УДК 622.12

Вероятностный подход к оценке динамического бортового содержания

В.И.БРАГИН¹, М.Ю.ХАРИТОНОВА²✉, Н.А.МАЦКО³

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

² Институт химии и химической технологии – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

³ Институт системного анализа – ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия

Как цитировать эту статью: Брагин В.И. Вероятностный подход к оценке динамического бортового содержания / В.И.Брагин, М.Ю.Харитонов, Н.А.Мацко // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 617-625. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.1

Аннотация. Бортовое содержание является важным параметром кондиций, определяющим количество и качество промышленных запасов и эффективность разработки. Сегодня российские горные компании работают с утвержденными кондициями. Устанавливая постоянные кондиции, государство стремится не допустить хищническую эксплуатацию, сокращение добычи в периоды снижения цен, уменьшение поступлений в бюджет, выражая интересы всех членов общества. Но насколько постоянные кондиции защищают интересы государства? Ответ на этот вопрос не однозначен и не лежит на поверхности. Государственная комиссия по запасам, отечественные исследователи ведут работу по поиску рационального решения проблемы кондиций. Одним из вариантов решения являются динамические кондиции. Эффективность их применения доказана для отдельных горных предприятий, но переносить эти выводы на всю минерально-сырьевую базу страны неправомерно. В статье изложен новый подход для определения динамического бортового содержания, меняющегося в зависимости от цены на минеральное сырье. Динамическое бортовое содержание предлагается определять на основе показателей, утвержденных в ТЭО постоянных разведочных кондиций с использованием предельно допустимых затрат в регионе. Подход позволяет рассчитать эффект от внедрения в практику недропользования динамического бортового содержания для государства (как сумма полученных налогов) и для недропользователей (как сумма дохода). Для группы золотосодержащих месторождений с открытым способом разработки установлено, что отработка запасов с использованием динамических значений бортового содержания в периоды изменения цен обеспечивает соблюдение интересов государства и пользователей недр.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база; кондиции; динамическое бортовое содержание; эффективность разработки месторождений полезных ископаемых; вероятность вовлечения запасов в разработку

Введение. Задача определения бортового содержания (БС) является ключевой для горнодобывающих предприятий. С его помощью происходит оконтуривание рудного тела, постановка запасов на государственный учет, планирование горных работ. В настоящее время в России БС утверждается государственной комиссией (ГКЗ) и закрепляется в технико-экономическом обосновании (ТЭО) постоянных кондиций. Во всех решениях по обоснованию и утверждению кондиций, при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых основным критерием следует считать приоритет интересов государства как собственника недр. Закрепляя постоянные кондиции, государство выражает интересы всех членов общества и преследует цель обеспечить наиболее полное извлечение невозобновляемых полезных ископаемых. Проблема определения БС непростая, от оптимальности выбора БС зависит эффективность разработки запасов и большинство технологических параметров разработки.

Постановка проблемы. Подсчет бортового содержания в России проводится по вариантным расчетам. Обычно берутся не менее трех вариантов бортовых содержаний, соответственно, три варианта оконтуривания, проводятся расчеты показателей эффективности и выбирается лучший в соответствии с общепринятыми критериями экономической эффективности, чтобы обеспечить оптимизацию освоения месторождения в целом. Величину БС обычно принимают в интервале от минимально промышленного до содержания в хвостах переработки. Данное значение БС закрепляется в ТЭО постоянных кондиций, определяет общие запасы, среднее содержание в рудах месторождения.

Выбор БС в зарубежной практике недропользования влияет на доходность и жизнеспособность горных предприятий, объем доступных ресурсов. Поэтому БС является основным оптимизируемым параметром [22, 42]. Бортовое содержание используется для оконтуривания рудных тел с выделением продуктивной толщи и пустой породы в контурах горных выработок [20, 24]. Если содержание полезных компонентов выше БС, то порода классифицируется как руда, если ниже – как пустая порода [21]. Основным требованием при определении БС является достижение безубыточности для каждой извлекаемой тонны руды [4].

В зарубежной практике определение величины БС является неотъемлемой частью оптимизации стратегии добычи, при этом считается, что оно должно быть конечным результатом процесса оптимизации и планирования, а не входным параметром [30, 32, 37]. Одновременно оптимизируются добывающие и перерабатывающие мощности, варианты календарного планирования, бортовое содержание для максимизации чистой приведенной стоимости [25]. Экономические критерии исключаются из рассмотрения до получения геологической модели, максимально близкой к действительности, действует принцип «Геология первична, экономика вторична». Только после моделирования геологической среды месторождения переходят к выбору бортового содержания [8]. Бортовое содержание представляет собой значение, которое компания способна выбрать самостоятельно. В качестве критерия оптимизации БС обычно используется максимум чистой приведенной стоимости (*NPV*) [27, 35, 42]. Так, основоположник теории бортовых содержаний К.Лейн ставит задачу оптимизации БС с точки зрения максимизации *NPV*, учитывая три составляющих процесса горного производства и три вида материалов, а именно, горной массы, руды и конечного продукта [31].

