ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(7):29-41
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 550.8.053 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_29

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

П.А. Смирнов[1,2], И.А. Воротынцева[1], Н.Н. Барабанов[1], А.А. Лагутина[1], М.О. Ложкин[1]

[1] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: irina.vorot@yandex.ru
[2] АО «Орика СиАйЭс», Москва, Россия

Аннотация: В связи со все более широким вовлечением в промышленное освоение рудных месторождений со сложным строением и с учетом развития техники и технологий сбора информации в последние десятилетия возникла потребность в разработке и обосновании новых методов интерпретации геологических данных. При этом результаты эксплуатационной разведки играют все большую роль при решении задач снижения операционных затрат на добычу и первичную переработку минерального сырья, а также для обеспечения комплексности освоения недр. При разработке ряда месторождений сегодня стало возможным внедрение систем сбора геологической информации косвенными методами. На основе различий тех или иных свойств минеральных комплексов при реализации технологических процессов, предшествующих непосредственной выемке рудной массы, стало возможным уточнять границы залежей, оценивать их структурные особенности и состав. Таким примером может служить внедрение специализированных аппаратных и программных комплексов, которые осуществляют сбор данных при проходке буровзрывных скважин и на основе различий в физико-механических свойствах определяют границы литологических разностей. Это позволяет уточнить границы рудных тел. Так как геологическая среда является крайне сложной системой, на формирование которой оказывали влияние десятки факторов различной природы, то вопрос интерпретации первичной информации является одной из первоочередных задач, от качества решения которой зависит не только точность и достоверность получаемых моделей, но и общая эффективность производства. Многие используемые сегодня методы интерпретации геологических данных не учитывают особенности строения и состава массивов горных пород в полной мере. Представленные авторами разработки позволяют уточнить границы рудных тел для месторождений со сложными геологическими условиями на основе статистической обработки информации, полученной при проходке буровзрывных скважин. В свою очередь уточнение геологической модели месторождения позволит спроектировать более эффективные системы опробования в рамках эксплуатационной разведки и соответственно уменьшить общие затраты на производство единицы продукции.

Ключевые слова: горное дело, геологическое обеспечение недропользования, статистика, обработка данных, эксплуатационная разведка, опробование, буровзрывные скважины, нормирование данных, рудное тело.

Для цитирования: *Смирнов П. А., Воротынцева И. А., Барабанов Н. Н., Лагутина А. А., Ложкин М. О.* Интерпретация геологических данных на стадии эксплуатационной разведки золоторудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 7. – С. 29–41. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_29.

© П.А. Смирнов, И.А. Воротынцева, Н.Н. Барабанов, А.А. Лагутина, М.О. Ложкин. 2021.

Geological data interpretation at the stage of operational exploration of gold-bearing ore deposits

P.A. Smirnov[1,2], I.A. Vorotyntseva[1], N.N. Barabanov[1], A.A. Lagutina[1], M.O. Lozhkin[1]

[1] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: irina.vorot@yandex.ru
[2] Orika CIS JSC, Moscow, Russia

Abstract: Increasingly more ore deposits with complex structure are being entered in commercial development at the moment. In this connection and in view of the advanced technology and equipment available for information acquisition in the recent decades, new methods are required for interpretation of geological data. The operational exploration results acquire higher importance in handling problems connected with cost-saving in mineral mining and processing towards efficient subsoil management. At some deposits, it is possible to introduce indirect methods of geological information acquisition. The differences in properties of mineral formations, determined during preparative processes before mining, allow adjustment of boundaries of ore bodies as well as assessment of their structure and composition. For instance, the dedicated hardware/software systems collect data during drilling-and-blasting and, based on the differences in physical and mechanical properties of rocks, identify the boundaries of lithological varieties. This allows adjustment of ore body boundaries. A geological environment is an extremely complex system formed under the influence of numerous factors of different nature. Thus, interpretation of the primary information is one of the top-priority tasks, and the quality of this task solution governs both accuracy and reliability of modeling, and the overall performance of a mine. Many current methods of geological data interpretation neglect the structural features and composition of rock masses. R&D results obtained by the authors allow adjustment of ore body boundaries under difficult geological conditions based on statistical processing of data obtained in the course of drilling-and-blasting. Specification of the geological model, in its turn, can be of assistance in design of more effective systems of sampling during operational exploration and, thereby, in reduction in total cost of production per unit product.

Key words: mining, geological support of subsoil use, statistics, data processing, operational exploration, blast holes, data rating, ore body.

For citation: Smirnov P. A., Vorotyntseva I. A., Barabanov N. N., Lagutina A. A., Lozhkin M. O. Geological data interpretation at the stage of operational exploration of gold-bearing ore deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(7):29-41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_29.

