

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

УДК 622:519.868+622:502.55:33

О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ, А.Г. СЕКИСОВ, С.С. КЛИМОВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК СИСТЕМА
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Рассмотрены факторы, влияющие на миграцию загрязняющих окружающую среду тяжелых металлов и др. Обоснована необходимость учета потерь металлов с экологической и экономической точек зрения. Предложен новый показатель — «коэффициент экологической нагрузки», позволяющий соизмерить экономическую значимость получения ценных компонентов и экологический ущерб от их миграции в окружающую среду. Разработаны модель и алгоритм, реализующие выбор оптимального варианта сочетания технологических схем первичной и вторичной добычи и переработки по критерию максимума суммы дисконтированной прибыли.

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и сопутствующими им другими элементами при разработке месторождений возникает в результате техногенного повышения миграционной активности в результате взрывного и механического воздействий.

В связи с этим обстоятельством как с экологических, так и с экономических позиций целесообразно наряду с общешахтными и эксплуатационными потерями рассматривать первичные и вторичные потери металлов в техногенных (отвалах, хвостохранилищах) и природно-техногенных (целиках, недовыпущенных блоках, массивах вмещающих пород) образованиях. Другими словами, проблеме оптимизации общерудничных и эксплуатационных потерь металлов при разработке месторождений, учитывая их экологические аспекты разработки, следует решать, принимая во внимание потери металлов, связанные с их миграцией. В этом случае экономический ущерб соизмеряется с экономической целесообразностью доизвлечения при повторной разработке.

Известно, что для определения рационального уровня первичных потерь металлов необходимо осуществлять оптимизацию всего комплекса технологических циклов от эксплуатационной разведки до обогащения по критерию максимальной приведенной прибыли или по максимуму дисконтированного денежного потока.

Вместе с тем следует учитывать, что потери металлов в определенной мере относительно, так как содержащие их хвосты обогащения и часть отвалов могут быть объектами вторичной (для руд, оставленных в недрах, повторной)

разработки. Поэтому целесообразно учитывать и оценивать потери металлов в комплексе, т. е. как при первичной, так и вторичной (повторной) добыче и переработке.

Таким образом, проблема загрязнения окружающей среды напрямую связана с экономическим обоснованием вторичных, следовательно, и первичных потерь металлов. При этом главное — обоснование критерия оптимизации, позволяющего соизмерять экономическую значимость первичных и вторичных потерь, которые прямо и косвенно определяются фактором времени.

По аналогии с коэффициентом извлечения из недр [5], определяемым соотношением извлеченного металла и металла, находившегося в недрах до разработки, предлагается использовать коэффициент экологической нагрузки. Этот показатель, представляет собой соотношение металлов, мигрирующих в окружающую среду из первичных источников (руд, оставленных в недрах) и вторичных (хвостов обогащения и отвалов), с приведением по токсичности (по ПДК) и времени поступления в окружающую среду, и металлов, извлеченных из тех же источников в промышленные продукты, с приведением по ценности и времени получения [3]:

$$\hat{E}_y = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N M_{it} \frac{\dot{O}_{it}}{C_{it}} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N M'_{it} \frac{\dot{O}'_{it}}{C'_{it}}}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N M_{it} \frac{C_i}{C_{i\hat{A}\hat{E}_i}}}$$

где K_3 — коэффициент экологической нагрузки, дол. ед.; M_{it}, M'_{it} — i -й металл, извлеченный в t -ом году в виде концентрата или рафинированного продукта из недр и техногенных объектов соответственно, т; Π_{it} — ценность (прогнозная цена) металла, в t -ом году, руб./т; Z_{it} — полные расходы (затраты на добычу, переработку, налоги, транспорт), в t -ом году, руб./т; $C_i, C_{пдкi}$ — расчетное содержание i -го металла в подземных водах и его ПДК в воде, соответственно, мг/л; C_i — рассчитывается по специальным методикам [2], известным в гидрогеохимии; N — количество извлекаемых металлов, ед.; T, t — соответственно общий период оценки и текущее время, лет.

Использование предлагаемого показателя позволяет сравнить относительную экономическую значимость получения основных и попутных ценных компонентов, извлекаемых из природных и техногенных источников (по соотношению прогнозной извлекаемой ценности и расчетных затрат на получение металлов, уплату налогов, транспорт и т. д.) и косвенный экологический ущерб от миграции в окружающую среду.

Экологический ущерб, причиняемый окружающей среде загрязняющими веществами (реагентами, биоактивными элементами, в частности, тяжелыми металлами) в предлагаемом показателе оценивается по соотношению их расчетной концентрации в водной среде и предельно допустимой концентрации, установленной в соответствующих нормативных документах [2].

