

ют, что сооружение сплошных щелевых выработок с помощью предлагаемой технологии уменьшает суммарные затраты на водопонижение в 1,5–2 раза, начиная с глубины более 50 м, при этом с увеличением глубины (от 50 до 100–150 м) затраты имеют тенденцию к уменьшению.

Выводы

1. Расчёты свидетельствуют, что сопротивления скважин линейного дренажа с учетом взаимовлияния скважин увеличивается прямо пропорционально увеличению числа скважин на этом дренаже (при неизменной длине дренажа)

2. Заметный рост гидравлического сопротивления R скважин в результате увеличения их числа

(плотности) в линейном дренаже имеет место при сближении скважин до расстояний порядка 30 м между ними, а существенный рост — при сближении скважин на расстояние менее 10 м.

3. На основании первых двух пунктов можно сделать вывод о том, что при необходимости создания больших гидравлических сопротивлений на пути фильтрационных потоков на глубине, в проницаемых подземных пластах, целесообразно заменять вертикальные скважинные дренажи сплошными щелевыми выработками, что требует применения специальных технологий.

4. Использование гидроскважинных методов проходки щелевых коллекторов обеспечивает не только гидравлические преимущества, но и снижает суммарную стоимость сооружения и эксплуатации дренажей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М.: Стройиздат, 1973. 280 с.
2. Борисов Ю.П., Пилатовский В.П., Табаков В.П. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными и многозабойными скважинами. М.: Недра, 1964. 154 с.
3. Бочеввер Ф.М. Теория и практические методы расчета эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. 325 с.
4. Бочеввер Ф.М., Веригин Н.Н. Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. М.: Гостроиздат, 1961. 198 с.
5. Брюховецкий О.С., Ганин И.П. Разработка методологии и структуры построения базы данных по методам ликвидации локальных техногенных загрязнений в массивах горных пород // Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники (подпрограмма «Экология и рациональное природопользование») // Записки Санкт-Петербургского горного института, СПб., 2003. Т. 154, С. 237–239.
6. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. М.: ИздАТ, 1994. 257 с.
7. Найденко И.Ю. Механические методы сооружения противифльтрационных завес // XI Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, Российский государственный геологоразведочный университет, 09–12 апреля, 2013 г. Доклады в 3 т. Т. 2. М.: ООО Издательство «Ваш полиграфический партнер», 2013. С. 191–192.

УДК 550.85

ОПТИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДИКИ ШЛАМОВОГО ОПРОБОВАНИЯ ПРИ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Е.Б. ЯНИЦКИЙ, В.А. ДУНАЕВ

ОАО «ВНОГЕМ»

308007, г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, 86; e-mail: yanez@geomix.ru

По итогам авторских экспериментальных работ на Ковдорском апатит-штаффелитовом месторождении с учётом результатов аналогичных работ, выполненных другими исследователями на рудных месторождениях различных генетических и промышленных типов, установлено, что для обоснования методики опробования шлама буровзрывных скважин при открытой разработке любого рудного месторождения достаточно пяти экспериментальных скважин по каждому типу шлейфа шлама (конусовидному или вытянутому по линии буровой станок — устье скважины).

Ключевые слова: рудные месторождения; карьер; шлейф шлама; опробование; обоснование методики; число экспериментальных скважин.

THE OPTIMAL NUMBER OF EXPERIMENTAL WELLS FOR SUBSTANTIATION OF SLIME SAMPLING METHODS IN OPEN-PIT MINING OF MINERAL RESOURCES

E.B. YANITSKY, V.A. DUNAYEV

OJSC «VIOGEM»

308023, Russia, Belgorod, B. Hmel'nitskogo prospekt, 131, e-mail: yanez@geomix.ru

Following the results of authors experimental works on Kovdorsky apatite-shtaffelite deposit and taking into account the results of similar works performed by other researchers on ore deposits of various genetic and industrial types, it has been established that for justification of sampling method of slime of drilling-and-blasting wells at open-cast mining of any ore deposits the five experimental wells for each type of a loop of slime (cone-shaped or extended along the «boring machine — mouth of a well» line) are enough.

Key words: ore deposits; pit; a loop of slime; sampling; justification of method; quantity of experimental wells.