В российской практике недропользования давно ведутся дискуссии о частичном или полном отказе от закрепления такого важнейшего параметра, как бортовое содержание. Постоянное бортовое содержание является оптимальным для конкретного временного интервала, для статических экономических условий. Колебания цен, затрат в рыночных условиях приводят к тому, что работа по закреплению БС не обеспечивает разработку запасов по оптимальным контурам и не способствует рациональному использованию недр. При изменении цен или других экономических параметров БС необходимо пересматривать, заново производить оконтуривание и пересчет запасов.

Для решения данной проблемы «Методическими рекомендациями по составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическим обоснованиям кондиций для подсчета запасов месторождений полезных ископаемых» (Утв. Минприроды России 05.06.2007) предлагается использование наряду с постоянными эксплуатационных кондиций. ТЭО эксплуатационных кондиций разрабатывается на ограниченный срок (не более 3-5 лет) и распространяется на запасы, намеченные к отработке в этот период. Действие эксплуатационных кондиций может продлеваться на следующий срок при согласовании с ГКЗ в отношении определенного участка недр. При следующем изменении геологических или экономических условий горной компании приходится снова проходить нелегкий путь утверждения кондиций и полного пересчета и пере утверждения запасов.

В качестве другого инструмента для оперативного пересчета запасов без разработки нового ТЭО предлагаются динамические или «плавающие» кондиции, которые позволяют обосновать оптимальное бортовое содержание, количество запасов в зависимости от рыночной цены полезного ископаемого на данный момент. В работе [11] последователем динамической теории открытых горных работ С.С.Резниченко представлены подходы к обоснованию динамических разведочных и эксплуатационных кондиций.

Обоснование запасов полезных ископаемых, подсчитанных по изменяющимся эксплуатационным кондициям, представлено в работе [6]. Зависимость экономических показателей основных технологических процессов от БС полезного компонента представлена в работе [7]. Есть мнение, что так как проектирование и освоение месторождений носит динамический характер, то периодическое обновление эксплуатационных кондиций и уточнение запасов фактически означает переход к динамическим кондициям [13].

Большинство специалистов в области геолого-экономической оценки месторождений, в том числе и в ГКЗ, считают использование динамических кондиций (ДК) целесообразным. Сторонники ДК считают, что их применение позволит учесть инновационные возможности предприятий, оперативно пересчитывать запасы полезных ископаемых без детальной разработки новых ТЭО

кондиций, эффективно оценивать реальное состояние минерально-сырьевой базы и формировать стратегии ее освоения [1, 3, 18]. Для экспрессного определения динамического БС предлагается использовать графоаналитические зависимости [10] и программу аналитического расчета ТЭО кондиций (ЧП «Геософт», Донецк; ООО «Забайкалзолотопроект», Чита) [12].

Несмотря на это, динамические кондиции не применяются по ряду причин, главные из которых – сложившаяся система контроля использования минерально-сырьевой базы (МСБ) и длительность процедуры составления, рассмотрения и утверждения кондиций [17].

По нашему мнению, к этим причинам можно добавить еще одну, не менее важную. Динамические кондиции до сих пор не нашли своего применения, так как не доказана их эффективность для государства на уровне сырьевой базы. В ряде работ показана эффективность применения ДК на примере отдельных месторождений. В [19] для инвестиционного проекта месторождения «Полиметалл» показан ущерб от невозможности своевременного изменения БС. В [5] показано на примере золоторудного месторождения на территории Красноярского края, что применение оптимальной величины бортового содержания обеспечивает баланс интересов государства и недропользователя. В [14] описана разновидность ДК, успешно применяемая на нескольких месторождениях в Китае. Взаимосвязь ДК с капитализацией горных предприятий, модель и результат расчета для Наталкинского месторождения золота в Магаданской области приведены в [1]. Но переносить выводы об эффективности ДК, сделанные для отдельных месторождений, на всю МСБ, неправомерно. Для объективного решения вопроса об эффективности ДК необходимо провести расчеты по всем горнодобывающим предприятиям страны, сравнить эффект от освоения при работе по утвержденным кондициям и при работе по ДК, зависящим от уровня цен. И только после этого возможно сделать вывод, насколько оправдано внедрение ДК и динамического БС в практику недропользования.

Осуществить данные расчеты для всех месторождений, составляющих МСБ страны или региона, с использованием стандартных расчетных процедур не представляется возможным. И дело не в трудоемкости расчетов. Существующие компьютерные программы позволяют сделать это достаточно быстро. Проблема в отсутствии необходимых исходных данных для таких расчетов. Если геологические данные по отдельным месторождениям могут быть доступны, то данные по затратам предприятий, необходимые для подсчета доходности освоения, недоступны и, зачастую, недостоверны. Если отдельный недропользователь может произвести расчеты и показать эффективность ДК для условий своего месторождения, то вывод об эффективности ДК для всей МСБ не очевиден. Только в случае, если выгода от ДК будет доказана не на примере отдельного месторождения, а для МСБ страны в целом, вопрос об их применении может быть решен положительно.

