

ПОЭТАПНАЯ ЗАВЕРКА ПРИ ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ РЕСУРСОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н.В. Баряцкая, Н.Г. Сафронова

Общество с ограниченной ответственностью «Геологическая сервисная группа», ул. Остафия Дашкевича, 20, г. Черкассы, 18002, Украина, e-mail: VariatskaN@gmail.com

Дан анализ методов и приемов поэтапной заверки результатов трехмерного моделирования и оценки ресурсов, применение которых рассматривается на конкретных примерах месторождений рудных полезных ископаемых. Из предлагаемых методов может быть сформирован набор проверок, обеспечивающих необходимый уровень достоверности результатов, в зависимости от геологических особенностей и области применения трехмерной модели месторождения.

Ключевые слова: геостатистика, трехмерное моделирование месторождений, оценка ресурсов.

В последнее время трехмерное геостатистическое моделирование стало неотъемлемой частью геологической разведки, оценки ресурсов и эксплуатации рудных месторождений во всем мире. С учетом природной сложности геологических объектов, в частности рудных месторождений, модель, созданная на основе ограниченного набора данных, не может быть истинной. Она должна отражать отдельные свойства, параметры, характеристики объекта с достоверностью, достаточной для решения конкретных практических задач. При этом важно четко понимать область применения модели. Так, модель, построенная по данным бурения по редкой разведочной сети, вряд ли может стать основой горного планирования, но ее вполне можно использовать для оценки перспективности месторождения, целесообразности его дальнейшего изучения, а также составления программы бурения следующего этапа геолого-разведочных работ.

При выполнении моделирования и оценки ресурсов рудных месторождений важным аспектом является поэтапный контроль качества выполняемых операций, а также корректности построенной модели в целом. Вместе с развитием геостатистических методов развивались и методы оценки достоверности полученных результатов [1, 3, 8, 9, 10]. Большинство опубликованных работ в этой сфере касается заверки результирующей блочной (ресурсной) модели месторождения.

Цель статьи — анализ методов и приемов заверки результатов каждого из этапов трехмерного моделирования и оценки ресурсов месторождений рудных полезных ископаемых. В качестве примеров рассматриваются трехмерные модели месторождений, созданные в среде Micromine.

Трехмерное геостатистическое моделирование осуществляется посредством последовательного выполнения следующих основных этапов:

- ✓ создание базы данных;

- ✓ геологическая интерпретация, построение геометрической модели (каркасное моделирование);
- ✓ статистический анализ;
- ✓ композитирование, оконтуривание и каркасное моделирование рудных тел;
- ✓ геостатистические исследования;
- ✓ блочное моделирование;
- ✓ оценка ресурсов методом геостатистического моделирования.

В процессе моделирования должна быть обеспечена возможность проверки каждого этапа. Далее рассмотрим методы заверки результатов для каждого из перечисленных этапов обработки информации.

Создание базы данных. Достоверность блочной модели прежде всего зависит от качества и полноты исходных материалов. При этом особое внимание следует уделять правильным методическим подходам на всех стадиях и для всех видов работ: разведочных, топографо-геодезических, опробования, химико-аналитических, контроля качества, первичной обработки полевых материалов, составления баз данных, унификации названий горных пород и т. д.

Подробное рассмотрение оценки качества исходных данных не является предметом данной статьи, но с учетом общепризнанных международных требований можно ориентироваться на таблицу контрольных критериев (JORC Table 1 — checklist of assessment and reporting criteria), которая содержит в том числе критерии оценки исходных данных [7].

База исходных данных (data base) рудных месторождений обычно состоит минимум из 4 файлов, связанных между собой номером выработки (рис. 1): Collar содержит информацию про координаты устья и глубину каждой выработки, Inclination — про расположение выработок в пространстве, Assay — данные интервалов опробования и результаты лабораторных анализов, Geology (Lithology) — описание керна скважин (интервалов пород в

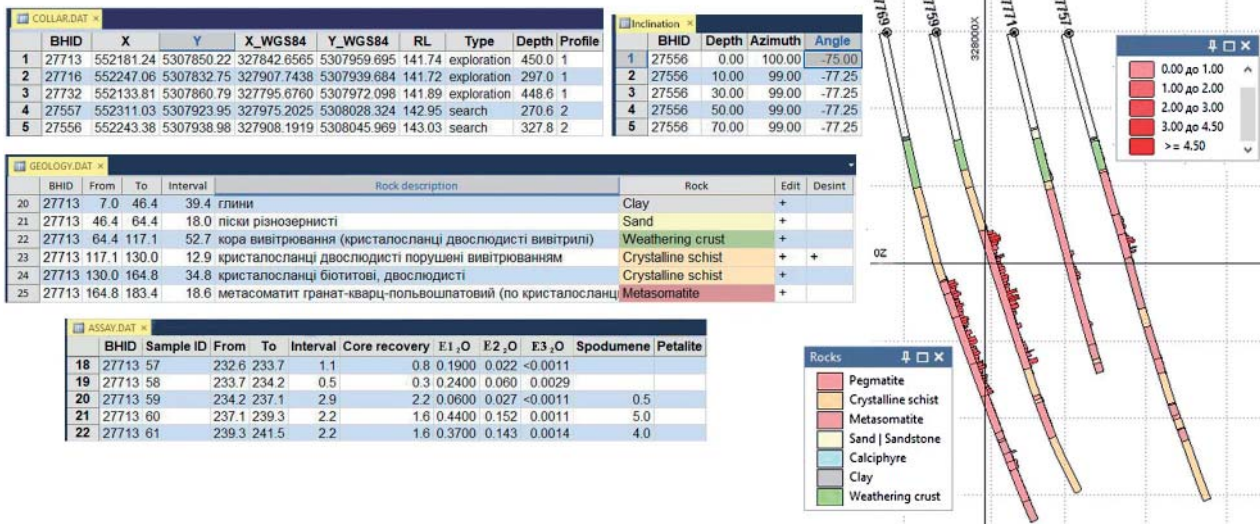


Рис. 1. Пример базы данных — структура таблиц, визуализация
Fig. 1. Database example — table structure, visualization

шурфах, траншеях). Все виды горных пород должны быть унифицированы и разделены на основные литологические (петрографические) разновидности с соответствующей цветовой кодировкой (рис. 1).

Современные специализированные геоинформационные системы позволяют автоматически проверить базу данных на наличие критических ошибок, например: отсутствие какой-либо основной информации о расположении скважины (одной из координат, глубины, азимута или угла бурения); перекрытие интервалов опробования или геологического описания пород; глубина скважины меньше глубины взятия последней пробы или интервала пород и т. д.