На формирование шлейфа шлама и распределение в нём выбуренного материала влияют две группы факторов: технико-технологические (тип применяемого бурового станка, конструкция и диаметр шарошечного долота, режим бурения) и природные (минеральный состав, текстура и структура, инженерно-геологические свойства руд и пород, их особенности чередования и изменчивости указанных характеристик в перебуриваемом интервале). Поскольку все упомянутые факторы, особенно природные, сугубо индивидуальны для каждого месторождения, методика шламового опробования в процессе их отработки карьером обосновывается экспериментально.

Наиболее приемлем для такого обоснования способ, предусматривающий установление позиции представительного (достоверно отражающего среднее содержание полезного компонента во всей массе шлейфа отложения шлама) пояса шириной 10—15 см и числа отбираемых из него частных проб, совокупность которых (объединенная проба) направляется на обработку и химический анализ [6]. Для конусовидного шлейфа, который образуется в том случае, когда при бурении скважины не используется пылеотдув, форма представительного пояса кольцевая. Если пылеотдув применяется, получается вытянутый по направлению станок — устье скважины шлейф, а позиция представительного пояса, точнее профиля, определяется линией, перпендикулярной этому направлению. Экспериментальные исследования по обоснованию методики шламового опробования весьма трудоёмкие и дорогостоящие, чем и определяется актуальность оценки необходимого и достаточного числа экспериментальных скважин.

Анализ опыта проведения таких исследований, в том числе и авторов данной статьи, показывает, что исполнители руководствовались следующей логикой. Поскольку технико-технологические факторы управляемы и обеспечение их относительного постоянства в процессе бурения экспериментальных скважин вполне достижимо, то глав-

ными факторами, определяющими число экспериментальных скважин, являются природные. Таким образом, необходимое число экспериментальных скважин для одного типа шлейфа шлама (конусовидного или вытянутого) зависит от числа природных типов руд и участков месторождения, контрастно различающимися особенностями геологического строения рудной толщи. Обычно выбиралось 3—5 участков, на каждом из которых бурилось не менее трех экспериментальных скважин.

Подобные исследования были проведены на месторождениях различных промышленных и генетических типов: Лебединском богатых железных руд, в коре выветривания железистых кварцитов [6], Ковдорском карбонатитовом апатит-магнетитовых руд [8] и Ковдорском апатит-штаффелитовом, остаточно-инфильтрационном генезиса [1], магматических хромитовых месторождениях Кимперсайского гипербазитового плутона [7]. Итогом этих исследований на каждом из упомянутых объектов была инструкция по отбору проб из шлама взрывных скважин, предусматривающая для определённого типа конуса шлама единую для всего месторождения методику, т. е. идентичную позицию представительного пояса и одинаковое число частных проб из него. Из сказанного следует несколько неожиданный вывод о том, что изменчивость природных факторов в пределах одного месторождения не влияет значительно на указанные параметры в методике отбора шламовых проб.

Выполненное авторами на примере Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения исследование особенностей строения конусовидного шлейфа шлама экспериментальных буровзрывных скважин [2] показало следующее. В представительном поясе формируется разрез, близкий к геологической колонке пробуренной скважины, но в перевернутом виде и с изменчивым по периметру пояса вещественным составом. Этот пояс выделяется минимальными, по сравнению с другими поясами, значениями размаха и средней величины расхождений между содержанием анализируемого компо-

нента в нём и в валовой пробе шлама, их дисперсии и среднеквадратического отклонения.

Однако при этом только в единичных случаях частные пробы, отобранные из представительного пояса (методика проведения экспериментальных работ предполагает отбор по всем намеченным кольцевым поясам пяти равноудаленных одна от другой проб) являются представительными относительно валовой пробы, т. е. расхождение между содержанием P_2O_5 в частной и валовой пробе не превышает критериального (+10% отн.). Из 17 экспериментальных скважин в семи не зафиксировано ни одного такого факта, по восьми — один, а по двум — два. Сказанное свидетельствует о значительной доле случайной составляющей в формировании шлейфа шлама. Определённое способом П.Л. Каллистова [4] значение этой доли колеблется по разным скважинам от 0,28 до 0,69, составляя в среднем 0,47.