Для математического моделирования функционирования горного предприятия рассматриваемые варианты способов и систем разработки должны оцениваться с более детальным расчетом количества металлов в технологической продукции и металлов, переходящих в окружающую среду.

Коэффициент приведения разновременных затрат — $\frac{1}{(1+E)^t}$ [5], используемый при дисконтировании прибыли (горной ренты), отражает только косвенно экономическую значимость времени, в течение которого были осуществлены затраты и реализована продукция, и не учитывает прогрессирующие вторичные потери металлов, следовательно, снижение общей величины извлекаемой ценности из техногенных объектов. Поэтому предлагается в расчете суммарной приведенной прибыли от разработки первичных и вторичных (техногенных) запасов, с учетом миграционных потерь металлов из последних с течением времени, вводить систему дифференцированных дисконтных коэффициентов, оценивающих потери металлов из техногенных объектов за счет постепенной миграции металлов в окружающую среду и снижение или повышение извлечения при вторичной переработке за счет гипергенных изменений минералов, в первую очередь рудных.

Таким образом, коэффициент K_t , учитывающий фактор времени при оценке прибыльности повторной разработки (переработки), может быть определен следующим образом:

$$K_t = K_{ut} \cdot K_{ct},$$

где K_{ut}, K_{ct} — коэффициенты изменения извлечения и содержания металла во времени.

Поскольку эти коэффициенты при длительных периодах оценки могут изменяться (в результате пассивации поверхностей минералов за счет процессов окисления, час-

тичного переосаждения металлов вследствие сорбционных процессов), то в таких случаях расчет прибыли или дисконтированного денежного потока от вторичной разработки (переработки) должен производиться с разбивкой на периоды с различной интенсивностью проявления миграционных процессов.

В общем виде предлагаемый критерий оценки эффективности эксплуатации запасов месторождения будет представлять максимум суммы дисконтированной прибыли или дисконтированного денежного потока от первичной разработки запасов месторождения и вторичной разработки (переработки) потерянных в процессах первичной добычи и обогащения руд:

$$\begin{aligned} \ddot{y} = & \sum_{t=1}^T \frac{(\ddot{O}_t - \ddot{N}'_t) P_t K_I K_O \bar{C}}{(1+E)^t} + \\ & + \left[\sum_{t=1+n}^T \frac{(\ddot{O}'_t - \ddot{N}'_t) P_t (1-K_I) \bar{C} K_{ut} K_{ct}}{(1+E)^t} + \right. \\ & \left. + \sum_{t=1+n}^T \frac{(\ddot{O}''_t - \ddot{N}''_t) P_t (1-K_O) K_I \bar{C} K''_{ut} K''_{ct}}{(1+E)^t} \right], \end{aligned}$$