При проверке исходных данных можно использовать такие приемы, как определение максимального и минимального значений каждого параметра для исключения отрицательных и заведомо высоких значений. В некоторых случаях целесообразно проверить значения суммы нескольких компонентов, которая не может превышать 100 % (например, компоненты химического состава горных пород и руд, гранулометрического состава и т. д.).

Ошибки первичных геологических материалов и ошибки ввода данных устраняются путем визуализации исходных табличных данных, а также их сопоставлением с соответствующей графикой и изображениями, привязанными в двух- или трехмерном пространстве. При этом выявляются наиболее грубые и очевидные ошибки в параметрах расположения выработок (координатах, инклинометрии), а также в содержаниях, названиях горных пород и т. д.

Важным этапом контроля качества исходных данных для моделирования является так называемый анализ QAQC (Quality assurance/Quality control — обеспечение качества/контроль качества), который касается, в основном, опробования

и лабораторных работ и включает такие процедуры:

- внешний и внутренний контроль лабораторных анализов;
- построение графиков с результатами дубликатов аналитических проб;
- проведение анализа стандартных проб (standard samples), как правило, сертифицированных по международным стандартам;
- выполнение анализов и графическая визуализация холостых проб (blanks) с «нулевыми» содержаниями полезного компонента.

Геологическая интерпретация, каркасное моделирование. При отсутствии литологического контроля оруденения рудные тела оконтуривают по естественному (природному) бортовому содержанию (natural cut-off grade), которое заведомо ниже промышленного. При наличии литологического контроля сначала выполняют оконтуривание пород, вмещающих оруденение, и создают геометрическую (каркасную) модель месторождения (wireframe model).

Геологическая интерпретация проводится оконтуриванием геологических тел в профилях с использованием литологических колонок, построенных вдоль трасс скважин в соответствии с разработанной легендой (рис. 2). При отсутствии литологического контроля вместо колонок применяются композитные пробы, созданные с учетом естественного бортового содержания.

Основные принципы оконтуривания, в том числе выклинивания тел в разрезе и плане, должны быть одинаковыми для всего месторождения.

Контуры, созданные на этапе интерпретации, объединяют в объемные каркасы, образующие геометрическую (каркасную) модель месторождения (рис. 3).

Для контроля качества каркасного моделирования необходимо выяснить число интервалов вмещающих пород (или проб с содержанием ниже

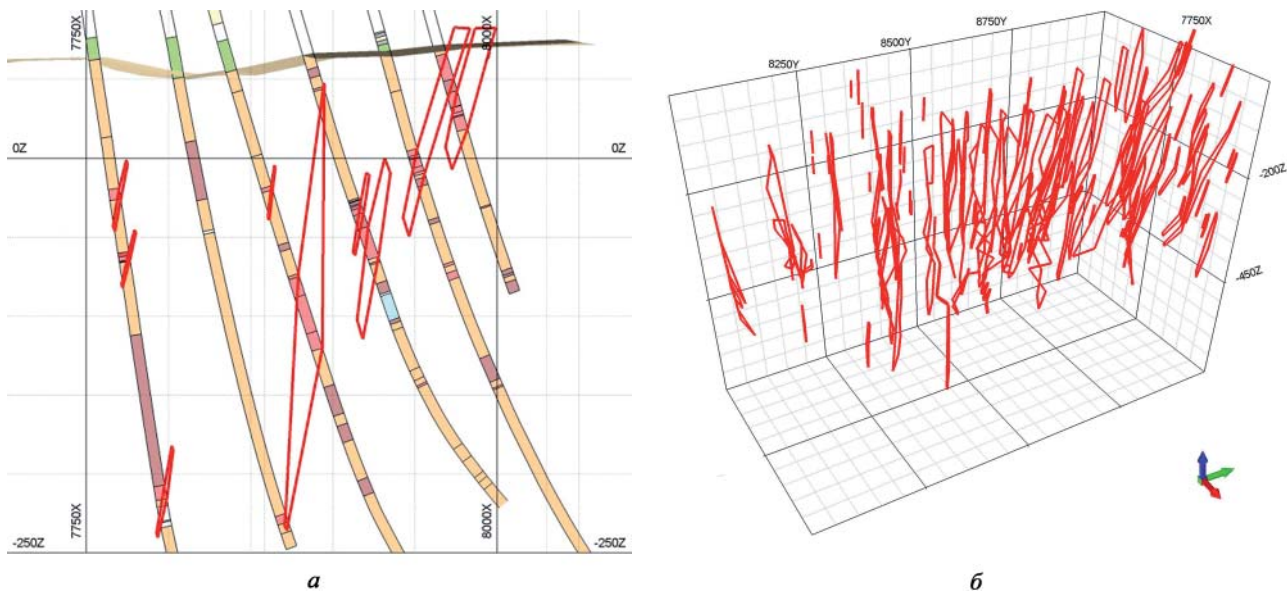


Рис. 2. Оконтуривание геологических тел в профиле (а), контуры интерпретации в 3D (б) [2]
 Fig. 2. Delineation of geological bodies in profile (a), interpretation contours in 3D (b) [2]