В данной статье предлагается решение для определения динамического БС для группы горнодобывающих предприятий, основанное на применении подхода, в котором количественной мерой доступности запасов полезных ископаемых является вероятность их вовлечения в разработку [9]. Подход апробирован на примере различных сырьевых баз, показал адекватность в описании реальных процессов. Достоинство подхода в том, что он позволяет рассчитать эффект от разработки месторождений без использования фактических затрат, используя статистические оценки и значения граничных затрат. Определение БС с учетом граничных затрат на открытую разработку предложено в [15]. Авторы при известном граничном содержании полезных компонентов в руде оценивают величину эксплуатационных затрат путем вычислений с использованием предприятий-аналогов со схожими условиями разработки. Вероятностный подход основан на других предпосылках и подразумевает возможность получения информации об исследуемом объекте на базе информации о совокупности месторождений данного типа. Для этого строятся модели «содержание – запасы», ядром которых являются G-T-диаграммы (диаграммы «содержание – запасы»). Такие модели широко применяются в зарубежной практике, но, в отличие от данной работы, используются для прогнозирования запасов еще не открытых месторождений [26, 34, 36, 39, 40], для определения оптимального БС [28, 33, 43], и выделения экономического статуса месторождений [38, 41]. В нашей статье аналогичный подход используется для определения динамического БС.

Теоретическая модель. Исходными данными для расчетов является информация о размерах запасов руды, среднем содержании полезных компонентов, количестве разрабатываемых и резервных объектов для однотипных месторождений со сходными условиями разработки. Использование

для построения модели двух факторов – запасов руды и среднего содержания полезного компонента обосновано исследованиями, в которых установлено, что для золотых месторождений рудных и россыпных, медно-порфировых месторождений мира, медьсодержащих месторождений России с открытым способом разработки, существенное влияние на эффективность разработки оказывают запасы и содержание. Влияние других факторов значительно слабее [2, 9, 16, 29]. Информация отражается в виде диаграммы «запасы – содержание». С использованием процедуры логит-регрессии определяется функция принадлежности объектов к классам разрабатываемых и неразрабатываемых, т.е. вероятность вовлечения месторождений в разработку (P) в зависимости от размеров запасов, содержания полезных компонентов в руде,

$$P = \frac{\exp(b_0 + b_1\alpha + b_2S)}{1 + \exp(b_0 + b_1\alpha + b_2S)}, \quad (1)$$

где b_0, b_1, b_2 – коэффициенты модели; α – среднее содержание полезного компонента в руде, г/м³; S – запасы руды, тыс.м³. Затем строится модель для конкретной региональной сырьевой базы, определяются коэффициенты, прогнозируется значение зависимой переменной P . В рамках модели (1) переменная P будет иметь математический смысл вероятности того, что месторождение с заданными α, S принадлежит к числу находящихся в эксплуатации.

На основе моделирования вероятности освоения P для совокупности однородных месторождений определяется ряд показателей.

Линия граничной вероятности освоения – разделяет эффективно работающие предприятия от неэффективных. Линия отделяет группу предприятий с эффективностью ниже предельной. Такая граница может быть построена с использованием ценовых кривых и данных о динамике сырьевого рынка. Так, по данным Rio Tinto Mine Information System цены на Лондонской бирже металлов в течение длительных временных интервалов колеблются вокруг самых высоких затрат горных предприятий, составляющих 10 % от общего числа горнодобывающих предприятий [23]. Текущие затраты предприятий, находящихся на линии граничной доступности, являются замыкающими и в долгосрочной перспективе не превышают рыночных цен на минеральное сырье. Разработка запасов этих месторождений подразумевает их освоение с нулевой эффективностью, затраты на разработку этих месторождений являются предельно допустимыми.

Граничное содержание полезного компонента в руде ($\alpha_{\text{гран}}$) – содержание, при котором стоимость добытой руды с граничным содержанием полезного компонента только покрывает эксплуатационные затраты,

$$\alpha_{\text{гран}} = KS^{-\frac{b_2}{b_1}}, \quad (2)$$

где $K = \left[\frac{P_{\text{гран}}}{1 - P_{\text{гран}}} \right]^{\frac{1}{b_0}} e^{-\frac{b_0}{b_1}}$; $P_{\text{гран}}$ – граничная вероятность освоения. Формула (2) получена из (1) путем преобразований.

Эффективные запасы (ЭЗ) – аналог рентабельных запасов металла, определяются как разность общих запасов металла и запасов, эквивалентных по стоимости суммарным затратам на разработку месторождения (компенсационный металл),

$$\text{ЭЗ} = S(\alpha - \alpha_{\text{гран}}). \quad (3)$$

Величина компенсационного металла определяется как $S\alpha_{\text{гран}}$. Рассчитанный в натуральном виде показатель в денежном выражении является эквивалентом чистого дохода и показывает интегральный доход за весь срок освоения месторождения.