Введение

Постоянное усложнение горно-геологических условий эксплуатации месторождений определяет необходимость получения все более точной информации об их строении, составе и прочих характеристиках для обеспечения безопасного, комплексного освоения участков недр и выбора рациональных технологий добычи и переработки минерального сырья. Анализ золотодобывающей отрасли России показывает, что большая часть ресурсной базы нашей страны, составляющей около 12% от мировой, находится в Сибири и на Дальнем Востоке. Эти территории отличаются

низкими показателями развития инфраструктуры, сложными, в некоторых случаях экстремальными климатическими условиями. При этом наибольшими запасами на сегодняшний день обладают Иркутская область (около 18%), Красноярский край (около 15%), а также Забайкальский край, Республика Якутия и Магаданская область [1]. Нужно отметить, что почти четверть добычи рассматриваемого металла в России осуществляется из россыпей (этот показатель значительно выше среднего по миру, составляющего около 3%), однако доля месторождений данного типа в общей структуре отрасли постепенно снижается, что обусловлено в том числе относительно небольшими запасами руд данного типа (около 8% от всех запасов, расположенных на территории РФ) [2].

Устойчиво высокая стоимость золота в последнее десятилетие определила вовлечение в отработку месторождений, которые ранее считались нерентабельными, в том числе с крайне сложным геологическим строением и низким содержанием полезного компонента. Многие отведенные под отработку участки недр представляют собой систему небольших по объему рудных тел сложной формы, крайне невыдержанных по составу. Очевидно, что на стадии детальной разведки невозможно в полной мере определить все параметры залежи в необходимом объеме, что, с одной стороны, может приводить к значительным потерям, а с другой — к высокой степени разубоживания руды на стадии отработки месторождения. В данном случае сведения, получаемые на стадии эксплуатационной разведки, становятся особенно ценными. Фактически, геометрия рудного тела для месторождений третьей и четвертой групп сложности может быть окончательно установлена только на этой стадии освоения недр. А минимизация стоимости исследований (дополнительного бурения, отбора проб, химических, минералогических и других видов анализов) становится важной задачей, решение которой позволит снизить операционные затраты золотодобывающего предприятия [3].

Анализ текущих технических решений, используемых на стадии эксплуатационной разведки, показывает, что на сегодняшний день преобладают прямые методы получения данных. В основном, это бурение дополнительных скважин с опробованием, также отбор рудного материала для исследования производится из шлама буровзрывных скважин. Несомненно, что реализация данных мероприятий позволяет повысить точность и достоверность геологических данных, уточнить границы рудных тел в соответствии с кондиционными требованиями. Однако нужно отметить, что стоимость бурения и последующего опробования достаточно велики, во многом именно этот факт определяет повышенный интерес современных недропользователей к косвенным методам получения информации о структуре и составе рудных тел. При этом полученные данные для уточнения границ рудных тел и их состава в идеальном случае должно осуществляться в комплексе с технологическими работами, например, одновременно с проходкой буровзрывных скважин или при погрузке (транспортировке) минерального сырья на склад или обогатительную фабрику. На сегодняшний день на ряде рудных месторождений используются геофизические методы для определения содержания полезного компонента и выявления границы рудного тела или безрудных интервалов, а также способы, которые опираются на контрастность физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород. Нужно отметить, что существующие методы имеют ряд ограничений, которые не позволят

их широко использовать в практике ведения добычных работ [4].

Методы и исходные данные

Одним из перспективных направлений, которое нашло достаточно широкое применение в современной практике горного дела — это внедрение автоматизированных систем контроля качества выполнения проходки буровзрывных скважин [5]. В первую очередь, они решают задачи позиционирования станка и бурового става, позволяют отслеживать и фиксировать глубину скважины, что минимизирует количество недобуров и перебуров, а также оценивать характеристики физико-механических свойств горных пород на основе параметров бурения (нормальная и тангенциальная нагрузка на буровой инструмент, вертикальная скорость проходки, количество оборотов в единицу времени) [6].

Современное оборудование и соответствующее программное обеспечение на основании вышеперечисленных данных позволяют в режиме реального времени оценивать свойства пород в забое скважины. В то же время во многих случаях остается нерешенной задача интерпретации геологических данных, в том числе идентификация литологических разностей, определение границ рудных тел [7]. Это связано со сложностью природной среды как объекта моделирования, а также с отсутствием специализированных математических методов, которые были бы способны учитывать геологические факторы, определяющие те или иные особенности строения и состава рудных тел. При этом некоторые операции, например, построение контуров отдельных геологических тел, до сих пор полностью не автоматизированы, что сдерживает широкое внедрение программных комплексов, которые бы позволяли в режиме реального времени выполнять всю цепочку операций от получения геологических данных до уточнения трехмерной модели рудного тела и распределения в ней полезных компонентов.

Большая часть современных исследователей склонны считать, что наиболее перспективным направлением решения задачи интерактивной обработки геологических данных является внедрение методов распознания образов [8]. Они позволят на основе тех или иных методов разделить исследуемое пространство геологической среды на относительно однородные элементы, которые в дальнейшем могут быть интерпретированы как литологические разности, сорта или типы руды, инженерно-геологические элементы и т.д.