Случайная составляющая формирования шлама обусловлена в основном двумя факторами. Одним из них является изменчивость частиц шлама по их размеру, форме и удельной массе, а соответственно по скорости их перемещения в стволе скважины и дальности разлета в процессе формирования шлейфа. Другим фактором является изменчивость траектории движения частиц шлама и в целом динамики формирования его шлейфа. Нередко частицы шлама более 0,5 см после падения на поверхность шлейфа скатываются по ней, иногда достигая его подножия. Кроме того, при бурении шарошечным долотом в стенках скважин могут появиться участки разрушения пород, материал которых под воздействием вибрации бурового снаряда осыпается вниз, засоряя шлам перебуриваемого в это время интервала. При чередовании скальных и рыхлых (слабосцементированных) пород и руд (такая ситуация обычна для Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения) возможны вывалы последних из стенок скважин. Нельзя также полностью исключать и субъективные факторы, связанные непосредственно с процессом бурения.

Следствием значимой случайной составляющей процесса формирования шлейфа шлама является факт наличия в общей совокупности экспериментальных скважин тех, которые по позиции в шлейфе представительного пояса отличаются от большинства скважин, т. е. расхождение () между значениями содержания полезного компонента в объединенной пробе из данного кольцевого пояса и в валовой пробе превышает критериальное (в нашем случае +10% отн.). Из 17 экспериментальных скважин в трех (№№ 5, 14, 26) расхождение g составило соответственно 10,97; 10,55; 14,86% отн.

Достаточно большое число экспериментальных скважин (17) позволяет, если учитывать сколько из них (3) по позиции в шлейфе шлама представительного пояса выпадает из общего ряда, оценить с

заданной доверительной вероятностью (95%) оптимальное число экспериментальных скважин с использованием для этого отрицательного биномиального распределения [3]:

$$P = \frac{(r-x-1)}{(r-1)x} (1-p)^x p^r, \quad (1)$$

где P — вероятность того, что для пробуренных скважин расхождение не превысит заданного критерия; r, x — число скважин удовлетворяющих (r) и не удовлетворяющих (x) этому критерию; p — вероятность появления скважин с расхождением равным или ниже критериального.

Согласно теореме Бернулли [5], вероятность (p) с удовлетворительной для решения подобных задач погрешностью может быть выражена статистической вероятностью (p^*), представленной отношением числа положительных событий (m) к общему количеству испытаний (n):

$$p = p^* = \frac{m}{n}. \quad (2)$$

В нашем случае $p = 14/17 = 0,82$.

Зададимся минимальным числом экспериментальных скважин (три), достаточным для разработки методики шламового опробования, и исследуем с использованием формулы (1) и значения $p = 0,82$ дискретное вероятностное распределение 3,4,5, ... n последовательно пробуренных скважин. Цель этой процедуры — определить, сколько надо пробурить скважин, чтобы с доверительной вероятностью не менее 95 % получить искомые три скважины.

Вероятность того, что позиция представительного пояса в шлейфе шлама идентична для всех трёх пробуренных скважин, равна:

$$P = \frac{(3-0-1)}{(3-1)0} (1-0,82)^0 0,82^3 = 0,55,$$

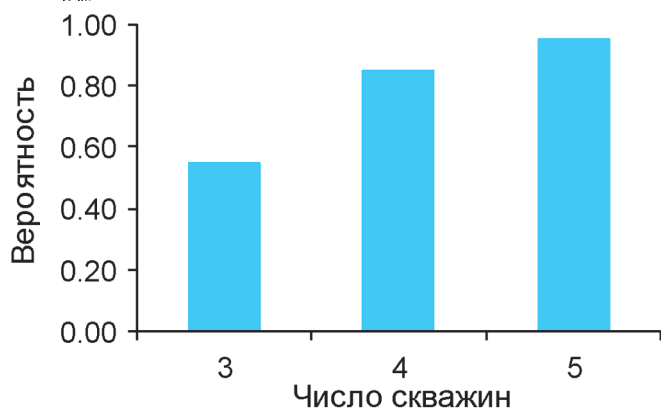
что существенно меньше доверительной вероятности. Оценим, насколько повысится значение доверительной вероятности с добавлением еще одной скважины:

$$P = \frac{(3-1-1)}{(3-1)1} (1-0,82)^1 0,82^3 = 0,30.$$

В этом случае суммарная вероятность составит 0,85, что также меньше доверительного ее значения. Следовательно, необходимо бурение пятой скважины. Тогда суммарная вероятность увеличится на:

$$P = \frac{(3-2-1)}{(3-1)2} (1-0,82)^2 0,82^3 = 0,11.$$

Таким образом, бурение пяти скважин достаточно для того, чтобы с кумулятивной вероятностью 96 % получить три скважины с идентичной позицией представительного пояса в шлейфе шла-



Дискретное распределение, задающее кумулятивную вероятность того, что три из пяти пробуренных скважин будут иметь расхождение ниже заданного критерия

ма для обоснования методики шламового опробования (рисунок).