Удельные (на металл) эксплуатационные затраты на разработку:

$$\Theta = \frac{C\alpha_{\text{гран}}}{\alpha}, \quad (4)$$

где C – средняя рыночная цена на металл, дол./г.

Описанная модель применена для решения ряда задач [2, 16, 29]. В настоящей работе на основе вероятностного подхода предлагается модель для расчета динамического БС.

Допустим, что для месторождения подсчитано и утверждено в ТЭО постоянных разведочных кондиций оптимальное БС (при определенной цене, производительности горного предприятия и эксплуатационных затратах). При изменении цены этот вариант перестает быть оптимальным. Снижение цены способствует увеличению оптимального БС и, соответственно, сокращению запасов, а рост цены предполагает уменьшение БС и рост извлекаемых запасов. Мы предполагаем, что запасы руды, скорректированные в результате изменения цены и пересмотра БС, со средним содержанием полезного компонента α_2 и объемом S_2 , будут отрабатываться с прежними значениями (утвержденными в ТЭО) удельных эксплуатационных затрат и производительности по руде. Тогда новая цена конечной продукции должна соответствовать значению, определяемому как

$$Ц_2 = Э_{ТЭО} \frac{\alpha_2}{\alpha_{\text{гран}2}}, \quad (5)$$

где $Э_{ТЭО}$ – эксплуатационные затраты, утвержденные в ТЭО, дол./г; α_2 – среднее содержание золота при оконтуривании запасов по БС, отличному от ТЭО, г/т; $\alpha_{\text{гран}2}$ – граничное содержание полезного компонента при оконтуривании по бортовому содержанию, отличному от ТЭО, определяется по формуле (2).

Обоснованность вычисленного таким образом динамического содержания обусловлена применением для расчета показателей, утвержденных в ТЭО, а также применением предельно допустимых затрат для данного вида сырья, определяемых вероятностным подходом.

Таким образом, определение динамического БС в предлагаемом подходе базируется на показателях точных повариантных расчетов ТЭО и предельно допустимых затрат на разработку запасов.

Обсуждение результатов. Исходными данными для расчетов послужила геологическая информация по однотипным золотосодержащим месторождениям со сходными условиями отработки, так называемые кривые cut – off – grade – tonnage, которые показывают связь «бортное содержание – среднее содержание – тоннаж». Использована информация по 28 золотосодержащим месторождениям из технических отчетов NI 43-101. Построена логит-регрессионная модель для золотосодержащих месторождений мира с открытым способом разработки, значения параметров: $b_0 = -0,94$, $b_1 = 2,86$, $b_2 = 0,48$. Модель статистически значима, p -уровень ниже граничного, остатки подчиняются нормальному закону распределения, не коррелированы между собой. Для каждого месторождения подсчитаны граничное содержание золота (формула (2)), цена, при которой отработка руд, оконтуренных по бортовому содержанию, отличному от ТЭО постоянных кондиций, возможна при тех же эксплуатационных затратах, что и в ТЭО (формула (5)), эффективный запас металла (формула (3)), компенсационный металл.

Геологическая информация и пример расчета для одного из месторождений (Ingrid Deposit) приведены в табл.1. Подсчитаны и утверждены государственной экспертизой в ТЭО постоянных кондиций запасы золота в количестве 28,8 т. Они выделены по БС = 0,5 г/т и запасах руды 13,7 млн т, среднее содержание золота в руде 2,1 г/т. Бортное содержание в ТЭО постоянных разведочных кондиций определено при цене золота 44,8 дол./г, эксплуатационные затраты 13,3 дол./г.

Снижение цены, например, до 37,9 дол./г приведет к тому, что с эксплуатационными затратами 13,3 дол./г предприятие сможет отрабатывать запасы, оконтуренные при БС = 0,7 г/т, количество золота при этом снизится до 27,2 т. Запасы, утвержденные в ТЭО постоянных кондиций, должны быть сохранены в специальных отвалах для последующей отработки при повышении цены. Организация работ по созданию специальных отвалов для складирования временно некондиционных запасов может не отличаться от организации работ на традиционно создаваемых усреднительных складах.

Повышение цены золота относительно значений, при которых утверждены ТЭО постоянных разведочных кондиций, например, до 58,7 дол./г, приведет к тому, что при отработке запасов, оконтуренных при БС = 0,3 г/т, предприятие сохранит эксплуатационные затраты на утвержденном в ТЭО уровне и сможет добыть 30,1 т металла.

При проведении исследований моделировались различные варианты изменения цен на минеральное сырье. Для каждого варианта изменения цены сравнивались показатели эффективности разработки месторождений с постоянными и динамическими значениями БС.