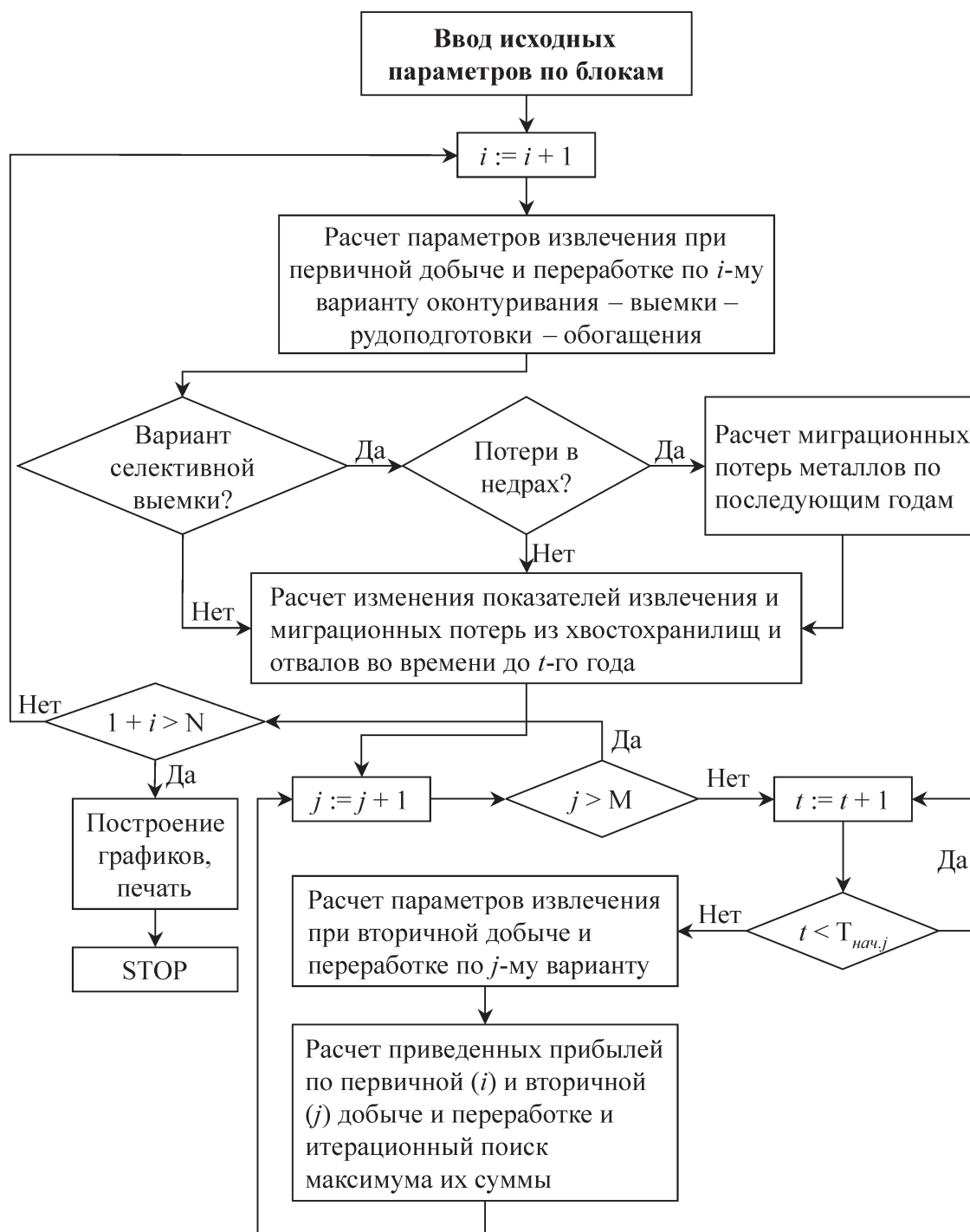
где Pr — сумма получаемых приведенных прибылей, руб.; Π_t и C_t — соответственно извлекаемая ценность и себестоимость в t -ом году, руб./т; $\ddot{O}'_t, \ddot{N}'_t, \ddot{O}''_t, \ddot{N}''_t$ — соответственно ценность и себестоимость получения извлекаемых при вторичной добыче и вторичной переработки концентратов (металлов) из разубоженной и/или некондиционной руды и из хвостов первичного обогащения в t -ом году, руб./т; P_t — количество погашенных запасов руды в t -ом году; \bar{C} — среднее содержание металла в руде; K_H, K_O — коэффициенты извлечения из недр и при обогащении, дол. ед.; $K_{ut}, K_{ct}, K''_{ut}, K''_{ct}$ — коэффициенты изменения извлечения и содержания металла во времени в недоизвлеченной руде и хвостах обогащения, дол. ед.; E — коэффициент приведения разновременных затрат, дол. ед.; t, T — текущее и конечное время оценки, лет; n, k — время начала вторичной добычи и переработки концентратов (металлов) из разубоженной и/или некондиционной руды и хвостов первичного обогащения, лет.

Алгоритм, реализующий этот критерий при выборе оптимального варианта сочетания технологических схем первичной и вторичной добычи и переработки, представлен в виде блок-схемы на рисунке.

В реальных экономических условиях извлечение металлов из техногенных объектов, как правило, не выгодно крупным горно-добывающим компаниям. С учетом льготного налогообложения предприятий малого и среднего бизнеса возможности использования ими некапиталоемкого мобильного перерабатывающего оборудования, кучного и кюветного выщелачивания отходы горного производства, являющиеся источниками загрязнения окружающей среды, могут быть своевременно прибыльно освоены.

При реализации комбинированных схем ведения бизнеса (крупные горно-обогатительные и малые предприятия, перерабатывающие вторичные продукты — шламы, продукты кучного выщелачивания) возможно обеспечить эффективное вовлечение во вторичную разработку техногенных минеральных ресурсов.

При этом, безусловно, определяющее значение будет иметь экономическая и нормативно-правовая база взаи-



Блок-схема алгоритма оптимизации эколого-технологических параметров первичной и вторичной добычи и переработки

мосвязи функционирования этих предприятий, обеспечивающая трехстороннюю (включая государство) заинтересованность в конечных результатах разработки месторождения. Причем основной показатель, оценивающий эффективность такого производства, должен быть комплексным.

Для снижения экологических и экономических последствий выхода металлов в окружающую среду можно использовать различные технологические решения по повторной разработке и переработке руд, основанные на схемах гидротранспорта с подземным предобогащением

[1], улавливанием шламов рудных минералов [1] и ионов растворенных металлов [4].