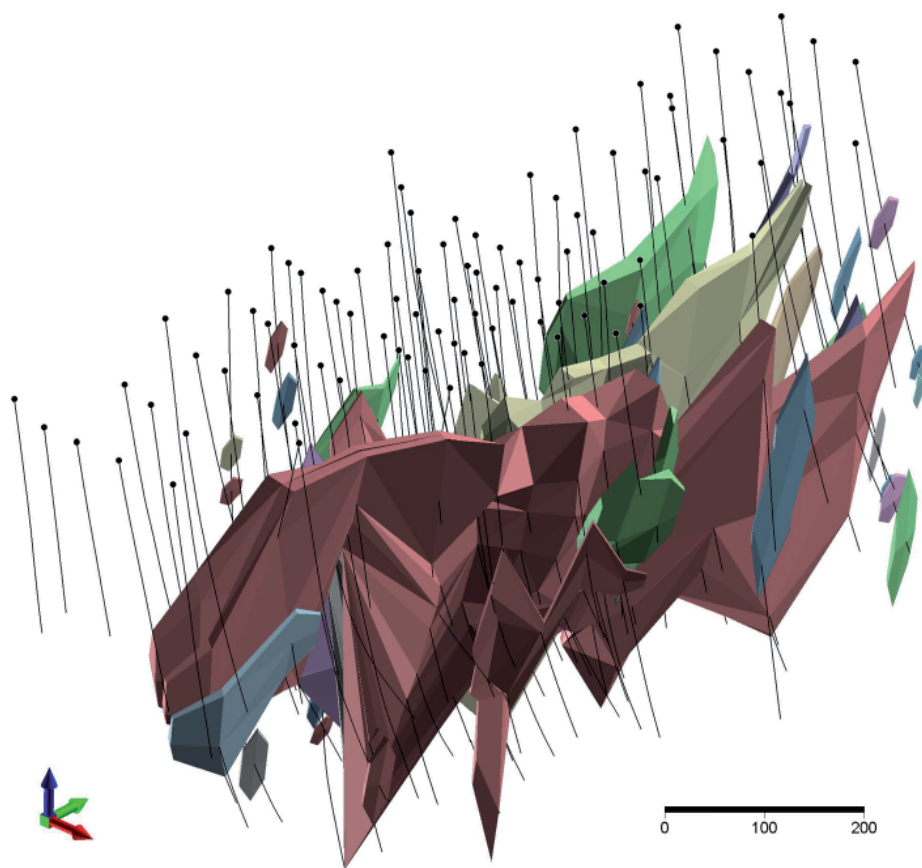


Рис. 3. Каркасная модель [2]
 Fig. 3. Wireframe model [2]

естественного бортового) внутри каркаса и за его пределами. Кроме того, каркасы не должны иметь ошибок триангуляции, незамкнутых контуров, самопересечений и т. д. (проверка выполняется встроенными функциями автоматически).

Статистический анализ. Решают такие задачи:

- ✓ определение распределения содержаний полезного компонента;
- ✓ получение соответствующих статистических параметров;

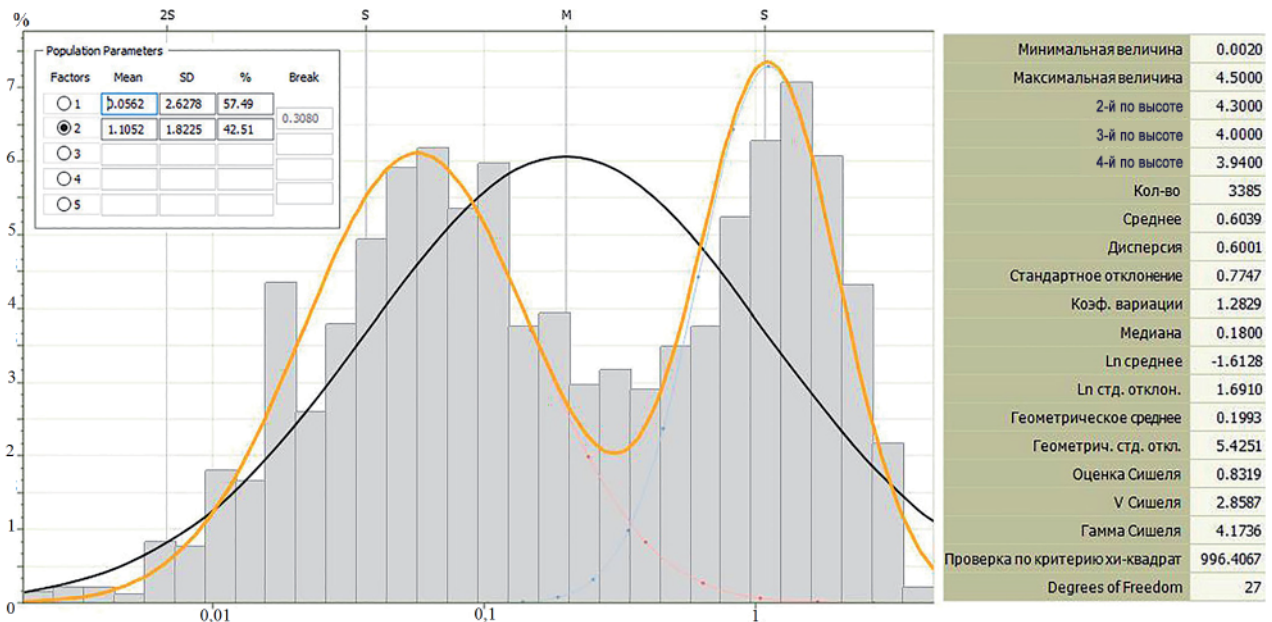


Рис. 4. Гистограмма содержаний в пределах геологических тел, параметры декомпозиции
 Fig. 4. Histogram of grades within geological bodies, decomposition parameters

✓ оценка необходимости разделения совокупностей (популяций) содержаний при наличии более чем одной статистически обоснованной совокупности.

Часто распределение полезного компонента в пределах каркасной модели, созданной по литологии или «естественному» бортовому содержанию, показывает наличие двух или более популяций (совокупностей), которые могут быть интерпретированы как рудные и безрудные. В таком случае необхо-

димо определить параметры популяций, в том числе значение, по которому их можно разделить (рис. 4).

Для оконтуривания рудных тел необходимо создать композитные пробы (рудные интервалы) с обоснованными параметрами кондиций. Принципы и методика оконтуривания рудных тел аналогичны принципам и методикам оконтуривания пород, но в данном случае создают композитные пробы и получают каркасную модель рудных тел, которая вложена в каркасную модель геологических тел (рис. 5).

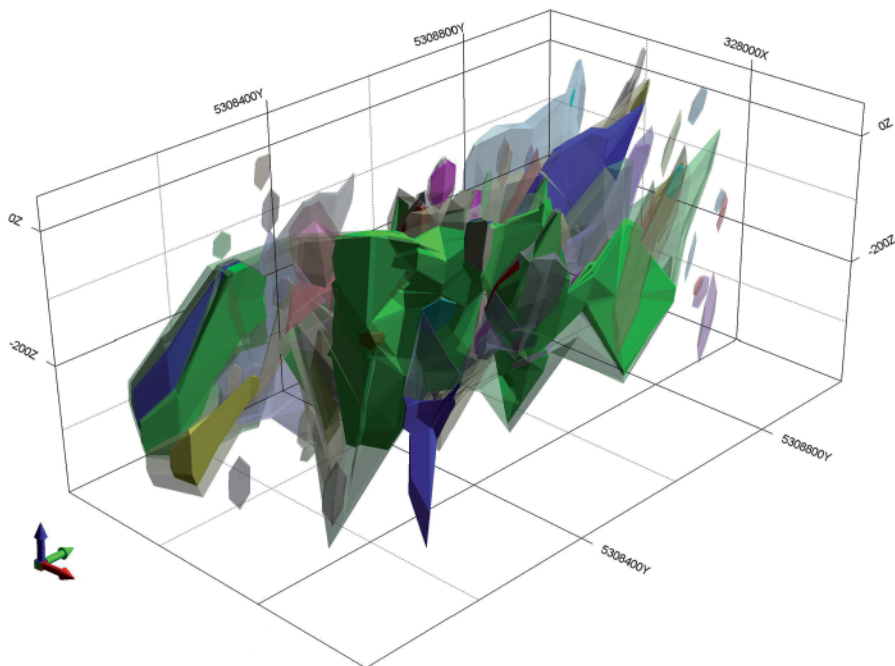


Рис. 5. Каркасная модель рудных тел, вложенная в каркасную модель геологических тел [2]