Одной из главных задач при использовании методов распознания образов в любой из областей знаний является нормировка данных, которая позволяет представить каждый из рассматриваемых объектов (в нашем случае это точка измерения какой-либо характеристики) в качестве точки в многомерном параметрическом пространстве [9]. В качестве примера рассмотрим одно из золоторудных месторождений Республики Саха Якутия. В его составе рудные тела в плане представляют собой залежи глинистых пород лентообразной формы с сильноизвилистыми краями, раздувами и пережимами. На одних участках золотоносные породы выходят на дневную поверхность, на других находятся под покровом юрских отложений. Установлено, что кровля рудных тел обычно прямолинейная, со стороны лежачего бока контуры более сложные, изобилуют западинами в карбонатных породах. Отмечается приуроченность верхнего контакта к базальному слою конгломератов среднеюрских пород. Залежи сформировались в результате заполнения карстовых полостей в карбонатных породах глинистым материалом

с высоким содержанием золота. При этом в зависимости от форм карстовых полостей можно выделить два типа рудных тел по форме залегания: горизонтальные пластообразные залежи в чаше и блюдцеобразных полостях и «рудные столбы», которые сформировались в узких желобообразных, мульдообразных, щелевидных, воронкообразных карстовых полостях, образующих сложный лабиринт впадин [10].

Первичные руды в рамках рассматриваемого участка недр имеют ограниченное распространение и представлены микрозернистыми пирит-адуляр-кварцевыми метасоматитами, образующимися при замещении калишпатовых метасоматитов, юрских осадочных пород и интрузивных пород. Метасоматиты сложены кварцем 70–95%, адуляром до 25% и пиритом — 2—20%.

Окисленные (рыхлые) руды являются основным технологическим типом данного месторождения. Они имеют пестрый вещественный состав, определяющийся различными соотношениями в них глинистой и обломочной составляющей. В связи с этим выделяют три разновидности окисленных руд:

- песчано-глинистые образования с обломками окварцованных и обохренных известняков и песчаников;
- пестроцветные глинисто-кварцевые образования с обломками кварц-гематитовых метасоматитов;
- кварцевая сыпучка с примесью кварц-полевошпатового песка [11].

Рудные тела имеют сложное строение, обусловленное частым и незакономерным чередованием различных типов руд, переходы между которыми неконтрастны [12]. Также выявлена закономерная вертикальная изменчивость содержания полезного компонента в пластообразных рудных телах, содержание золота, как правило, возрастает от подошвы к кровле.

В ходе эксплуатации одного из месторождений рудного поля был выявлен ряд осложняющих факторов, в том числе крайне неравномерное оруденение и распределение полезного компонента, частая перемежаемость руды и пустых пород в рудных телах. В связи с этим необходимы дополнительные затраты на эксплуатационную разведку, опробование взрывных скважин, усреднение руд перед подачей на ЗИФ, селективную выемку промышленных, забалансовых руд и пустых пород [10].

Результаты

Для минимизации операционных затрат на предприятии был внедрен программно-технический комплекс Blast Maker [13], который позволяет в режиме реального времени получать данные о параметрах бурения. Так как породы месторождения достаточно контрастны по своим физико-механическим свойствам, то разработка методов оперативного оконтуривания рудных тел, а также оптимизация систем опробования в рамках эксплуатационной разведки выглядит достаточно перспективной [14].

На рис. 1 представлены данные, полученные при бурении одной из скважин, которая пересекает рудное тело и вскрышные породы. В данном случае нормальная нагрузка на буровой инструмент регулируется машинистом, поэтому ее изменение имеет выраженный ступенчатый характер [15]. В то же время изменение тангенциальных нагрузок и вертикальной скорости проходки имеют два характерных участка, особенно это выражено для второй характеристики [16].

На интервалах до 1 м и от 4,7 до 8 м наблюдаются относительно малые скорости бурения, при этом нет значительных скачков. Это связано с тем, что на данных глубинах залегают известняки, имеющие относительно однородный со-

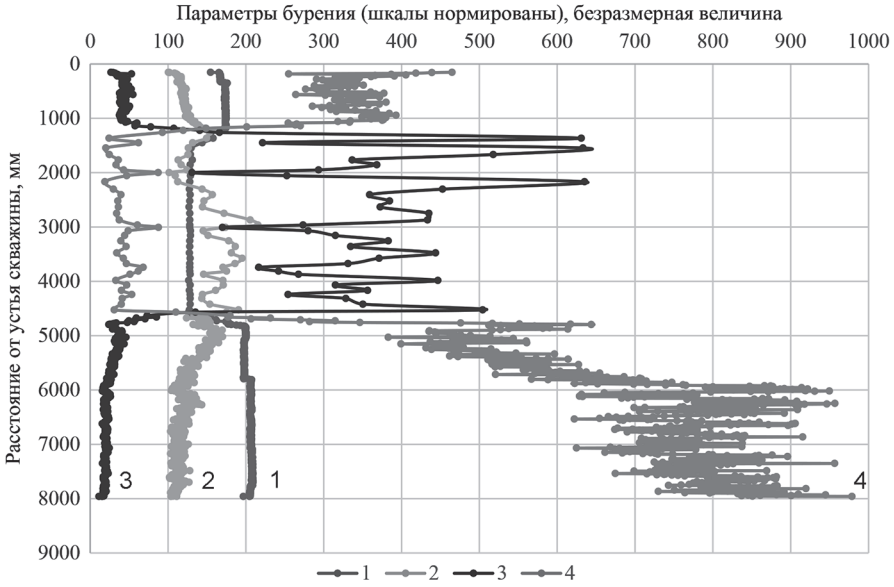

Рис. 1. Изменение параметров бурения скважины с глубиной: 1 — нормальная нагрузка (кПа), 2 — вращательная нагрузка (кПа), 3 — вертикальная скорость бурения (м/ч), 4 — расчетная величина
Fig. 1. Change in drilling parameters versus depth: 1 — normal load (kPa); 2 — rotary load (kPa); 3 — rate of penetration (m/h); 4 — computed value