Таблица 1

Исходная информация и результат расчета

Бортовое содержание, г/т	Запасы руды, млн т	Среднее содержание золота, г/т	Запасы металла, т	Эксплуатационные затраты, дол./г	Цена, дол./г	Граничное содержание полезного компонента в руде, г/т	Эффективный запас металла, т	Компенсационный металл, т
Геологическая информация				По ТЭО	Результат расчета			
0,1	21,8	1,43	31,17	13,29	92,6	0,21	26,70	4,47
0,2	19,2	1,6	30,72	13,29	69,8	0,30	24,87	5,85
0,3	17,2	1,75	30,10	13,29	58,7	0,40	23,28	6,82
0,4	15,4	1,92	29,57	13,29	50,6	0,50	21,81	7,75
0,5*	13,7	2,1	28,77	13,29	44,8	0,62	20,25	8,52
0,6	12,3	2,28	28,04	13,29	40,7	0,74	18,89	9,16
0,7	11,2	2,43	27,22	13,29	37,9	0,85	17,68	9,53
0,8	10,3	2,6	26,78	13,29	35,5	0,97	16,77	10,01
0,9	9,4	2,75	25,85	13,29	33,6	1,09	15,64	10,21
1	8,8	2,88	25,34	13,29	32,3	1,18	14,92	10,42

* Бортовое содержание в ТЭО кондиций.

Вариант 1. Стабильное развитие минерально-сырьевой базы – открыто достаточное количество месторождений разного качества и масштаба, часть из них (лучшие с точки зрения недропользователей) осваиваются. Открываются и разведываются новые запасы, имеется достаточный резерв неосвоенных месторождений. Запасы металла осваиваемых месторождений по всей МСБ составляют 688 т. Эффективные запасы 380 т. Цена на металл 44,8 дол./г.

Вариант 2. Параметры МСБ не изменились, произошло повышение цены на металл на 10 % от исходного состояния. При работе на постоянных кондициях запасы металла не изменятся, но за счет роста цены величина эффективных запасов составит 481 т. При использовании ДК часть предприятий сможет перейти на меньшие значения БС, увеличить запасы, часть будет использовать старые кондиции. Прежние кондиции будут использовать те предприятия, которые уже работают при минимальном из возможных среднем содержании. Запасы металла по всей МСБ возрастут и составят 716 т, эффективные запасы составят 489 т. Таким образом, результат демонстрирует выгоды для недропользователей и государства при работе на ДК в условиях повышения цены.

Вариант 3. Снижение среднего уровня цен на 10 % от исходного состояния. Другие параметры МСБ не изменились. При понижении цены постоянные кондиции должны сыграть свою положительную роль и обеспечить полноту использования недр, не допустить снижения налоговых поступлений в доходную часть бюджета, не допустить выборочную отработку запасов и потерю полезных ископаемых. Поэтому при использовании постоянных кондиций количество добываемого металла остается прежним 688 т, но из-за снижения цен эффективными будут только 248 т. В такой ситуации недропользователи существенно недополучат доход, а часть их будут нести убыток, доход государства также снизится.

При работе с использованием динамических значений БС часть предприятий увеличат содержание и смогут сохранить эксплуатационные затраты на прежнем уровне (уровне ТЭО), часть останутся работать при прежних кондициях и снизят свою эффективность. Последнее относится к предприятиям, геолого-экономические характеристики запасов которых не позволяют увеличить среднее содержание, т.е. они уже работают при самом высоком среднем содержании. Запасы металла сократятся до 633 т, что вызовет сокращение налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ). Поскольку одновременно эффективные запасы возрастут, это вызовет рост налога на прибыль. В сумме эти два налога (НДПИ, налог на прибыль) увеличатся. В целом по МСБ эффект положителен и для государства, и для недропользователей. Нерентабельный при данном уровне цен металл (55 т) будет сохранен в забалансовых запасах и добыт при улучшении конъюнктуры.

Результаты моделирования показали: при изменении цен на металл работа с использованием постоянных кондиций не выгодна ни государству, как собственнику недр (оно недополучит налоги в бюджет), ни горнодобывающим предприятиям (они недополучат прибыль).

Эффект применения ДК для МСБ рассчитывался для государства – как суммарные налоговые поступления в бюджет, для недропользователей – как суммарный доход. Доход недропользователей в табл.2 рассчитан как стоимость добытых полезных ископаемых минус затраты.

Таблица 2

Эффективность недропользования при изменении цен

Показатели	Вариант 1	Вариант 2 (рост цены на 10 %)		Вариант 3 (снижение цены на 10 %)	
	Исходная	БС постоянное	БС динамическое	БС постоянное	БС динамическое
Цена, дол./г	44,8	49,4		40,4	
Запасы металла, т	688	688	716	688	633
Компенсационный металл, т	308	207	227	440	369
Эффективный металл, т	380	481	489	248	264
Налог на прибыль, млн дол.	3411	4749	4828	2003	2133
НДПИ, млн дол.	1359	1494	1554	1223	1125
Доход государства, млн дол.	4769	6243	6382	3226	3258
Доход недропользователей, млн дол.	17054	23745	24140	10017	10663

Выводы. В рыночных условиях проблема определения плавающих (динамических, не постоянных) кондиций особенно актуальна, компании должны реагировать на изменения рынка, цен, чтобы не снижать эффективность отработки. Работая по кондициям, которые не являются оптимальными, постоянным кондициям, недропользователи несут убытки из-за того, что запасы отрабатываются не оптимально: или не извлекается руда, которая по устаревшим кондициям была забалансовой, или предприятие добывает руды, экономически нерентабельные сегодня. Постоянные кондиции призваны защищать интересы государства как собственника недр. Происходит ли это на самом деле? Ответ на этот вопрос сложен и не допускает упрощенных оценок, сделанных на основе выводов для отдельных горнодобывающих предприятий.