Fig. 5. Wireframe model of ore bodies included in a frame model of geological bodies [2]

Качество оконтуривания рудных тел проверяется выявлением рудных интервалов, которые не попали в каркасы рудных тел, а также безрудных интервалов, оказавшихся внутри каркасов.

Повариантная оценка ресурсов может выполняться в каркасах, отстроенных по каждому из предлагаемых вариантов кондиций. В таком случае обязательно соблюдение принципа вложенных каркасов. Так, каркас с более высоким бортовым содержанием не может выходить за пределы каркаса с более низким бортовым содержанием, каркасы рудных тел не могут выходить за пределы каркасов геологических тел и т. д. [4]. Проверку можно выполнять автоматически вычитанием каркасов.

Ограничение влияния «ураганных» содержаний. Оно необходимо, чтобы компенсировать непредставительность выборочных данных опробования, участвующих в оценке ресурсов, по отношению к природному распределению содержаний полезного компонента в пределах месторождения.

Ураганное содержание (top-cut grade) — это наблюдение, которое представляется непоследовательным или аномальным значением среди подавляющего большинства значений данных. В отдельных случаях 10 % самых высоких содержаний могут представлять 90 % или более от общего количества металла на месторождении, а 1 % самых высоких содержаний проб — до 10 % металла. Кроме того, ураганные содержания вносят существенные изменения в статистические параметры, включая среднее и дисперсию, что влияет и на вариограммный анализ.

Для определения уровня ураганных содержаний часто применяют графические методы с использованием гистограмм, кумулятивных кривых, графиков вероятности и анализа децилей (рис. 6). Среди других наиболее распространенных методов следует отметить метод Когана и использование перцентиль-функции.

Иногда пробы с ураганными содержаниями выделяют в определенные структуры (домены). В таких случаях необходимо провести выконтуривание зон с высокими содержаниями в отдельные рудные тела, чтобы в дальнейшем при оценке блочной модели использовать их для ограничения влияния на участки с более низкими содержаниями.

Нужно помнить, что уровень ураганных содержаний должен быть одинаковым для разных вариантов оценки ресурсов месторождения, в том числе традиционных, при их сопоставлении.

Уровень ураганных содержаний необходимо определять несколькими методами с последующим сравнением результатов. Влияние высоких содержаний на общее количество металла оценивается путем сравнения результатов оценки ресурсов с подавлением ураганных содержаний и без подавления, а также сопоставлением статистических параметров. Следует также проанализировать локальное влияние высоких содержаний на соседние блоки.

Композитирование. Это метод декластеризации, обеспечивающий сопоставимость влияния проб с разной длиной на статистические оценки. Он заключается в предварительном пересчете содержаний

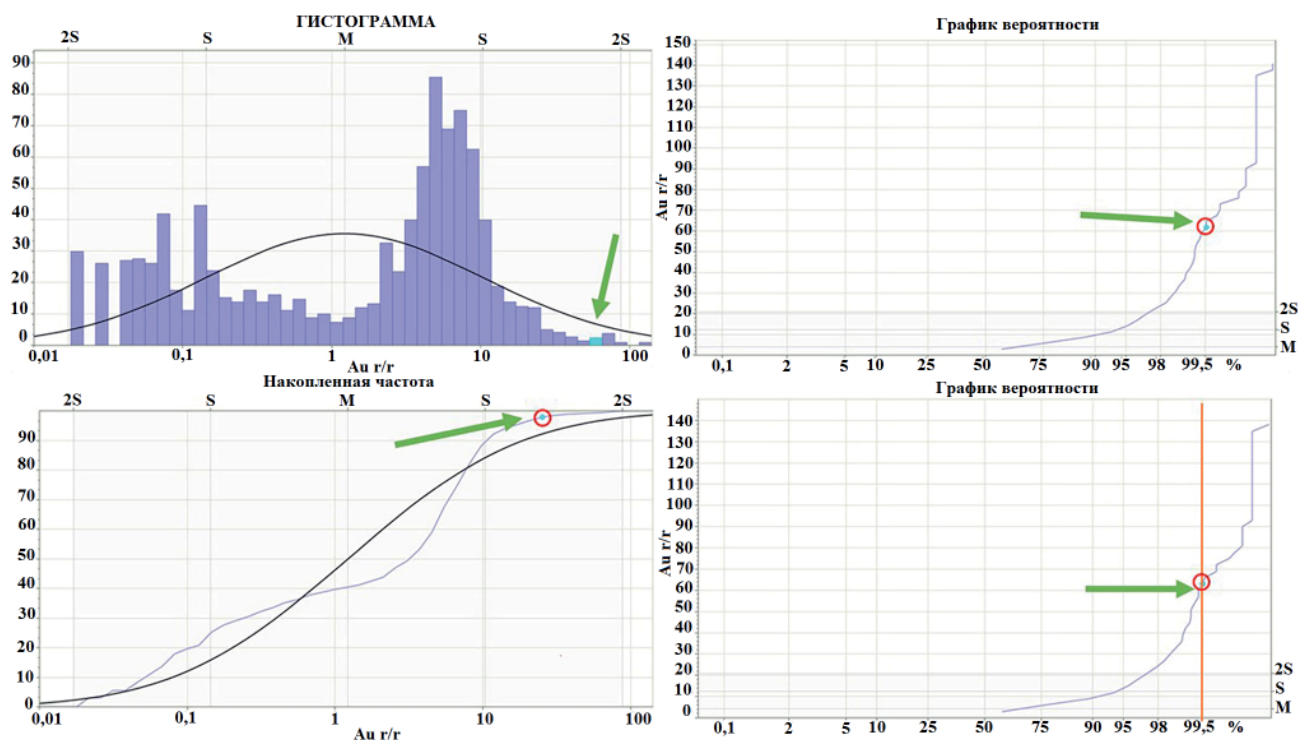


Рис. 6. Графическое определение ураганных содержаний [6]