став и высокие прочностные показатели. В то же время при проходке рудной залежи наблюдаются значительно большие скорости и ее резкие колебания, которые определяются неоднородностью состава, в том числе наличием включений и пестрым гранулометрическим составом. Таким образом, на основании показателя скорости мы можем оценивать расположение рудных интервалов по оси скважины [17]. Однако не во всех случаях рассматриваемого месторождения столь очевидно можно разделить полученные значения на подмножества, в связи с этим требуется более глубокий анализ исходной информации, который в ряде случаев позволит определить дополнительные зависимости [18].

На сегодняшний день предложен ряд методик, которые позволяют на основе набора параметров бурения рассчитать характеристики, в большинстве случаев, не имеющие физического смысла, но позволяющие на основе интегральной оценки скорости бурения и нагрузок определить вид литологической разности в скважине на рассматриваемой глубине. Для примера рассмотрим одну из таких характеристик (график 4 на рис. 1), для каждой точки она определялась как отношение среднего гармонического нормальной и тангенциальной нагрузок к вертикальной скорости проходки:

$$Y = \frac{\sqrt{\sigma_H \cdot \sigma_\tau}}{\vartheta} \cdot 100 \qquad (1)$$

где $\sigma_н$ — нормальная нагрузка; σ_τ — нагрузка вращения; υ — вертикальная скорость бурения.

Анализ изменения выбранной характеристики с глубиной показывает, что в рассматриваемой скважине можно выделить не две, а три характерные области: рудное тело, где рассчитанная величина имеет минимальные значения, интервал от 6 до 8 м с максимальными значениями и два интервала от устья до 1 м и от 4,7 до 6 м. Последние два уча-

стка имеют значения рассчитанной величины заметно большие, чем у руды, представленной глинистой породой, но меньшие, чем на интервале от 6 до 8 м. Скорее всего выявленная закономерность связана с тем, что интервалы, прилегающие к рудному телу, — это стенки карстовых полостей, которые имеют более высокие показатели нарушенности (повышенная трещиноватость, наличие пор, обусловленных процессами выщелачивания), чем массивные карбонатные породы. В пользу выдвинутой гипотезы говорит наличие участка небольшой мощности, который отличается повышенными прочностными свойствами между рудным телом и толщей нарушенных карбонатных пород. Этот участок представлен ожелезненными известняками, которые формируются на стенках трещин и полостей в результате заполнения пустот окислами и гидроокислами железа. В то же время более слабые свойства в верхней части скважины могут быть обусловлены ведением взрывных работ при отработки вышележащего горизонта [19].

Рассмотренный пример демонстрирует возможность получения дополнительной информации о структуре и составе породного массива на основе интерпретации первичных данных. Для проведения более глубокого анализа и применения методов распознавания образов с целью оптимизации объемов опробования на стадии эксплуатационной разведки были рассмотрены несколько вариантов нормировки шкал измерения наблюдаемых параметров [20].

Нормированные значения были вычислены на основе более десятка соотношений различных степеней сложности. В качестве объектов генеральной выборки рассматривались буровзрывные скважины с усредненными параметрами по наблюдаемым характеристикам. Для анализа было выбрано несколько эксплуатационных блоков, которые по данным детальной, а затем и эксплуатационной разведки, включали балансовые и забалансовые запасы, а также безрудные участки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее контрастно

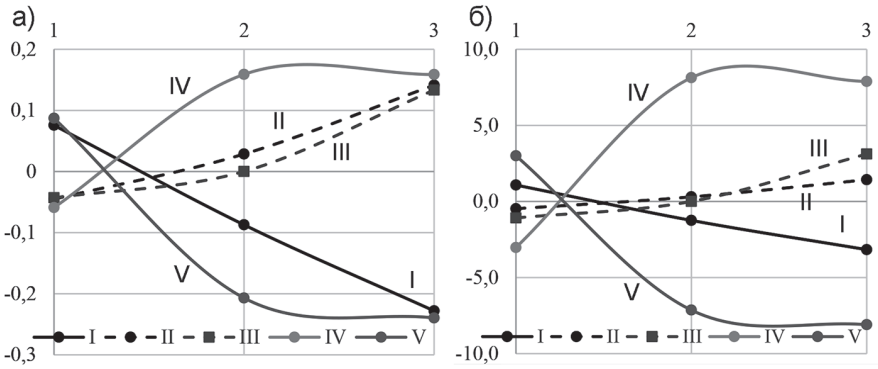

Рис. 2. Средние значения нормированных наблюдаемых и расчетных параметров по двум методам нормировки в соответствии с формулами 2 (а) и 3 (б) для трех подмножеств: 1 — вскрышные породы; 2 — забалансовая руда; 3 — балансовая руда. I и II — соответственно нормальная и вращательная нагрузки на буровой инструмент; III — количество оборотов бурового инструмента в минуту; IV — вертикальная скорость бурения; V — расчетный параметр в соответствии с формулой (1)

