, гидрогеология и т.д.).

2. По поверхностным выработкам (каналам, траншеям и т.п.): каталог маркшейдерских точек по трассам выработок; данные опробования; другие данные геологической документации выработок (литология и стратиграфия пересеченного разреза, элементы тектоники и т.д.).

3. По опробованным подземным выработкам: каталог маркшейдерских точек по трассам выработок; данные опробования; другие данные геологической документации выработок (литология и стратиграфия пересеченного разреза, элементы тектоники и т.д.).

Эта информация должна вводиться в файлы для моделирования из достоверных источников, как правило, из материалов первичной документации: паспортов скважин, выработок и т.п.

Во всех компьютерных системах структура базы данных содержит так называемое *ключевое поле*; как правило, это колонка с номерами скважин или горных выработок. Распределенные в различных таблицах данные обо всех других параметрах привязываются к значениям в ключевом поле, и, соответственно, все значения в этом поле должны быть уникальными – не совпадать. Номера выработок и скважин должны быть набраны одинаковыми символами во всех таблицах, где они приводятся.

Таблица с координатами устьев скважин может содержать сколько угодно колонок с информацией, относящейся к конкретной скважине: тип скважины, стадия разведки, год бурения, номера буровых линий, рудных тел, подсчетных блоков и т.д. (табл.2).

Таблица 2

Координаты устьев скважин						
Номер скважины	Координата, м			Глубина скважины, м	Буровая линия	...
	X	Y	Z			
C125	1258,3	3562,8	251,3	125,6	3	...
C126	1326,9	3251,0	253,4	130,0	3	...
C127	1452,9	3725,6	252,7	50,8	3	...

Данные инклинометрии заносятся в соответствующую таблицу из буровых журналов (табл.3).

Таблица 3

Данные инклинометрии скважин			
Номер скважины	Расстояние от устья до точки замера, м	Азимут, град.	Вертикальный угол, град.
C125	0	45,1	0
C125	10	46,6	1
C125	20	46,8	3

В таблицу результатов опробования вводят данные из буровых журналов и журналов опробования скважин. Если проба анализировалась двумя и более способами (например, пробирным, атомно-адсорбционным и т.д.), то данные по каждому виду анализа заносятся в отдельное поле (колонку). Качественная информация (например, о природном типе руды) может кодироваться числами (табл.4).

Данные о литологии рудовмещающей толщи должны иметь в таблицах формализованный вид, обеспечивающий построение литологических границ в трехмерном пространстве (табл.5). Литологические подразделения должны быть по возможности укрупнены для упрощения увязки границ между разрезами.

Координаты бороздовых проб должны быть привязаны к каталогу маркшейдерских точек по трассам выработок. Как правило, первая маркшейдерская точка фиксирует координаты устья выработки; если линия опробования начинается не от первой маркшейдерской точки, требуется указывать расстояние от нее.

Для маркшейдерских точек в подземных и поверхностных выработках необходима следующая информация: положение

Таблица 4

Результаты опробования скважин

Номер скважины	Номер пробы	Интервал, м		Содержание компонентов			Выход керна, %	Тип руды	Рудное тело	...
		От	До	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %				
C125	1011	0	1	0,23	0,2	0,8	70	2	3	...
C125	1012	1	2	1,5	0,3	0,3	80	2	2	...
C125	1013	2	3	1,3	0,2	0,3	70	2	2	...

Таблица 5

Литологические и другие характеристики (стратиграфия, тектоника, картаж, гидрогеология, геомеханические параметры и т.п.)

Номер выработки	Интервал, м		Символьный код породы	Цифровой код породы	Краткое описание	...
	От	До				
C125	0	10	P	1	Песчаники	...
C125	10	15,2	PA	2	Переслаивание песчаников и алевролитов	...
C125	15,2	16,0	A	3	Алевролиты	...

точки – в подошве, кровле или на стенке выработки; размеры выработок в сечении (высота и ширина подземных выработок, ширина и глубина канав, траншей); на какой высоте от почвы выработки отбирались пробы; положение начальной точки опробования по линии относительно первой маркшейдерской точки выработки. Данные по маркшейдерским точкам по всем выработкам сводятся в одну таблицу (табл.6).

Таблица 6

**Каталог маркшейдерских точек подземных и поверхностных выработок**

Номер выработки	Номер точки	Координата точки, м		
		X	Y	Z
ОЗНЕ	25	1246,8	3312,3	201,0
ОЗНЕ	26	1250,2	3312,4	201,0

Таблица с данными опробования выработок (табл.7) по построению аналогична таблицам опробования в скважинах (см. табл.4).

В итоге в компьютер будет введена практически вся первичная информация (текстовая/табличная) – данные геологической документации и опробования, в наиболее подходящем для обработки формате. В колонках (полях), имеющих числовой формат, не должны содержаться данные

в ином формате (текстовом или формате даты); при импорте в горные пакеты такая информация может теряться. При настройке программы Excel по умолчанию такие данные сразу заметны по смещению к левому краю ячейки, цифровая информация выравнивается по правому краю.

Таблица 7

**Результаты опробования в горных выработках**

Номер выработки	Номер пробы	Интервал, м		Содержание компонентов			Тип руды	Рудное	...
		От	До	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %			
ОЗНЕ	723	0	1	2,50	0,2	-	2	3	...
ОЗНЕ	724	1	2	3,5	0,3	-	2	2	...
ОЗНЕ	725	2	3	10,2	0,2	0,3	2	2	...

Разработанные «Методические рекомендации ...» обобщают накопленный в России опыт использования информационных технологий в геологии и горном деле и направлены на повышение эффективности экспертизы материалов ТЭО и подсчета запасов минерального сырья. Государственная комиссия по запасам будет признательна специалистам, геологам и горнякам, за любые замечания и предложения, которые помогут улучшить качество этого документа.