Fig. 6. Graphic pointing of top-cut-grade [6]

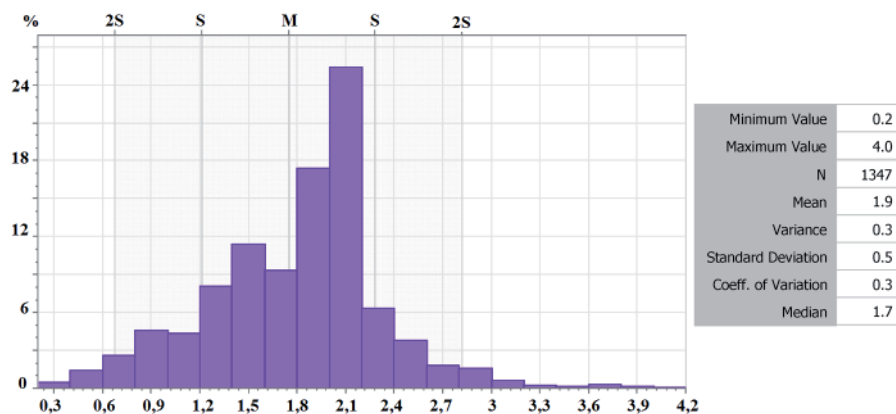


Рис. 7. Гистограмма длин проб месторождения, основные статистические параметры
 Fig. 7. Histogram of sample lengths of deposit, the main statistical parameters

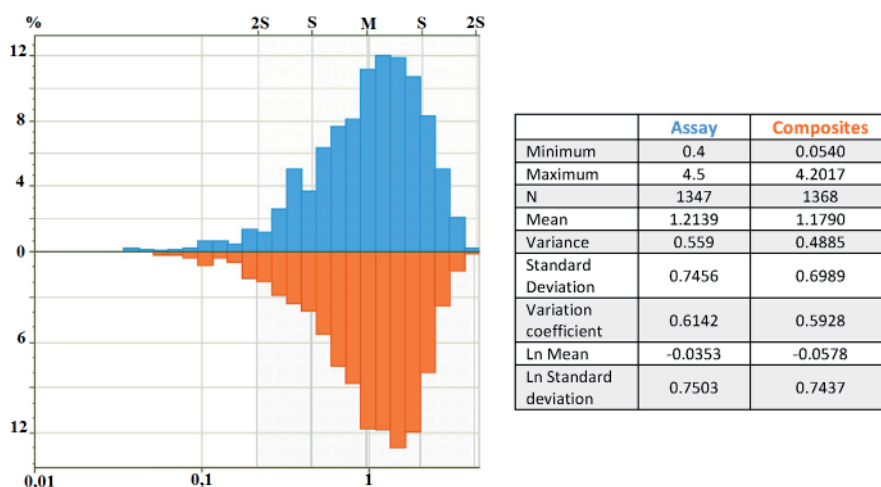


Рис. 8. Распределение содержаний по пробам и рудным интервалам (композитам)
 Fig. 8. Content distribution of the samples and ore intervals (composites)

полезного компонента на интервалы фиксированной длины. Процедура необходима для того, чтобы избежать смещения оценок средних по выборкам проб при работе с их первичными размерами.

Оптимальной длиной композитных проб (composites, composite samples) обычно является средняя длина проб по месторождению, ее определяют на основе статистического анализа длины проб (гистограммы и соответствующих статистических параметров). Необходимо учитывать наиболее часто встречающуюся длину проб, а также среднее по выборке (рис. 7).

Композитирование приводит к изменению статистических характеристик распределения изучаемого параметра, в частности, к уменьшению дисперсии, изменению среднего, анизотропии. Качество композитирования определяется минимизацией влияния этой процедуры на статистические показатели распределения. Качество операции проверяют путем сравнения распределения содержаний и статистических параметров по исходным данным и по композитным пробам (рис. 8).

Блочное моделирование. Заключается в создании пустой блочной модели рудных тел путем заполнения блоками трехмерных каркасов. Размер материнских (родительских) блоков модели (parent blocks) выбирается в зависимости от размеров рудных тел, разведочной сети и проектируемой системы разработки. Для более точного отображения формы каркасов используется метод субблокирования (sub-blocking).

Выбор оптимальных размеров материнских блоков блочной модели и параметров субблокирования проверяют, сравнивая объемы блочной и каркасной моделей.

Геостатистический анализ (анализ вариограмм). Выполняется при изучении пространственной неоднородности минерализации и расчете входных параметров для оценки содержаний методом кригинга. Пространственная изменчивость переменной характеризуется функцией — вариограммой. В частности, при построении направленных полувариограмм для определения осей анизотропии выявляются закономерности изменчивости содержаний

полезных компонентов в пробах от расстояния. Вариограммы строят по трем основным направлениям изменчивости рудного тела. Они ориентированы по мощности, падению и простиранию рудного тела, соответствующих минимальной и максимальной изменчивости.

В свойствах вариограмм важны такие характеристики: радиус влияния пространственной переменной, анизотропия ее пространственной изменчивости; эффект самородков. Построение вариограмм и определение других параметров необходимо выполнять для каждого домена отдельно.

Интерполяция содержаний полезного компонента.

С помощью эллипсоида интерполяции определяют границы (объем) пространственной зоны, в пределах которой находятся данные, используемые для интерполяции. Параметры интерполяции выбирают в зависимости от параметров вариограммы, разведочной сети и особенностей распределения полезного компонента.

Для каждого рудного тела интерполяция выполняется отдельно на основе композитных проб с разными параметрами поиска (радиусы, минимальное количество проб и выработок и т. д.), которые соответствуют разным категориям ресурсов (measured, indicated, inferred) [7].

При выборе параметров интерполяции учитывается степень контрастности оруденения. Так, при резко контрастном оруденении необоснованное использование поискового эллипсоида с большими размерами осей приведет к неоправданному усреднению пространственной переменной (содержаний полезных компонентов) в ячейках блочной модели и искажению результатов оценки запасов.

В качестве процедуры, оценивающей качество предлагаемой вариограммы и параметров интерполяции, обычно применяют кросс-проверку (cross-validation). Она заключается в последовательном исключении из массива исходных данных конкретной пробы и расчете ее параметров интерполяцией содержаний в окружающих пробах с использованием теоретической вариограммы и предлагаемых параметров интерполяции. Между массивом исходных данных и теоретически рассчитанных вычисляют коэффициент корреляции, оценивают систематическую ошибку расчетных данных, проводят сравнение дисперсий. На основании анализа делают вывод о качестве предлагаемой процедуры интерполяции и выполняют корректировку параметров.