Fig. 2. Average values of rated observed and computed parameters from two methods of rating using formulas 2 (a) and 3 (b) for three subsets (1 — overburden rocks; 2 — low-grade ore; 3 — high-grade ore). I and II — respectively, normal and rotary loads on drilling tool; III — drilling tool rotations per minute; IV — rate of penetration; V — calculation from formula 1

объекты делятся на три класса (рис. 2) при двух вариантах центрированной нормировки данных:

$$\hat{S}_i = \frac{S_i - \overline{S}}{\max_i S_i - \min_i S_i} \qquad (2)$$

и

$$\hat{S}_i = \frac{S_i - \overline{S}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} S_i^2}} \qquad (3)$$

где $\hat{S}_i$ — нормированное значение параметра для i-го объекта; s_i — измеренное значение параметра для i-го объекта; $\overline{S}$ — среднее значение параметра по всем объектам; n — количество объектов в выборке.

Нужно отметить, что в обоих рассматриваемых случаях знаки средних значений по всем параметрам для скважин, пройденных по залежам с балансовыми запасами и пустой породе, различны. При этом промежуточное положение занимают скважины, пройденные по рудным телам с забалансовой рудой. Наибольшая контрастность наблюдается по двум характеристикам: нормальной нагрузке на буровой инструмент и рассчитанной величине, которая была введена для относительной оценки энергозатрат при проходке скважин и вычислялась в соответствии с формулой (1). При этом вращательная нагрузка и количество оборотов также позволяют различать балансовые и забалансовые руды [21].

В параметрическом пространстве с учетом выбранных методов нормирования исходных значений элементы выборки образуют два хорошо разделяемых облака точек (рис. 3). При этом верхнее облако целиком представлено скважинами, пройденными по вскрышным породам, а нижнее облако состоит из точек всех трех групп. Данная ситуация обусловлена тем, что примерно треть всех скважин, пройденных по глинистым породам в исследуемых блоках, по результатам химического исследования оказалась с содержанием полезного компонента значительно ниже бортового.

Нужно отметить, что в некоторых других случаях при выборе иных параметров по осям координат или другом способе нормирования шкал облако точек, образованных объектами, представленными скважинами, пройденными по карбонатным породам, формирует более «плотное» скопление, но в то же время хорошо отличимое от всей ос-

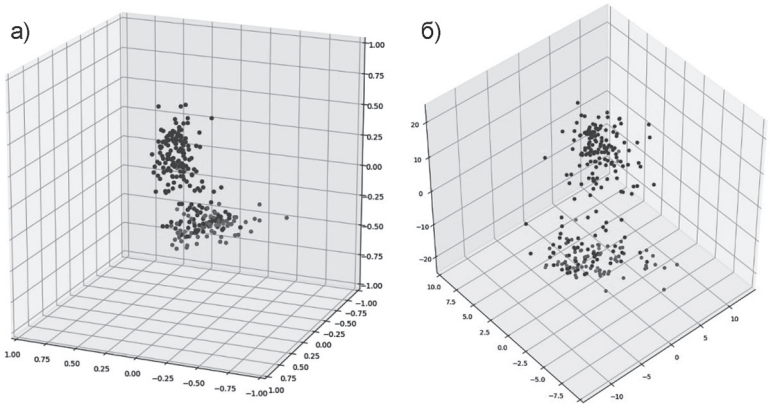

Рис. 3. Положение объектов генеральной выборки в параметрическом пространстве (ос. X и Y — вертикальная и вращательная нагрузки на буровой инструмент соответственно, Z — введенный расчетный параметр): (а) и (б) соответственно первый и второй выбранные варианты нормировки шкал

Fig. 3. Arrangement of general sampling objects in parametric space (axes X and Y — vertical and rotary loads on drilling tool, respectively; Z — introduced design variable) (a) and (b) scale rating variants 1 and 2, respectively