Существующие отечественные работы по подсчету динамических кондиций выполнены с использованием повариантных расчетов. Они не могут применяться для оценки эффективности ДК для минерально-сырьевой базы из-за недоступности исходных данных по затратам. В зарубежной практике недропользования понятие постоянных кондиций отсутствует. Горным бюро США для оптимизации бортового содержания применяются G-T-модели (модели месторождений полезных ископаемых). В статье данные модели использованы для подсчета динамического бортового содержания, изменяющегося в зависимости от цены на конечную продукцию. Предложен подход, который позволяет для каждого варианта «бортовое содержание – среднее содержание – запасы» по формуле (5) найти цену, при которой запасы могут быть отработаны с себестоимостью, утвержденной в ТЭО. В соответствии с этим выбирается вариант бортового содержания, который является динамическим, зависящим от цены. Расчет осуществляется с учетом предельно допустимых затрат в регионе по вероятностному подходу, на основе статистических оценок. Для расчетов не требуются фактические данные о затратах действующих предприятий или предприятий-аналогов.

С использованием предложенного подхода произведена оценка эффективности применения динамического БС для группы золотодобывающих предприятий. Установлено, что если БС задано и не является переменной величиной, то в случае изменения цен государство недополучает налоги с добычи. Изменяя БС, переходя к динамическому БС, можно снизить отрицательное влияние от изменения цен. Оработка запасов по динамическому БС, меняющемуся в зависимости от цены, обеспечивает соблюдение интересов и государства, и недропользователей. Вывод сделан не для отдельного горнодобывающего предприятия, а для группы предприятий, разрабатывающих однотипные месторождения.

Данный подход может быть использован как инструмент для оценки эффективности применения ДК для сырьевой базы страны или региона при доступности исходных данных по осваиваемым и резервным месторождениям страны. Использование показателей, утвержденных в ТЭО, и предельно допустимых затрат в регионе, гарантируют отсутствие экономического волюнтаризма при определении динамического БС по предлагаемому методу.

Одной из проблем, связанной с практическим применением ДК, является влияние изменения содержания полезных компонентов в руде на процесс обогащения. Этот вопрос требует отдельного

решения. Здесь необходимо отметить, что на практике существует возможность перенастройки обогащательных процессов в зависимости от качества добываемого минерального сырья. Имеются примеры, когда на ГОКе производится добыча и обогащение двух типов руд. Главным, на наш взгляд, является условие, чтобы перенастройка обогащательной фабрики с одного типа руды на другой занимала существенно меньше времени, чем период работы со скорректированным содержанием полезного компонента. В данном случае это условие соблюдается.

Еще одним вопросом, требующим специальных исследований, является установление оптимальных сроков пересмотра кондиций. Периодичность корректировки кондиций может определяться на основе инерционности временных рядов изменения цен на металлы. В исследованиях, выполненных авторами ранее, установлено, что наименее инерционными (высоко изменчивыми) являются процессы изменения цен на медь, никель, цинк и свинец. Временные ряды цен на золото, алюминий и олово, напротив, обладают высокой инерционностью: тенденции в изменении цены сохраняются дольше. Экономические циклы обычно характеризуются следующими фазами: кризис, депрессия, оживление, подъем. Периодичность пересмотра кондиций может соответствовать четверти цикла изменения цен на соответствующий конечный продукт. Это отправная точка для определения сроков пересмотра кондиций. Определение оптимальных сроков корректировки кондиций требует дополнительных исследований индивидуально для каждого объекта и зависит от размеров запасов и технологии разработки месторождения. При этом возможности корректировки выемочных процессов должны предусматриваться в ТЭО кондиций и ТЭО разработки месторождения.