Заверка блочной (ресурсной) модели (resource model). Вряд ли можно рассчитывать, что созданная трехмерная модель точно отображает месторождение. Вместе с тем она должна достаточно строго отображать исходные данные, а также соответствовать представлениям о распределении рудной минерализации и геологическом строении месторождения (геологической интерпретации).

Заверка блочной модели выполняется на *локаль-*

ном и глобальном уровнях. Для локальной проверки используют визуальное сравнение блочной модели со значениями в пробах, для глобальной — сопоставляют гистограммы, графики, статистические параметры блочной модели и композитных проб.

Согласно Дж. Кумбс [8, 9], минимальный набор проверок на критические ошибки, которые могут быть допущены в процессе моделирования, состоит из четырех основных шагов (так называемая «проверка по четырем контрольным точкам» — four-point model validation), а именно: сравнение базовой статистики, сравнение гистограмм, построение графиков swath и визуальной проверки.

Сравнение базовой статистики. Ресурсная модель в целом должна отражать основные содержания в выборке данных опробования. Основные содержания данных опробования могут быть сведены к значениям среднего, моде, медиане и т. д. Из этого набора статистических параметров складывается ожидаемое среднее содержание в блоке. Во всех доменах полученное среднее должно быть сходным с исходным средним (рис. 9). Для корректного сравнения используют следующие основные принципы:

- сравнение выполняется по доменам, выделенным по принципу наличия одной статистически представительной популяции;
- в сравнении должны использоваться содержания с порогом ограничения по ураганым значениям (если он применялся);
- статистические параметры рассчитываются по декластеризованным данным;
- среднее содержание по модели либо взвешено на объем блока, либо учитывается только по родительским (материнским) блокам оценки.

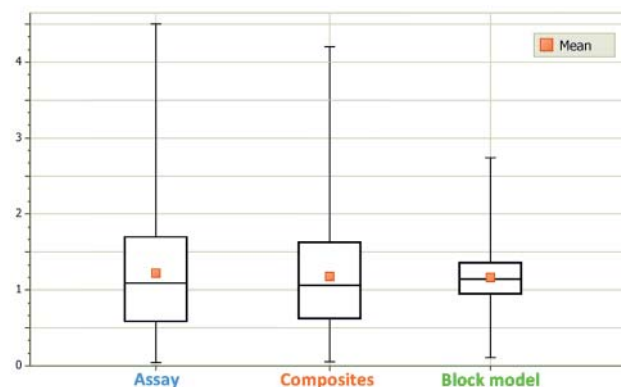


Рис. 9. Сравнение статистических параметров с помощью диаграммы размаха («ящик с усами»)

Fig. 9. Comparison of statistical parameters using a box-and-whiskers plot

Сравнение гистограмм. Процесс интерполяции обладает сглаживающим эффектом, поскольку оценка содержания в каждом блоке модели представляет собой средневзвешенное значение по содержаниям в близлежащих пробах. Увеличение размера блока и количества проб, участвующих в оценке, усиливает

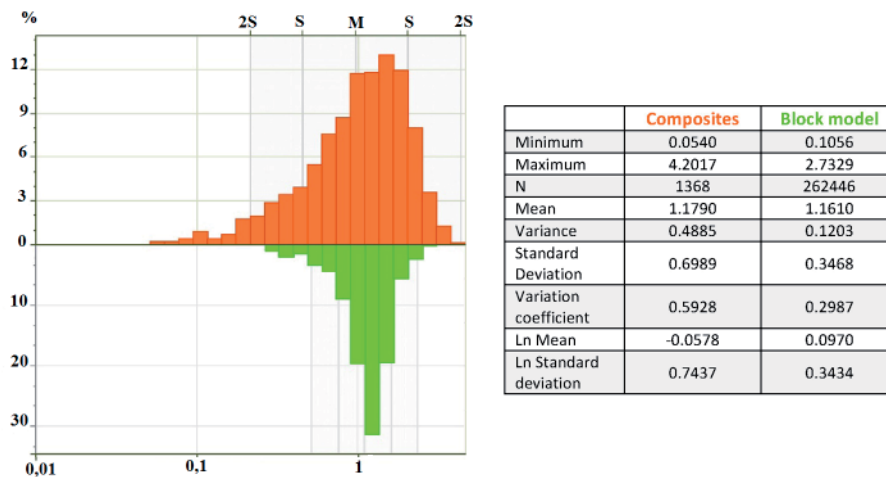


Рис. 10. Сравнение гистограмм содержаний опробования и композитных проб
 Fig. 10. Comparison of grade histograms for sampling and composites

этот эффект. В каждом домене полученная форма должна быть сходной с формой исходной гистограммы, с определенной степенью выполаживания и нормализации. Как правило, распределение содержаний в пробах отличается большей асимметрией, чем распределение в блочной модели (рис. 10).

Построение графиков заверки блочной модели (Swath plot). Графики используют для сравнения трендов данных опробования и рассчитанных значений блочной модели. Метод Swath plot представляет собой графическое изображение распределения содержаний по серии зон или полос, построенных на всю глубину месторождения в нескольких направлениях [5]. На графике содержания в этих полосах сравниваются с содержаниями в композитных пробах и расчетными содержаниями в блоках, полученными с помощью разных методов (рис. 11). На участках с большей степенью корреляции ресурсы определяются с большей достоверностью. Заверочные графики позволяют сравнивать исходные данные и интерполированные значения для определения погрешности в сторону недооценки, переоценки, а также выявлять степень сглаживания содержаний. Также можно сравнить эффект различных параметров и методов оценки.