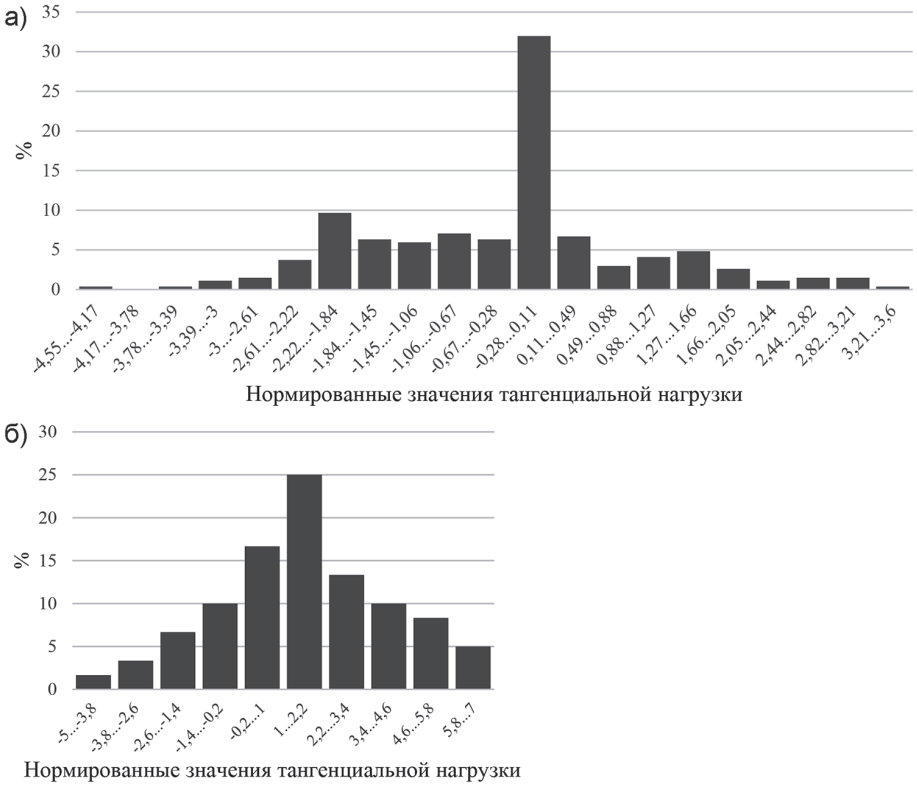

Рис. 4. Распределение значений (в процентах) по интервалам тангенциальной нагрузки на буровой инструмент для скважин, пройденных по вскрышным породам (а) и рудному телу (б); по горизонтальной оси представлены значения, нормированные в соответствии с формулой (3)

Fig. 4. Values (in percentage terms) per intervals of tangential load on drilling tool for boreholes drilled in overburden (a) and in ore (b); horizontal axis gives values rated in accordance with formula (3)

тальной выборки. На рис. 4 представлены диаграммы, отображающие распределение средних значений тангенциальной нагрузки на буровой инструмент по скважинам. Несложно заметить, что рудные скважины образуют распределение, близкое к нормальному, что свидетельствует о том, что все объекты могут быть отнесены к одному статистически не различимому классу. В то же время скважины, пройденные по вскрышным породам, образуют более сложное распределение, в котором можно выделить, как минимум, два семейства объектов. Одно из них сконцентрировано вблизи максимума, расположенного около нуля, второе, содержащее гораздо меньшее количество элементов, сформировано вблизи значения –2 (рис. 4, *а*).

Дальнейшие попытки статистически разделить множество скважин, пройденных преимущественно по глинистым породам, на два кластера — рудные и безрудные — успехом не увенчались. В первую очередь, это связанно с близостью физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих глинистых пород. Однако в ряде случаев наблюдается выраженная закономерность: элементы выборки, представленные рудными скважинами, образуют облако, значительная часть его точек

сконцентрирована на периферии смешенного множества, ядро которого состоит в основном (до 75%) из безрудных элементов. Точки внутри формирующегося ядра статистически неразличимы при использовании выбранных методов интерпретации первичных данных.

В дальнейшем планируется усложнить модель и рассматривать скважину не в виде вектора параметров, который был получен в результате усреднения показателей бурения. Данный подход был выбран на этом этапе в связи с технологическими особенностями освоения месторождения. Рудные тела в горизонтах оконтуриваются только в плане, без дифференциации по глубине. Это несколько сокращает возможности современных методов обработки данных и распознания образов. В частности, проведенный анализ показывает, что если каждую скважину представить в виде набора характерных точек, то появляется возможность определить, какой именно тип глин был пробурен. Это, в свою очередь, способствует более детальному разбиению породного массива на рудную часть и вмещающие породы, так как на стадии разведки были установлены соответствующие закономерности.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что на основе статистических методов обработки первичной информации, получаемой при проходке буровзрывных скважин с высокой достоверностью из общего множества, можно выделить те, которые пройдены по вскрышным карбонатным породам. Глинистые литологические разности разделить на рудные и безрудные для рассматриваемого золоторудного месторождения при представлении скважины в виде одной точки в параметрическом пространстве не представляется возможным. Однако учет динамики изменения параметров бурения по глубине, представления скважины в виде набора характерных точек в перспективе может позволить разработать метод, позволяющий с требуемой достоверностью разделять множество скважин, пройденных по глинистым породам, на два кластера: рудные и рудные плюс безрудные.

Проведенные работы на данный момент позволяют оптимизировать работы по эксплуатационной разведке, в частности уменьшить количество анализов для определения содержания полезного компонента. Этого можно добиться за счет разрежения сети опробования по скважинам, которые отнесены к классу безрудных. Кроме того, выявленные закономерности позволяют разработать методы обработки первичной геологической информации для автоматизированного построения трехмерных моделей с высокой точностью и детализацией, которые в дальнейшим могут быть использованы для решения задач сокращения объемов используемого взрывчатого вещества, повышения качества дробления породы, а также управления качественными характеристиками минерального сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Государственный* доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году. — М.: Минприроды России, 2019. — 424 с.

2. *Гусева Н. С.* Секреты золотодобычи. — М.: изд-во «Горная книга», 2020. — 208 с.