Таким образом, использование изложенного подхода предполагает решение ряда других связанных вопросов. К ним относятся обоснование оптимальных моментов, когда целесообразно пересматривать бортовые содержания, и сроков, в пределах которых они будут действовать, а также планирование горных работ и учет запасов при использовании динамических кондиций и другие дополнительные задачи. Эти и другие вопросы требуют дальнейших исследований в направлении развития моделей (1) и (5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуславская Л.И. Капитализация горнорудных предприятий // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 336-338.
2. Брагин В.И. Оценка эффективности освоения перспективных месторождений меди и золота Красноярского Севера / В.И.Брагин, Н.А.Мацко, М.Ю.Харитонова // Арктика и Север. 2017. № 26. С. 5-13. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2017.26.5
3. Иванова Н.В. Кондиции как инструмент госрегулирования недропользования / Н.В.Иванова, М.И.Игнатова // Известия Уральского государственного экономического университета. 2010. № 4 (30). С. 96-100.
4. Капустин Ю.Е. Обоснование бортового содержания и оптимизация стратегии развития открытых горных работ. СПб: Недра, 2017. 280 с.
5. Коткин В.А. Баланс интересов государства и недропользователей при выборе бортового содержания полезного компонента // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 5. С. 57-60.
6. Лемента О.Ю. Алгоритм подсчета запасов для гибких эксплуатационных кондиций / О.Ю.Лемента, В.А.Овсейчук // Вестник Читинского государственного университета. 2011. № 4 (71). С. 96-101.
7. Морозов М.Д. Исследование влияния бортового содержания полезного компонента в руде на экономические показатели рудника // Записки Горного института. 2010. Т. 186. С. 71-74.
8. Пертель Д.А. Компьютерные технологии в практике освоения недр России // Записки Горного института. 2005. Т. 162. С. 83-90.
9. Пешков А.А. Вероятностные модели оценки доступности минеральных ресурсов / А.А.Пешков, Н.А.Мацко, М.Ю.Харитонова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № S1. С. 265-282.
10. Подтуркин Ю.А. Динамические кондиции как инструмент достижения балансов государства и недропользователя при разработке месторождений / Ю.А.Подтуркин, В.А.Коткин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 4. С. 54-57.
11. Резниченко С.С. Особенности обоснования динамических разведочных и эксплуатационных кондиций / С.С.Резниченко, Н.М.Антипова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 11. С. 329-333.
12. Свицкий М.А. Рациональное использование недр и динамические кондиции // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2008. № 2. С. 62-64.
13. Смирнов А.А. О динамических кондициях для подсчета запасов рудных полезных ископаемых // Недропользование XXI век. 2009. № 4. С. 31-34.
14. Фадеичев А.Ф. Совершенствование обоснования кондиций при геолого-экономической оценке месторождений / А.Ф.Фадеичев, О.В.Косолапов, Е.М.Цейтлин // Известия Уральского государственного горного университета. 2015. № 3 (39). С. 47-51.
15. Фомин С.И. Определение бортового содержания полезного компонента в руде с учетом граничных затрат на открытую разработку / С.И.Фомин, В.Д.Левчук // Маркшейдерия и недропользование. 2016. № 5(85). С. 43-48.
16. Харитонова М.Ю. Развитие вероятностного подхода к оценке доступности месторождений полезных ископаемых / М.Ю.Харитонова, Н.А.Мацко // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2015. № 2 (22). С. 104-107.
17. Чернявский А.Г. О динамических кондициях для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых и возможных областях их использования // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 6. С. 34-37.