Визуальная проверка. Позволяет сопоставить оцененные содержания и исходные аналитические данные, выполняется путем сравнения в планах и разрезах с помощью одновременного выведения в просмотр среза блочной модели и результатов опробования (рис. 12). Содержания в блоке должны отражать локальные содержания в скважине и визуально соответствовать границам минерализации. Следует иметь в виду, что влияние сильно различающихся содержаний полезного компонента в

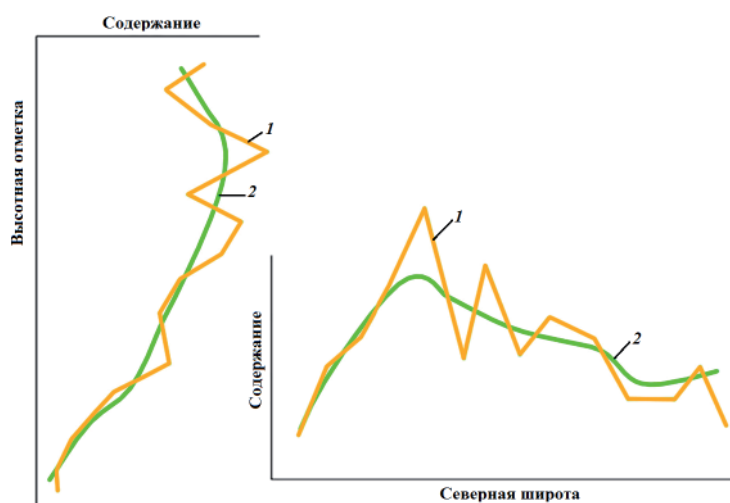


Рис. 11. Сравнение средних содержаний по опробованию (1) и по блочной модели (2) с помощью метода Swath Plot [1, 9]

Fig. 11. Comparison of mean grades of samples (1) and block model (2) using Swath Plot [1, 9]

соседних разрезах или погоризонтных планах может приводить к повышенным или заниженным значениям по отношению к исходным данным вследствие интерполяции.

Визуальная проверка позволяет оценить влияние богатых проб на содержания в блоках модели, при этом необходимо обращать внимание на экстраполяцию высоких содержаний. В дополнение к этому важно удостовериться, что степень сглаживания содержаний в блоках модели адекватно отражает интервал содержаний и что модель можно использовать, в частности, для планирования горных работ. В результате визуальной проверки можно также выявить недооцененные участки (например, между разрезами).

Кроме уже упомянутых целесообразно проводить дополнительные проверки, которые включают в себя: построение диаграмм рассеяния содержаний в модели против данных опробования, квантиль-

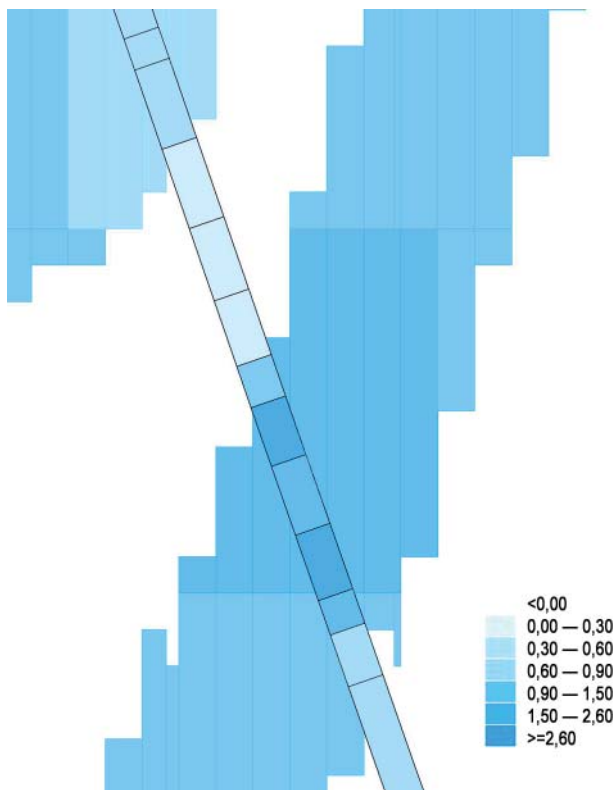


Рис. 12. Визуальная проверка блочной (ресурсной) модели
 Fig. 12. Visual checking of block (resource) model

квантиль графиков; сравнение с теоретическим математическим ожиданием; анализ чувствительности; блочные модели неопределенности и др.

Для заверки качества предлагаемой процедуры интерполяции часто используются оценка эффективности кригинга и линия регрессии. Под эффективностью кригинга понимается соответствие между гистограммой рассчитанных содержаний в оцениваемом блоке блочной модели и гистограммой истинных содержаний в этом же блоке. Ее оценка дает понятие о степени точности модели. По линии регрессии оценивают соответствие между оценочными и истинными содержаниями в блоках блочной модели. Когда линия регрессии имеет угол наклона 45° , это свидетельствует о полном совпадении исходных данных опробования и расчетных данных в оцениваемом блоке.

Сравнение результатов оценок минеральных ресурсов при использовании других методов, в том числе традиционных, а также результатов эксплуатационной разведки и добычи. При сравнении значений содержаний в оцениваемых блоках по выбранной методике со значениями содержаний, полученными с использованием альтернативных методик оценки, нужно принимать во внимание основные параметры оценки (направление и радиусы эллипсоида поиска), размер блока, минимальное и максимальное число проб, минимальное число скважин, включенных в оценку, длину композита, домены содержаний, дискретизацию и т. д. Так, сравнивают результаты ин-

терполяции содержаний с помощью различных методов, в том числе кригинга (kriging) и метода обратных расстояний (IDW — Inverse Distance Weighting). Это позволяет, во-первых, избежать критических ошибок в процессе интерполяции, во-вторых, определять методику, наиболее подходящую для конкретного месторождения.

При выполнении повариантной оценки ресурсов необходимо выполнить анализ изменения параметров среднего содержания и тоннажа от бортового содержания на графике и объяснить характер зависимости.

При сравнении с результатами предыдущих оценок минеральных ресурсов следует обращать особое внимание на изменение вводных данных: аналитические данные, методы и параметры интерполяции и т. д. Если изменения незначительны, то сравнение результатов двух оценок может оказаться полезным для заверки результатов новой оценки (или, наоборот, указать на недостоверность одного из вариантов).

Критерием качества сопоставления результатов блочного моделирования и подсчета запасов традиционными методами является степень совпадения основных подсчетных параметров: запасов руды и полезного компонента, его среднего содержания.

Сопоставление результатов оценки ресурсов с данными эксплуатационной разведки на разрабатываемых месторождениях определяет степень качества выполненной оценки. Также показательно сравнение фрагментов модели с объемами добычи и переработки, но при этом нужно стремиться максимально учитывать разубоживание, потери руды и пустой породы, потери при переработке руды на фабрике.

Как можно видеть, инструменты и методические подходы для сверки результатов каждого из этапов блочного моделирования месторождений рудных полезных ископаемых достаточно многочисленны и разнообразны. Количество процедур проверки на различных этапах моделирования, а также их выбор для конкретного объекта зависит от особенностей месторождения, методики моделирования и т. д. Основной целью такого контроля является обеспечение необходимого уровня достоверности результатов моделирования в зависимости от поставленных задач.