Оценить эффективность использования таких схем в условиях рыночной экономики можно наиболее надежно, применяя дисконтированный денежный поток. Учитывая разницу в сроках и ассортименте получаемой продукции (концентраты зернистый и шламовый; металл, сорбированный ионитами) целесообразно производить оценку по сумме дисконтированных денежных потоков (ДДП): ДДП от основной продукции (зернистого концентрата) и ДДП от производства шламового концентрата и/или соответствен-

но выбор оптимального варианта технологической схемы осуществления по критерию максимума: $\sum \text{ДДП} = \text{ДДП}_1 + \text{ДДП}_2$ [3]. Необходимость такого подхода обусловлена различными нормами дисконтов для производства продукции из природных и техногенных объектов и организационным фактором: производство этих продуктов может осуществляться разными компаниями на основе соответствующих схем ведения совместного бизнеса.

Ограничивающие условия для предлагаемого критерия: 1) сроки окупаемости капитальных вложений; 2) порядок отработки выемочных единиц; 3) неперевышение ПДК металлов и взвесей в сбросных и оборотных водах.

В полном виде предлагаемый показатель можно представить в следующем виде:

$$\sum_{t=1}^T D_t = \sum_{t=1}^T D'_t k'_t + \sum_{t=1}^T D''_t k''_t,$$

где D_t — дисконтированный денежный поток по сумме первичной и повторной разработки месторождения; D'_t — денежный поток, полученный в t -ом году при первичной разработке месторождения; k'_t — дисконт по t -му году при первичной разработке, определяемый по специальным методикам в зависимости от конъюнктуры рынка соответствующих металлов и технического прогресса; D''_t — денежный поток, полученный в t -ом году при повторной разработке месторождения; k''_t — дисконт по t -му году при повторной разработке (определяется по специальным методикам в зависимости от конъюнктуры рынка соответствующих металлов и технического прогресса).

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюховецкий О.С. Научное обоснование и разработка гидро-транспортной технологии при подземной добыче руд. Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02, 05.15.11. М., 1991. 95 с.
2. Крайнов С.Р., Шевцов В.М. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1992. 462 с.
3. Секисов А.Г. Повышение эффективности разработки рудных месторождений с учетом взаимосвязи геозкологических и технологических процессов. Дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.36. М., 2004. 258 с.
4. Патент 2251582, Россия, МПК С 22 В 11/00, С 22 В 3/02 Способ извлечения благородных металлов из растворов и пульпы и реактор для его осуществления / А.Г. Секисов, С.А. Мазуркевич. Приоритет 07.10.2003.
5. Юматов Б.П. и др. Нормирование и планирование полноты и качества выемки руды на карьерах. М.: Недра, 1987. 183 с.

Российский государственный
геологоразведочный университет
Рецензент — Л.П. Рыжова

УДК 550.8:33

В.В. ЧАЙНИКОВ, Д.Г. ЛАПИН

КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКОВ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ

Обобщены и проанализированы классификации рисков в различных отраслях экономики, приведены основные принципы. Предложена новая классификация рисков с учетом особенностей предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Деятельность любого предприятия сопряжена с риском, поэтому успех их функционирования зависит от возможности управления риском. Важнейший этап в таком процессе — выявление и отнесение риска к одному из видов с целью дальнейшего применения механизма управления, направленного на ликвидацию или снижение уровня риска. Под классификацией понимают систему соподчиненных понятий какой-либо области знания или деятельности человека, используемую как средство для установления связей между такими понятиями [1, 7]. Таким образом, классификация рисков означает систематизацию множества рисков на основании определенных признаков и критериев, позволяющих объединить подмножества рисков в общие группы. Научно обоснованная классификация содействует четкому определению места каждого риска в общей системе и создает потенциальные возможности для эффективного применения соответствующих методов его снижения.

Существует множество классификаций рисков в различных отраслях экономики. В последнее время появи-

лись работы по финансовым рискам в минерально-сырьевом комплексе, методам оценки рисков горных проектов, а также по проблеме классификации рисков [2, 3, 6, 8].

Нами предлагается на основе общих классификаций рисков, связанных с экономической деятельностью предприятий, создать классификацию, наиболее полно отражающую отраслевые риски предприятий минерально-сырьевого комплекса. На основе разработанной классификации будет возможно выделять наиболее значимые виды рисков и разрабатывать методологию их учета.

Первоначально риски в горнодобывающих отраслях систематизировались на основе обычной классификации экономических и производственных рисков. Часто горно-геологические проекты рассматриваются лишь со стороны возникновения финансовых рисков возврата инвестиций.

Первая наиболее полная классификация рисков в недропользовании в России сделана Б.В. Гузманом [6].