18. Шаклеин С.В. Динамические кондиции – методическая основа государственного мониторинга минерально-сырьевой базы угольной отрасли / С.В.Шаклеин, Т.Б.Рогова, В.О.Ярков // Недропользование XXI век. 2008. № 5. С. 44-48.
19. Эштитейн И.В. Повышение эффективности использования недр через сближение стандартов отчетности о запасах ГКЗ и НАЭН и реформирование закона «О недрах» // Горная промышленность. 2013. № 6 (112). С. 32.
20. Abdollahisharif J. Optimal Cut-Off Grade Determination Based on Variable Capacities in Open-Pit Mining / J.Abdollahisharif, E.Bakhtavar, M.Anemangely // The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2012. Vol. 112. № 12. P. 1065-1069.
21. Asad M.W.A. Optimum cut-off grade policy for open pit mining operations through net present value algorithm considering metal price and cost escalation // Engineering Computations: International Journal for Computer-Aided Engineering and Software. 2007. Vol. 24. Iss. 7. P. 723-736. DOI: 10.1108/02644400710817961
22. Cairns R.D. The choice of the cut-off grade in mining / R.D.Cairns, T.Shinkuma // Resources Policy. 2004. Vol. 29. Iss. 3-4. P. 75-81. DOI: 10.1016/j.resourpol.2004.06.002
23. Crowson Ph. Inside mining: The Economics of the Supply and Demand of Minerals and Metals. London: Mining journal Books, 1998. 230 p.
24. Dynamic optimization of cutoff grade in underground metal mining / Gu Xiao-wei, Wang Qing, Chu Daozhong, Zhang Bin // Journal of Central South University. 2010. Vol. 17. P. 492-497. DOI: 10.1007/s11771-010-0512-6
25. Elkington T. Integrated open pit pushback selection and production capacity optimization / T.Elkington, R.Durham // Journal of Mining Science. 2011. Vol. 47. P. 177-190. DOI: 10.1134/S1062739147020055
26. Grade and tonnage model for tungsten skarn deposits / C.J.Green, G.W.Lederer, H.L.Parks, M.L.Zientek // 2020 update: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2020-5085. 23 p. DOI: 10.3133/sir20205085
27. Hall B.E. Cut-off Grades and Optimizing the Strategic Mine Plan. Victoria, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2014. 311 p.
28. Karim R.B. Using Run-of-mine Tonnage and Grade to Predict Cost and Categorize Gold Mines // International Journal of Engineering Innovation & Research. 2018. Vol. 7. Iss. 3. P. 152-158.
29. Kharitonova M.J. Influence of the time factor on the availability of deposits of nonferrous metals / M.J.Kharitonova, N.A.Matsko, A.G.Mikhaylov // Resources Policy. 2013. Vol. 38. Iss. 4. P. 490-495. DOI: 10.1016/j.resourpol.2013.06.006
30. Khodayari A. Cut-off Grade Optimization for Maximizing the Output Rate / A.Khodayari, A.Jafarnejad // International Journal of Mining and Geo-Engineering. 2012. Vol. 46. Iss. 2. P. 157-162. DOI: 10.22059/IJMGE.2012.51325
31. Lane K.F. The Economic Definition of Ore: Cut-off Grades in Theory and Practice. Second edition. London: Mining Journal Books, 1997. 149 p.
32. Minnitt R. Cut-off grade determination for the maximum value of a small Wits-type gold mining operation // The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2004. Vol. 104. Iss. 5. P. 277-283. DOI: 10.10520/AJA0038223X_2846
33. Namdini Gold Project Feasibility Study NI 43-101 Technical Report / D.Gordon, D.Evans, N.Johnson, G.Turnbull // Document Number 18113723-013-R-Rev0-2009. 402 p. URL: <https://www.cardinalresources.com.au/wp-content/uploads/2019/11/25-Nov-2019-Cardinals-Namdini-FS-NI-43-101-DRAFT-locked.pdf-v2-3461-9335-8606-v.6.pdf-rs.pdf> (дата обращения: 27.10.2021)
34. Ni-Co Laterite Deposits of the World-Database and Grade and Tonnage Models / V.I.Berger, D.A.Singer, J.D.Bliss, B.C.Moring // U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1058. 26 p. DOI: 10.3133/ofr20111058
35. Osanloo M. Using equivalent grade factors to find the optimum cut-off grades of multiple metal deposits / M.Osanloo, M.Ataei // Mineral Engineering. 2003. Vol. 16. Iss. 8. P. 771-776. DOI: 10.1016/S0892-6875(03)00163-8
36. Porphyry copper deposits of the world: Database and grade and tonnage models / D.A.Singer, V.I.Berger, B.C.Moring. U.S.Geological Survey Open File Report 2008. URL: https://www.researchgate.net/publication/285031779_Porphyry_copper_deposits_of_the_world_Database_and_grade_and_tonnage_models (дата обращения 27.10.2021)
37. Rendu J.M. An introduction to cut-off grade estimation. Second edition. Englewood: Society form Mining. Metallurgy and Exploration, 2014. 168 p.
38. Robinson G.R. Economic Filters for Evaluating Porphyry Copper Deposit Resource Assessments Using Grade-Tonnage Deposit Models, with Examples from the U.S. Geological Survey Global Mineral Resource Assessment / G.R. Robinson, W.D.Menzie // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5090-H, 21 p. DOI: 10.3133/sir20105090H
39. Sediment-hosted gold deposits of the world – Database and grade and tonnage models (ver. 1.1, June 2014) / V.I.Berger, D.L.Mosier, J.D.Bliss, B.C.Moring // 2014. U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1074. 46 p. DOI: 10.3133/ofr20141074
40. Singer D.A. Progress in integrated quantitative mineral resource assessments // Ore Geology Reviews. 2010. Vol. 38. Iss. 3. P. 242-250. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2010.02.001
41. Singer D.A. Quantitative mineral resource assessments. An Integrated Approach / D.A.Singer, D.Menzie. New York: Oxford University press, 2010. 219 p. DOI: 10.1093/oso/9780195399592.001.0001
42. The Optimization and Application of Cut-off Grades of Multiple Metal Open-pit Mines Based on Equivalent Grade / Gu Qing-hua, Bai Chun-ni, Li Fa-ben, J.Abrand // Metallurgical and Mining Industry. 2014. № 6. P. 83-91.
43. Tonnage-cutoff model and average grade-cutoff model for a single ore deposit / Qingfei Wang, Jun Deng, Jie Zhao et al. // Ore Geology Reviews. 2010. Vol. 38. Iss. 1-2. P. 113-120. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2010.07.003

Авторы: В.И.Брагин, д-р техн. наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0001-5487-7789> (Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия), М.Ю.Харитонов, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, margaret.ok@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6768-6754> (Институт химии и химической технологии – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия), Н.А.Мацко, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-8690-5369> (Институт системного анализа – ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья принята к публикации 18.10.2021.

Выход в свет 16.12.2021.