3. *Стримжа Т. П.* Прогнозирование и поиск полезных ископаемых: учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта. — Красноярск: СФУ, 2014. — 39 с.

4. *Хмелевской В. К.*, *Горбачев Ю. И.*, *Калинин А. В.*, *Попов М. Г.*, *Селиверстов Н. И.*, *Шевнин В. А.* Геофизические методы исследований. Учебное пособие для геофизических специальностей вузов. — Петропавловск-Камчатский: изд-во КГПУ, 2004. — 232 с.

5. *Хакулов В. В.* Совершенствование проектирования буровзрывных работ для карьеров на основе саморазвивающихся моделей районирования массивов горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 7. — С. 28—31.

6. *Коваленко В. А.*, *Долгушев В. Г.*, *Нагавицин В. А.* Автоматизированное проектирование буровзрывных работ на карьерах. Опыт внедрения / Передовые технологии на карьерах КРСУ. Сборник докладов. — Бишкек, 2008. — С. 84—91.

7. *Cheskidov V., Kassymkanova K.-K., Lipina A., Bornman M.* Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501001.

8. *Бабич В. В.*, *Зайков В. В.*, *Лебедев В. И.*, *Плохих Н. А.*, *Федосеев Г. С.* Распознавание образов в задачах качественного прогноза рудных месторождений. — Новосибирск: Наука, 1980. — 208 с.

9. *Falsaperla S., Hammer C., Langer H.* Advantages and pitfalls of pattern recognition selected cases in geophysics. Elsevier, 2020. 330 p.

10. *Григорьев Р. В.*, *Потехин Г. Н.* Особенности подготовки геологической информации на ЭВМ при отработке месторождений группой карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 10. — С. 83—96.

11. *Потехин Г. Н.*, *Кисляков В. Е.* Особенности управления нормативами запасов на золоторудных месторождениях // Маркшейдерия и недропользование. — 2015. — № 4. — С. 48—51.

12. *Рупышев М. С.* Некоторые проблемы подсчета запасов полезных ископаемых с применением коэффициента рудоносности // Золотодобыча. — 2016. — № 209. — С. 17—22.

13. *Долгушев В. Г.* Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьерах «Blast Maker» // Горный журнал Казахстана. — 2013. — № 11. — С. 28—32.

14. *Emery X., Malekic M.* Geostatistics in the presence of geological boundaries: Application to mineral resources modeling // Ore Geology Reviews. 2019, vol. 114, pp. 10—15. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.103124.

15. *Wang X., Wang Z., Wang D., Chai L.* A novel method for measuring and analyzing the interaction between drill bit and rock // Measurement. 2018, vol. 121, pp. 344—354. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.02.045.

16. *Кутузов Б. Н.*, *Белин В. А.* Проектирование и организация взрывных работ: Учебник. — М.: изд-во «Горная книга», 2019. — 416 с.

17. *Жариков С. Н.* Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011. — 25 с.

18. *Abbaspour H., Drebenstedt C., Badroddin M., Maghaminik A.* Optimize design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic modeling // International Journal of Mining Science and Technology. 2018, vol. 28, no. 6, pp. 839—848.

19. *Мосейкин В. В., Гальперин А. М., Ческидов В. В., Пуневский С. А.* Совершенствование удаленного автоматизированного контроля откосных сооружений на горных предприятиях // Горный журнал. — 2017. — № 12. — С. 82—86. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.16.

20. *Напольских С. А., Крючков А. В., Андриевский А. О., Ческидов В. В.* Дистанционный контроль устойчивости намывных сооружений на Стойленском ГОКе // Горный журнал. — 2017. — № 10. — С. 52—55. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.11.

21. Cheskidov V. V., Lipina A. V., Manevich A. I., Kurenkov D. S. Status monitoring of sloping structures / Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers 2018. CRC Press, 2019, pp. 41—47. DOI: 10.1201/9780429398063. ГИАБ

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu* [State report on the status and use of mineral resources and mineral reserves in the Russian Federation in 2018], Moscow, Minprirody Rossii, 2019, 424 p.

2. Guseva N. S. *Sekrety zolotodobychi* [Secrets of gold mining], Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2020, 208 p.

3. Strimzha T. P. *Prognozirovanie i poisk poleznykh iskopaemykh: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vypolneniya kursovogo proekta* [Forecast and exploration of minerals: Training course project guide manual], Krasnoyarsk, SFU, 2014, 39 p.

4. Khmelevskoy V. K., Gorbachev Yu. I., Kalinin A. V., Popov M. G., Seliverstov N. I., Shevnin V. A. *Geofizicheskie metody issledovaniy*. Uchebnoe posobie dlya geofizicheskikh spetsial'nostey vuzov [Geophysical research], Petropavlovsk-Kamchatskiy, izd-vo KGPU, 2004, 232 p.

5. Khakulov V. V. Improvement of drilling-and-blasting pattern design for open pit mines based on self-developing models of rock mass zoning. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010, no. 7, pp. 28 — 31. [In Russ].