Полученный результат оценки числа скважин, необходимого и достаточного для обоснования методики опробования конусовидного шлейфа шлама, хорошо коррелируется с данными экспериментальных исследований по разработке такой методики для Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения [1]. В частности, на двух его участках из трех пробуренных скважин, а на третьем участке из четырех таких скважин одна скважина каждого участка характеризовалась более высоким, чем критериальное (+10% отн.) расхождением между значениями содержания полезного компонента в объединенной пробе из представительного для остальных скважин кольцевого пояса и в валовой пробе шлама. Следует также подчеркнуть, что установленного числа скважин достаточно даже при характерном для этого месторождения широком диапазоне доли случайной изменчивости в формировании шлейфа шлама (0,28–0,69).

Применительно к вытянутому шлейфу шлама использовать для решения поставленной задачи изложенную методику не представляется возможным, поскольку на месторождении было пробурено всего три скважины с таким шлейфом. Однако то, что по результатам экспериментальных исследований расхождение между содержанием P_2O_5 в валовой пробе и объединенной пробе по всем трем

скважинам укладывается в интервал 0,62–2,11 % отн. при критическом 10 % отн. [2], позволяет говорить о приемлемости установленного необходимого и достаточного числа скважин (5) независимо от геометрических особенностей шлейфа шлама.

Сказанное выше с учётом того, что изменчивость природных факторов в пределах одного месторождения, независимо от его генетического и промышленного типа, не влияет сколько-нибудь значимо на параметры методики отбора шламовых проб, позволяет утверждать, что пяти экспериментальных скважин по каждому типу шлейфа (конусовидному или вытянутому) достаточно для обоснования методики шламового опробования любого рудного месторождения.

Выводы

1. По результатам экспериментального обоснования методики шламового опробования буровзрывных скважин при открытой разработке Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения доказано, что для установления позиции представительного относительно всего объёма шлама пояса, из которого будут отбираться частные пробы, составляющие объединенную пробу, идущую на обработку и анализ, достаточно пяти экспериментальных скважин по каждому геометрическому типу шлейфа (конусовидному и удлинённому по линии буровой станок—устье скважины).

2. Анализ отечественного опыта проведения подобного экспериментального обоснования на месторождениях различного генетического и промышленного типа показал отсутствие значимого влияния изменчивости природных факторов на параметры методики отбора шламовых проб в пределах одного месторождения. Это обстоятельство, а также широкий диапазон доли случайной изменчивости формирования шлейфа шлама экспериментальных скважин, исследованных на Ковдорском апатит-штаффелитовом месторождении, свидетельствуют о том, что установленное для него оптимальное число экспериментальных скважин по каждому типу шлейфа достаточно для обоснования методики шламового опробования любого рудного месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунаев В.А., Яницкий Е.Б. Методика опробования шлама буровзрывных скважин при открытой разработке Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. №1. С.30–35.
2. Дунаев В.А., Яницкий Е.Б. Особенности формирования шлейфа отложения шлама буровзрывных скважин и распределения в нем компонентов, регламентирующих качество минерального сырья (на примере Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения) // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. 2014. № 10 (181). Вып. 27. С.158–165.
3. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. В 2 кн./Пер. В.А. Голубевой / Под ред. Д.А. Родионова. Кн. 1. М.: Недра, 1990. 319 с.
4. Задачник для лабораторных занятий по курсу «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых». Учебное пособие. Изд. 2, перераб. и доп./ Под ред. Е.О. Погребницкого. М.: Недра, 1975. 216 с.
5. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М., Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.
6. Поддубный А.П. Исследования вопросов опробования железных руд по шламу скважин бескернового бурения на карьерах КМА (на примере Лебединского месторождения): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1970, 29 с.
7. Совершенствование и внедрение методики опробования шлама взрывных руд по шламу скважин Донского ГОКа. Отчет о НИР / ВИОГЕМ, отв. исп. А.П. Поддубный. Белгород, 1986. 153 с.
8. Труфанов Д.В., Поддубный А.П., Шапошников В.А. Способ опробования массива полезных ископаемых по шлейфам выноса шлама при бурении. А.с.1122033. 1983.