Список библиографических ссылок

1. Альмендингер О. Методы заверки ресурсной модели. Возможности и ограничения. <https://www.micromine.ru/metodi-zaverki-resursnoy-modeli-minex-2018/> (дата обращения 22.01.2019).
2. Баряцька Н.В., Гейченко М.В., Сафронова Н.Г. Основні етапи тривимірного моделювання на прикладі Шевченківського родовища літєвих руд. *V Міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (м. Трускавець, 8–12 жовтня 2018 р.)* Матеріали конференції. Том I. Київ, 2018. С. 211–217.

3. Белоус А.И., Ивкин В.М. Оценка достоверности подсчета запасов минерального сырья горных предприятий. *Разведка и охрана недр*. 2007. № 2—3. С. 87—94.
4. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. Москва: ГКЗ России, 2014. 86 с.
5. Шульга А. Построение Swath Plot. <https://www.micromine.ru/swath-plot> (дата обращения 22.01.2019).
6. Живулько А. Подавление ураганных содержаний при оценке минеральных ресурсов. <https://www.micromine.ru/qa-qc-quality-control/> (дата обращения 22.01.2019).
7. Australian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. Perth: Joint Ore Reserves Committee, 2012. p. 44.
8. Coombes J. The art and science of resource estimation. A Practical Guide for Geologists and Engineers. Perth: Coombes Capability, 2008. 232 p.
9. Coombes J. Validation of Resource Models — Myths, Materiality and Modern Approaches. *Project Evaluation Conference 2009* (Melbourne, Australia). 21—22 April 2009. Perth: Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication, 2009. N 3. P. 211—216.
10. Webster R. Mineral resource validation. <https://amcconsultants.com/experience/mineral-resource-validation/> (дата обращения 22.01.2019).

Поступила в редакцию 01.02.2019 г.

ПОЕТАПНА ПЕРЕВІРКА ПРИ ТРИВИМІРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТА ОЦІНЮВАННІ РЕСУРСІВ РУДНИХ РОДОВИЩ

Н.В. Баряцька, Н.Г. Сафронова

Товариство з обмеженою відповідальністю «Геологічна сервісна група», вул. Остафія Дашковича, 20, м. Черкаси, 18002, Україна, e-mail: VariatskaN@gmail.com

Проаналізовано методи і способи поетапної перевірки результатів тривимірного моделювання та оцінювання ресурсів на конкретних прикладах родовищ рудних корисних копалин. Із зазначених методів може бути сформований набір перевірок, що забезпечує необхідний рівень достовірності результатів залежно від геологічних особливостей та сфери застосування тривимірної моделі родовища.

Ключові слова: геостатистика, тривимірне моделювання родовищ, оцінювання ресурсів.

STAGE-BY-STAGE VERIFICATION FOR THREE-DIMENSIONAL MODELING AND RESOURCE ASSESSMENT OF ORE DEPOSITS

N. Variatska, N. Safronova

Limited Liability Company «Geological Service Group», Ostafiya Dashkovicha str., Cherkasy, 18002, Ukraine, e-mail: VariatskaN@gmail.com

Purpose. For modeling and resource estimating of ore deposits, an important aspect is the stage-by-stage control of the quality of performed operations, as well as the correctness of the constructed model as a whole. The purpose of this article is to analyze the methods and techniques for validating the results of each stages of three-dimensional modeling and resource estimation of mineral deposits.

Design/methodology/approach. The possible consequences of the presence of critical errors, the application of incorrect methods at each stage of three-dimensional modeling and resource estimating are considered. Methods of their identification and elimination are analyzed. It is shown by the actual example of ore deposits.

Findings. Geological objects, in particular ore deposits, are highly complex, so a model created on the basis of a limited set of data cannot be true. It should reflect the individual properties, parameters, characteristics of the object with enough sufficient to solve actual practical problems. The number of verification procedures at various stages of modeling, as well as their selection for a given object, depends on the specific features of the deposit, the modeling methodology, etc.

Practical value/implications. Based on the obtained algorithm for stage-by-stage verification of modeling and resource estimating results, you can create an optimal set of methods for a certain deposit and the tasks to be performed.

Keywords: geostatistics, third-dimensional modeling of deposits, resource estimation.

References:

1. Almendinger O. Resource Model Validation Methods. Features and limitations. <https://www.micromine.ru/metodi-zaverki-resursnoy-modeli-minex-2018/> (Accessed 22 January 2019) [in Russian].
2. Variatska N.V., Geychenko M.V., Safronova N.G. Main stages of the three-dimensional modeling ore deposits through the example of Shevchenko deposit. *Fifth scientific-practical conference «Subsoil use in Ukraine. Prospects for investment»*, Truskavets, 8—12 October 2018. Vol I. Kyiv, 2018. P. 211—217 [in Ukrainian].

3. Belous A.I., Ivkin V.M. Otsenka dostovernosti podscheta zapasov mineral'nogo syr'ya gornyykh predpriyatiy. *Razvedka i ohrana nedr.* 2007. N 2—3. P. 87—94 [in Russian].
4. Rekomendatsii k sostavu i pravilam oformleniya predstavlyayemykh na gosudarstvennuyu ekspertizu materialov po tekhniko-ekonomicheskomu obosnovaniyu konditsiy i podschetu zapasov tverdykh poleznykh iskopayemykh s ispol'zovaniyem blochnogo modelirovaniya na mestorozhdeniyakh razlichnogo morfologicheskogo tipa. Moscow: GKZ Russia, 2014. 86 p. [in Russian].
5. Shulga A. Postroenie Swath Plot. <https://www.micromine.ru/swath-plot/> (Accessed 22 January 2019) [in Russian].
6. Zhivul'ko A. Podavleniye uragannykh sodержaniy pri otsenke mineral'nykh resursov. <https://www.micromine.ru/qa-qc-quality-control/> (Accessed 22 January 2019).
7. Australian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. Perth: Joint Ore Reserves Committee, 2012. 44 p.
8. Coombes J. The art and science of resource estimation. A Practical Guide for Geologists and Engineers. Perth: Coombes Capability, 2008. 232 p.
9. Coombes J. Validation of Resource Models — Myths, Materiality and Modern Approaches. *Project Evaluation Conference 2009* (Melbourne, Australia) (21—22 April 2009). Perth: Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication, 2009. N 3. P. 211—216.
10. Webster R. Mineral resource validation. <https://amcconsultants.com/experience/mineral-resource-validation> (Accessed 22 January 2019).

Received 01/02/2019