6. Kovalenko V. A., Dolgushev V. G., Nagavitsin V. A. Computer-aided design of drilling-and-blasting in open pit mines. *Peredovye tekhnologii na kar'erakh KRSU*. Sbornik dokladov [Experience of Introduction: Advanced Open Pit Mining Conference Proceedings, Kyrgyz–Russian Slavic University], Bishkek, 2008, pp. 84 — 91.

7. Cheskidov V., Kassymkanova K.-K., Lipina A., Bornman M. Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501001.

8. Babich V. V., Zaykov V. V., Lebedev V. I., Plokhikh N. A., Fedoseev G. S. *Raspoznavanie obrazov v zadachakh kachestvennogo prognoza rudnykh mestorozhdeniy* [Image identification in problems of high-quality forecast of ore deposits], Novosibirsk, Nauka, 1980, 208 p.

9. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and pitfalls of pattern recognition selected cases in geophysics*. Elsevier, 2020. 330 p.

10. Grigor'ev R. V., Potekhin G. N. Computer-aided preparation of geological information in field development by a group of open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011, no. 10, pp. 83 — 96. [In Russ].

11. Potekhin G. N., Kislyakov V. E. Control of normative standards on gold ore resources. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2015, no. 4, pp. 48 — 51. [In Russ].

12. Rupyshev M. S. Some problems in mineral reserves appraisal using ore content coefficient. *Zolotodobycha*. 2016, no. 209, pp. 17 — 22. [In Russ].

13. Dolgushev V. G. System of automatic drilling-and-blasting design in open pit mining — BastMaker. *Gornyy zhurnal Kazakhstana*. 2013, no. 11, pp. 28 — 32. [In Russ].

14. Emery X., Malekic M. Geostatistics in the presence of geological boundaries: Application to mineral resources modeling. *Ore Geology Reviews*. 2019, vol. 114, pp. 10 — 15. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.103124.

15. Wang X., Wang Z., Wang D., Chai L. A novel method for measuring and analyzing the interaction between drill bit and rock. *Measurement*. 2018, vol. 121, pp. 344 — 354. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.02.045.

16. Kutuzov B. N., Belin V. A. *Proektirovanie i organizatsiya vzryvnykh rabot*: Uchebnik [Blasting design and implementation, Textbook], Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2019, 416 p.

17. Zharikov S. N. *Vzaimosvyaz' udel'nykh energeticheskikh kharakteristik protsessov sharoshechnogo bureniya i vzryvnogo razrusheniya massiva gornykh porod* [Interaction of specific energy characteristics in rotary drilling and blasting of rocks], Candidate's thesis, Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2011, 25 p.

18. Abbaspour H., Drebenstedt C., Badroddin M., Maghaminik A. Optimize design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic modeling. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018, vol. 28, no. 6, pp. 839 — 848.

19. Moseykin V. V., Galperin A. M., Cheskidov V. V., Punevsky S. A. Enhancement of automated remote slope monitoring in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2017, vol. 12, pp. 82–86. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.16.

20. Napolskikh S. A., Kryuchkov A. V., Andrievsky A. O., Cheskidov V. V. Remote stability control of hydraulic in wash structures at Stoilensky Mining and Processing Plant. *Gornyi Zhurnal*. 2017, vol. 10, pp. 52–55. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.11.

21. Cheskidov V. V., Lipina A. V., Manevich A. I., Kurenkov D. S. Status monitoring of sloping structures. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources*. Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers 2018. CRC Press, 2019, pp. 41–47. DOI: 10.1201/9780429398063.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смирнов Павел Александрович[1] – аспирант,
инженер по технической поддержке, АО «Орика СиАйЭс»,
Воротынцева Ирина Алексеевна[1] – аспирант,
e-mail: irina.vorot@yandex.ru,
Барабанов Николай Николаевич[1] – аспирант,
Лагутина Анастасия Андреевна[1] – аспирант,
Ложкин Максим Олегович[1] – аспирант,
[1] НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Воротынцева И.А., e-mail: irina.vorot@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

P.A. Smirnov[1], Graduate Student, Technical Support Engineer,
Orika CIS JSC, 125315, Moscow, Russia,
I.A. Vorotyntseva[1], Graduate Student, e-mail: irina.vorot@yandex.ru,
N.N. Barabanov[1], Graduate Student,
A.A. Lagutina[1], Graduate Student,
M.O. Lozhkin[1], Graduate Student,
[1] National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.
Corresponding author: I.A. Vorotyntseva, e-mail: irina.vorot@yandex.ru.

Получена редакцией 27.05.2020; получена после рецензии 02.07.2020; принята к печати 10.06.2021.
Received by the editors 27.05.2020; received after the review 02.07.2020; accepted for printing 10.06.2021.

ОТ РЕДАКЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 6, 2021 в статье авторов Агарков К.В., Эпштейн С.А., Коссович Е.Л., Добрякова Н.Н. «Влияние условий замораживания-размораживания углей на их гранулометрический состав и механическую прочность» на с. 72, 73, 83 допущены технические ошибки:

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
72	К.О. Агарков	К.В. Агарков
73	К.О. Agarkov	K.V. Agarkov
83	Агарков Кирилл Олегович К.О. Agarkov	Агарков Кирилл Владимирович K.V. Agarkov